

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КОМИ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРАЛЬСКОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Гогонин Александр Владимирович

**КОНСОРЦИУМ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ  
ВОД ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Специальность 1.5.6. Биотехнология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:

к.б.н., Щемелинина Т.Н.

Сыктывкар – 2023

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение	5
<b>ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>13</b>
1.1. Характеристика водных ресурсов	13
1.2. Сточные воды промышленных предприятий	16
1.2.1. Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности	24
1.3. Способы очистки сточных вод	27
1.3.1. Механическая очистка сточных вод	29
1.3.2. Физико-химические и химические методы очистки сточных вод	30
1.3.3. Биологическая очистка сточных вод	32
1.4. Использование микроводорослей для очистки сточных вод	41
1.5. Питательные среды для культивирования микроводорослей и биореакторы	45
1.6. Микроводоросли в иммобилизованном состоянии для очистки сточных вод	47
1.7. Заключение по обзору литературы	48
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ</b>	<b>51</b>
2.1. Объекты исследования	51
2.1.2. Штаммы микроводорослей	51
2.2. Микробиологические методы	54
2.2.1. Питательные среды	54
2.3. Химические методы	56
2.4. Биохимические методы.	57
2.5. Методы минералогических исследований	57
2.5. Статистические методы	58
<b>ГЛАВА 3. ОЦЕНКА И ПОДБОР НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ</b>	<b>59</b>

3.1. Заключение по главе 3	69
ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ ОТ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ МОНОКУЛЬТУР МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ИХ КОНСОРЦИУМОВ	70
4.1. Эффективность очистки сточной воды в зависимости от питательной среды культивирования	70
4.2. Эффективность очистки сточной воды в зависимости от концентрации клеток в культивированной биомассе микроводорослей	75
4.3. Заключение по главе 4	79
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНОЙ ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ И ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ	80
5.1. Сточная вода в качестве питательной среды	80
5.2. Получение биомассы в процессе культивирования микроводорослей на сточной воде вторичных с одновременной очисткой	83
5.3. Сравнительная оценка очистки сточной воды стерильной и нестерильной с помощью микроводорослей	86
5.4. Заключение по главе 5	90
ГЛАВА 6. БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКУЛЬТУРЫ И КОНСОРЦИУМА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ В СТОЧНОЙ ВОДЕ АЭРОТЕНКОВ ЦБОСВ АО «МОНДИ СЛПК»	91
6.1. Проведение опытной выработки по увеличению эффективности очистки фенолов на станции биологической очистки сточных вод с добавлением штамма микроводорослей <i>Acutodesmus obliquus</i> Syko-A Ch-055-12	91

6.2. Проведение опытной выработки по увеличению эффективности очистки от NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Al, фенола на станции биологической очистки сточных вод (ЦБОСВ) с добавлением консорциума штаммов микроводорослей	93
6.3. Заключение по главе 6	99
ГЛАВА 7. ИММОБИЛИЗАЦИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ЦЕОЛИТЫ И ОЧИСТКА ОТ ФЕНОЛОВ	100
7.1. Характеристика минерального носителя	100
7.2. Конструирование биогеосорбента	101
7.3. Заключение по главе 7	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
ВЫВОДЫ	109
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ	111
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	113
ПРИЛОЖЕНИЕ	147

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.**

Проблема очистки сточных вод лесопромышленных комплексов (ЛПК) и целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) для Российской Федерации в настоящее время является одной из приоритетных в сфере экологической биотехнологии, так как сточные воды данной отрасли содержат широкий перечень загрязнителей, биогенных элементов, органических загрязнителей (фенолы, нитратный, нитритный, аммонийный азот, фосфаты, сульфаты, металлы и пр.) [179, 186, 56]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ после очистки воды в цехе биологической очистки (ЦБОСВ) достигаются не по всем показателям, и как результат вода на выходе оказывается недостаточно очищенной. Проблему может решить доочистка воды с помощью дополнительных технологий. По данным Рослесинфорг, Акционерное Общество (АО) "Монди СЛПК" входит в пятерку крупнейших компаний ЛПК РФ - за 2021 год компания изготовила 1,2 млн. тонн офисной и офсетной бумаги. Сточные воды лесопромышленного предприятия АО «Монди СЛПК», включающие как стоки промышленные, так и коммунально-бытовые (промышленные стоки - 210 тыс. м<sup>3</sup>/сут, коммунально-бытовые СВ - 81 тыс. м<sup>3</sup>/сут) по химическому составу весьма неоднородны и разнообразны по времени, в связи с этим необходимо оптимальное решение с инновационным подходом [58, 124].

Осуществление проблемы доочистки воды от загрязняющих веществ может быть реализовано путем использования биологических агентов – микроводорослей (МВ) [9, 188, 209]. Микроводоросли участвуют в процессе фотосинтеза, выделяют экзометаболиты и другие физиологически активные вещества, выполняя антибиотическую функцию [162,176]. Симбиотические отношения МВ, бактерий и других представителей активного ила дополняют свойства друг друга: органические соединения, выделяющиеся в результате фотосинтеза водорослей, в конечном счете могут стать источником пищи для различных гетеротрофных микробов. Стимулирующее рост вещество,

вырабатываемое бактериями, может способствовать росту МВ [226, 249, 250]. Водоросли можно использовать на ЦБОСВ промышленных предприятий для утилизации биогенных элементов и органических отходов, поскольку водоросли потребляют фенолы, нитраты, фосфаты и сокращают количество бактерий и токсинов в воде [15, 82, 123, 127, 129]. На основе различных фототрофных микроорганизмов, относящихся к разным отделам, родам и видам, можно сконструировать консорциумы МВ, которые могут быть более эффективны в снижении биогенных элементов и биотрансформации органических загрязнителей.

В настоящей работе в качестве биологических агентов предлагается использовать штаммы МВ из коллекции СУКОА Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в различных комбинациях, титрах клеток и культивированных на разных средах для выявления наиболее эффективного консорциума для решения экологической проблемы очистки сточной воды ЦБК.

#### **Цель и задачи исследования.**

Цель работы – создание консорциума микроводорослей и его применение в технологии очистки сточных вод лесопромышленных предприятий от основных загрязняющих веществ (на примере Акционерного общества «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекс»).

Поставленная цель определила следующие задачи:

1. Оценить и подобрать наиболее эффективные микроводоросли для снижения содержания основных загрязняющих веществ в сточных водах (в том числе фенолов, ионов железа и алюминия, ионов аммония, нитрата и нитрита, общего азота и фосфора).

2. Провести сравнительный анализ эффективности очистки сточной воды от основных загрязняющих веществ с помощью монокультур микроводорослей и их консорциумов, культивированных на разных питательных средах, с разной концентрацией клеток.

3. Исследовать возможность использования сточной воды вторичных отстойников цеха биологической очистки сточных вод Акционерного общества «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» в качестве питательной среды для получения биомассы микроводорослей с одновременной очисткой сточной воды.

4. Оценить биотехнологические свойства монокультуры и консорциума микроводорослей в опытно-промышленных испытаниях в сточной воде аэротенков цеха биологической очистки сточных вод Акционерного общества «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекса».

5. Провести сравнительный анализ биотехнологических свойств микроводорослей в свободной и иммобилизованной форме.

**Научная новизна** определяется тем, что впервые изучено влияние монокультур микроводорослей и их консорциумов (*Eustigmatos magnus*, *Coelastrum proboscideum*, *Acutodesmus obliquus*, *Chlorella vulgaris*) в разных сочетаниях на очистку сточной воды лесопромышленного комплекса от загрязняющих веществ и доведение воды до норм предельно допустимых концентраций. Показана эффективность очистки сточной воды при введении микроводорослей и их консорциумов: Al на 11-41 %, Fe на 14-39,3 %, P<sub>общ.</sub> на 19-78 %, S<sub>общ.</sub> на 16 %, N<sub>общ.</sub> на 15-64 %, NO<sup>3-</sup> на 10-53 %, NH<sup>4+</sup> на 87-90 %, фенолы на 30-83 %. Новизна исследований подтверждена патентом РФ на изобретение (Приложение 1): «Штамм микроводорослей *Chlorella vulgaris* для очистки природных водоемов и сточных вод промышленных предприятий» (№ 2703499).

Экспериментально обосновано использование сточной воды вторичных отстойников лесопромышленного комплекса в качестве питательной среды для наработки биомассы в процессе культивирования микроводорослей с одновременной очисткой сточной воды от загрязняющих веществ. Оценка биотехнологических свойств микроводорослей в иммобилизованном виде показала эффективность очистки модельной воды от фенолов на 82 - 93 % с

уменьшением срока очистки по сравнению с использованием микроводорослей в свободной форме.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что научно подтверждена возможность использования консорциума микроводорослей в свободной и иммобилизованной форме при определенном титре клеток для очистки сточной воды от основных загрязняющих веществ.

Практическое значение диссертации заключается в разработке технологии доочистки сточной воды лесопромышленного комплекса с помощью монокультур микроводорослей и их консорциумов, технологии культивирования микроводорослей на сточной воде с целью ее доочистки и получения питательной биомассы, используемой в сельском хозяйстве. Технологии могут быть использованы в цехе биологической очистки сточной воды профильных промышленных предприятий (Справка о внедрении Акционерного общества «Монди СЛПК от 10.03.2022 г.) (Приложение 2). Материалы, полученные в процессе исследований, используются в Рабочей программе обучения школьников «Биология с основами биотехнологии» Государственное автономное учреждение дополнительного образования Республики Коми «Республиканский центр дополнительного образования», Технопарк «Кванториум» (Справка о внедрении от 10.03.2022 г.) (Приложение 3).

### **Методология и методы исследования.**

Предметом исследования явились методы очистки сточной воды от биогенных элементов с помощью микроводорослей и их консорциумов. Основными объектами исследования явились штаммы микроводорослей *Eustigmatos magnus* (В.-Peters.) Hibberd, *Coelastrum proboscideum* Bohlin, *Acutodesmus obliquus* (Turpin) Hegewald & Hanagata, *Chlorella vulgaris* Beijerinck V. Andreeva, питательные среды Тамия, Люка, сточная вода, аналцимсодержащая порода с иммобилизованными микроводорослями *Chlorella vulgaris*.



Теоретической базой работы явились исследования российских и зарубежных ученых.

В работе применяли следующие методы исследования:

Системный анализ загрязнений в сточных водах, воздействие микроводорослей на очистку сточных вод; экспериментально-статистические методы; конструирование консорциумов; количественная химическая оценка сточной воды методами фотометрии, потенциометрии, амперометрии, термokatалитическим окислением с хемилюминесцентным детектированием, капиллярной хроматографией, турбидиметрией, гравиметрией; статистические методы обработки.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Штаммы *Eustigmatos magnus* ВКПМ А1-25, *Coelastrum proboscideum* IPPAS С-2055, *Acutodesmus obliquus* IPPAS S-2016, *Chlorella vulgaris* IPPAS С-2024 и их консорциумы с разной концентрацией клеток, эффективны для снижения содержания основных загрязняющих веществ в сточных водах (в том числе фенолов, ионов железа и алюминия, ионов аммония, нитрата и нитрита, общего азота и фосфора).
2. Сточная вода вторичных отстойников цеха биологической очистки сточных вод лесопромышленного предприятия Акционерного общества «Монди СЛПК» пригодна в качестве питательной среды для культивирования микроводорослей с одновременной очисткой от загрязняющих веществ (железо, алюминий, фенолы, аммоний-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, общие фосфор и азот).
3. Штамм *Chlorella vulgaris* IPPAS С-2024 в иммобилизованном виде на аналцимсодержащей породе эффективен в очистке сточной воды от фенолов.

#### **Степень достоверности и апробация результатов.**

Достоверность работы основана на значительном объеме экспериментов и полученных в ходе исследования данных, их статистической обработке, соответствии теоретическим данным, применении современных актуальных методов исследования, соответствующих цели и задачам работы. Анализы

проведены в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на сертифицированном и прошедшем поверку оборудовании. Воспроизводимость результатов подтверждена проведением серии независимых экспериментов. Выводы базируются на итогах анализа значительного объема статистически обработанных данных.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на Всероссийских с международным участием научно-практических конференциях «Экология родного края: проблемы и пути их решения» (Киров, 2020; 2022), на Всероссийских молодежных научных конференциях «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2017, 2018, 2019), Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» (Киров, 2016, 2018, 2019).

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на 15-й Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения» (Киров, 2020), 26-й Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), посвященной 75-летию А.И. Таскаева «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2019), 17-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» (Киров, 2019), 18-й Всероссийской (XVIII) молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Молодежь и наука на Севере» (Сыктывкар, 2018), 16-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» (Киров, 2018), 24-й Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2017), 14-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием

«Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» (Киров, 2016).

**Личный вклад автора** заключается в анализе литературных данных по теме очистки сточных вод от основных загрязняющих веществ, проведении лабораторных и промышленных экспериментов по тематике диссертации, обобщении и обработке результатов исследования, формулировании выводов, написании публикаций, статей и патентов по теме диссертации, участие в профильных конференциях.

#### **Связь работы с научными программами.**

Работа выполнена на базе Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в период с 2017 по 2022 гг. в рамках отраслевых научно-исследовательских работ: «Разработка биокаталитических систем на основе ферментов, микроорганизмов и растительных клеток, их иммобилизованных форм и ассоциаций для переработки растительного сырья, получения биологически активных веществ, биотоплива, ремедиации загрязненных почв и очистки сточных вод» № АААА-А17-117121270025-1, «Научно-обоснованные биотехнологии для улучшения экологической обстановки и здоровья человека на Севере» № 1021051101411-4-1.6.23, а также при поддержке коммерчески ориентированных научно-технических проектов молодых ученых (Программа фонда содействия инновациям «УМНИК»): «Разработка технологии очистки сточной воды промышленных предприятий с помощью микроводорослей для улучшения качества сбрасываемых вод в объекты рыбохозяйственного назначения» (договор № 11085ГУ/2016 от 20.02.2017).

#### **Публикации.**

По материалам диссертации опубликовано 12 научных работ, из которых 3 статьи в рецензируемых научных журналах из списка определенных ВАК РФ, получен 1 патент.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка используемой литературы, включающего 266

наименований, в том числе 141 иностранных источников. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 26 рисунков, 27 таблиц.

Автор выражает благодарность сотрудникам экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, содрудникам отдела флоры и растительности Севера Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН к.б.н. Е. Н. Патовой, к.б.н. И. В. Новокавской, сотруднику Институт физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН к.б.н. М. А. Синетовой, сотрудникам отдела охраны окружающей среды АО «Монди СЛПК», сотруднику ООО «АЛЬГОТЕК» к.б.н. В. А. Лукьянову.

## ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Актуальность создания экологически чистых и приемлемых технологий очистки водных ресурсов как природных, так и техногенного характера, связана с важностью охраны гидросферы.

### 1.1. Характеристика водных ресурсов

Гидросфера занимает предположительно 71% общей площади Земли, а по объему около 1/800 части земного шара. Большая часть количества водных ресурсов сосредоточено в Морях и Мировом океане. Россия, занимая 1/6 всей земной суши с протяженностью 60 тыс. км водного побережья, омывается водами 12 морей, принадлежащих бассейнам Северного Ледовитого, Тихого и Атлантического океанов, а также внутриматерикового Каспийского моря, отличается обилием природных вод, хорошо развитой речной сетью и системой озер [62]. На территории Росси насчитывается свыше 2,5 млн. больших и малых рек, более 2,7 млн. озер, сотни тысяч болот и других объектов водного фонда. В целом под водой (без болот) занято 72,2 млн. га, из них 27,4 млн. га (38,0%) включены в состав земель водного фонда, остальные земли под водой распределены между другими категориями [62].

Гидросфера является специфической и неотделимой частью биосферы, также она сложна по химическому составу, сильно дифференцирована по физическим свойствам, особенностям по климатическим зонам и т. д. При этом стоит упомянуть, что водные системы заселены разнообразными группами живых организмов, биологическое разнообразие которых коррелирует с географическим расположением этих водных систем. Стабильная жизнедеятельность живых организмов, включая растения и животных всех уровней организации биосистем, а также бактерий, цианопрокариот и грибов, имеет прямую зависимость от качества воды и количества растворённых веществ и нерастворимых примесей, и органических остатков [61].

Химически чистая вода  $\text{H}_2\text{O}$  бесцветна, не имеет запаха и вкуса, в относительно толстом слое кажется окрашенной в голубоватый цвет. Молекула воды состоит из двух одновалентных ионов водорода  $\text{H}^+$  и двухвалентного иона кислорода  $\text{O}^{2-}$ , которые расположены в вершинах равнобедренного треугольника [31].

Ближе к реальности представление молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  в форме пространственной фигуры – тетраэдра с двумя положительными вершинами на ионах водорода  $\text{H}^+$  и двумя отрицательными вершинами на вытянутых электронных орбитах иона кислорода (рисунок 1.1).

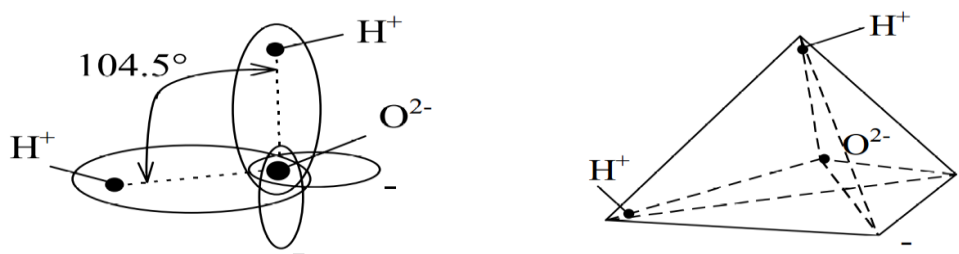


Рисунок 1.1 – Представление молекулы воды в виде тетраэдра.

Так как водород имеет три изотопные формы, а кислород шесть форм, то существует тридцать шесть разновидностей воды, из которых в природных условиях обнаружено 9 форм воды [26].

Существование воды в абсолютно чистом виде невысказуемо из-за её высокой растворяющей способности. **Природные и сточные воды** представляют собой сложную динамическую систему. Они содержат газы, минеральные и органические вещества в растворённом, либо нерастворимом состояниях [63].

**Природные воды** Земли возникли без вмешательства хозяйственной деятельности человека, то есть образовались естественным путем. Воды делятся на два класса: поверхностные и подземные. Поверхностные воды локализованы в реках, озерах, водохранилищах, болотах и морях, а также в искусственных каналах [54]. Подземные воды содержатся в порах грунтов и горных пород [104].

Большое количество примесей в воде усугубляет их классификацию. По своей природе примеси воды делятся на органические, минеральные, бактериологические и биологические.

Минеральные примеси – это частицы песка, глины, руд, шлаков, минеральные масла, соли, кислоты, основания и т.д.

Содержатся в воде и различные растворенные органические вещества: углеводы, белки и продукты их разложения, липиды – эфиры жирных кислот, гуминовые вещества и др [54].

Особую категорию содержащихся в воде соединений составляют так называемые загрязняющие вещества (ЗВ), оказывающие вредное воздействие на живую природу и людей. К ним относятся нефтепродукты, ядохимикаты (пестициды, гербициды), удобрения, ПАВ, (детергенты), некоторые микроэлементы (очень токсичны тяжелые металлы – ртуть, свинец и кадмий), радиоактивные вещества. Большая часть загрязняющих веществ имеет антропогенное происхождение [54]. Данные вещества бывают растительного, животного и синтетического происхождения. Растительные загрязнители – остатки растений, овощей и продукты их разложения, бумага (целлюлоза) и т.п. К загрязнениям животного происхождения относятся физиологические выделения человека и животных, остатки тканей животных, клеевые вещества и т.п. Искусственное происхождение в природной и сточной воде имеют примеси из продукции предприятий промышленности [4,75].

Бактериальные примеси в воде представлены бактериями и вирусами, биологические – микроорганизмами, такими как одноклеточные животные и микроводоросли или цианопрокариоты. Последние примеси в свою очередь подразделяются на микрофлору и микрофауну [6].

По степени растворимости примеси делятся на нерастворимые и растворимые. Растворимые примеси могут быть в виде коллоидов или истинно растворимых молекул и ионов [35]. Развитие промышленности, интенсификация сельского хозяйства, рост городов и другие виды деятельности человека приводят

к поступлению в окружающую среду большого количества разнообразных загрязнителей и накоплению вредных для биосферы и опасных для здоровья человека отходов.

Источники антропогенного загрязнения значительно превосходят загрязнения, природного происхождения (извержения вулканов, землетрясений, катастрофических наводнений и пожаров). Примером могут послужить выбросы окиси азота и двуокиси серы (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Выбросы загрязняющих веществ [97]

Источники	Выбросы окиси азота, млн. т	Выбросы двуокиси серы, млн. т
Природные	30	30
Антропогенные	35-50	150

В результате деятельности человека свинца попадает в биосферу почти в 10 раз больше, чем в процессе природных загрязнений [108].

Антропогенно образующиеся ЗВ и их влияние на среду очень разнообразны. К ним относятся: соединения углерода, серы, азота, тяжелые металлы, различные органические вещества, искусственно созданные материалы, радиоактивные элементы и др.

## 1.2. Сточные воды промышленных предприятий

Одной из экологических проблем является образование **сточных вод** промышленных предприятий, содержащих высокие количества биогенных элементов (нитратного и аммонийного азота, фосфатов, сульфатов и пр.), а также органических веществ (нефтепродуктов, фенолов, формальдегидов и пр.). Попадание этих загрязнителей в природные водоёмы вызывает их эвтрофикацию (резкий рост численности одноклеточных микроорганизмов, в том числе гетеротрофных), снижение содержания кислорода, и, как следствие, гибель фауны водоёмов.

На промышленных предприятиях образуются сточные воды трех видов: производственные – воды, использованные в производственном процессе и



загрязненные нерастворенными, растворенными веществами, иногда нагретые; бытовые – воды от бытовых помещений и столовых, расположенных на территории предприятия; поверхностные – воды талые и дождевые [109].

Производственные сточные воды образуются при непосредственном использовании воды в технологических процессах, транспортировании сырья, материалов, промывке оборудования, при водяном охлаждении оборудования. Вода, использованная для охлаждения, приобретает тепловое загрязнение [109].

Большая часть сточных вод, образующихся из бытовых, сельскохозяйственных и промышленных источников, загрязнена как органическими, так и неорганическими загрязнителями, включающими различные тяжелые продукты питания, компоненты на основе пластмасс и нитраты высокой концентрации, сульфаты, фосфаты и т.д. Такие загрязнители могут нарушить пищевую цепочку, а также подвергают опасности жизни [154,163, 239]. Степень загрязненности сточных вод характеризуется качеством воды – совокупностью физических, химических, биологических и бактериологических показателей. К ним относятся: температура ( $^{\circ}\text{C}$ ); запах; цветность платиново-кобальтовой шкалы (ПКШ); показатель концентрации водородных ионов (рН); концентрация взвешенных веществ (мг/л); сухой и прокаленный остаток, выражающий общее содержание растворенных веществ и ее минеральную часть (мг/л); биохимическое потребление кислорода (БПК, мг  $\text{O}_2/\text{л}$ ) и химическое потребление кислорода (ХПК, мг  $\text{O}_2/\text{л}$ ), характеризующие концентрацию органических веществ; содержание компонентов, специфичных для определенного вида производства, например фенолов, скипидара и др. (мг/л) [5].

Количество и качество производственных стоков могут быть обусловлены видом сырья и вырабатываемой конкретной продукции, производственной мощности предприятия, норм потребления водных ресурсов, совершенства технологического процесса, полноты утилизации или переработки отходов производства. Они зависят от типа и вида применяемого оборудования, состояния

оборудования водоподготовки, а также неполноценного контроля замены компонентов системы.

По этой причине необходимо немедленно обратить внимание на технологии очистки сточных вод с целью удаления загрязняющих веществ из загрязненной воды. Все эти загрязнители не могут быть удалены с помощью одной технологии, поскольку они могут варьироваться в зависимости от их типов, местных условий и концентраций [255].

Производственные сточные воды в течение суток могут отводиться от источников образования равномерно и неравномерно, возможны колебания в связи с сезонностью, что определяется регламентом технологического процесса производства товаров, сырья или энергии [11, 118]. Для отведения сточных вод от мест образования и транспортирования их на очистку или сброс в водный источник используют комплекс канализационных сетей и сооружений предприятия [11]. Производственные сточные воды в зависимости от их количества, места образования, вида загрязняющих веществ и их концентрации, а также целесообразности совместной очистки отводят в канализацию одним общим или несколькими самостоятельными потоками. Решающее значение при этом имеет специфичность загрязняющих веществ. Загрязненные производственные сточные воды с преобладанием в них загрязнителя какого-то определенного вида объединяют в один поток [118].

По оценкам экспертов, в океан ежегодно попадает около 10 млн. т нефти и нефтепродуктов [108], 12 млн. тонн пластика [111]. Нефть на воде образует тонкую пленку, препятствующую газообмену между водой и воздухом. Оседая на дно, нефть попадает в донные отложения, где нарушает естественные процессы жизнедеятельности донных животных и микроорганизмов. Микропластик, который составляет треть всего мусора в океане, сбивается в мусорные острова. Он проникает в тела живых существ вместе с пищей. Значительно возрос выброс в океан таких опасных загрязнителей, как свинец, ртуть, мышьяк, обладающих

сильным токсическим действием. Фоновые концентрации таких веществ во многих местах уже превышены в десятки раз.

ЗВ оказывают сильно отрицательное воздействие на природу, поэтому их поступление в экологическую среду должно строго контролироваться. Законодательство устанавливает для каждого ЗВ предельно допустимый сброс (ПДС) и предельно допустимую концентрацию (ПДК) его в природной среде [14].

Предельно допустимый сброс (ПДС) - это масса загрязняющего вещества, выбрасываемого отдельными источниками за единицу времени, превышение которой приводит к неблагоприятным последствиям в окружающей среде или опасно для здоровья человека. Предельно допустимая концентрация (ПДК) понимается как количество вредного вещества в окружающей среде, которое не оказывает отрицательного воздействия на здоровье человека или его потомство при постоянном или временном контакте с ним. В настоящее время при определении ПДК учитывается не только степень влияния загрязнителей на здоровье человека, но и воздействие их на животных, растения, грибы, микроорганизмы, а также на природное сообщество в целом. Нормативы качества и безопасности воды приведены в таблице 1.2 и в таблице 1.3. Представлены некоторые ПДК химических веществ в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков [14].

Таблица 1.2 – Нормативы качества и безопасности воды. Обобщенные показатели качества различных видов вод.

№ п/п	Показатель, единицы измерения	Норматив, не более	Примечание
1	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	5,0  20,0  60,0	в открытых системах технического водоснабжения и для полива улиц и зеленых насаждений  в системах технического оборотного водоснабжения ручных и автоматических моек автомобильного транспорта  для колесных моек автотранспорта
2	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,1  Не требуется определения  1,0	Вода питьевая централизованного водоснабжения  в открытых системах технического водоснабжения и для полива улиц и зеленых насаждений  в системах технического оборотного водоснабжения ручных и автоматических моек автомобильного транспорта
3	Водородный показатель (рН)	В пределах 6,0-9, 0  В пределах 6,5-8,5 (отклонения от фона не более ±1)	Вода питьевая централизованного и нецентрализованного водоснабжения; водоисточников хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования  Морская вода в местах водопользования населения

Продолжение таблицы 1.2

№ п/п	Показатель, единицы измерения	Норматив, не более	Примечание
4	Биохимическое потребление кислорода ( БПК <sub>5</sub> ), мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	<p>Не должно превышать при температуре 20°С 2,0</p> <p>Не должно превышать при температуре 20°С 4,0</p> <p>5,0</p> <p>10,0</p>	<p>Вода поверхностных водоисточников, используемых для централизованного водоснабжения населения, для хозяйственно-бытового водопользования, морская вода для централизованного водоснабжения населения, для хозяйственно-бытового водопользования, мест водозабора для плавательных бассейнов, водолечебниц</p> <p>Вода поверхностных водоисточников, используемых для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест (включая морскую воду для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест)</p> <p>в открытых системах технического водоснабжения и для полива улиц и зеленых насаждений</p> <p>в системах технического оборотного водоснабжения ручных и автоматических моек автомобильного транспорта</p>

Продолжение таблицы 1.2.

№ п/п	Показатель, единицы измерения	Норматив, не более	Примечание
5	Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость, ХПК), мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<p>Не должно превышать 15,0</p> <p>Не должно превышать 30,0</p> <p>30,0</p> <p>60,0</p>	<p>Вода поверхностных водоисточников, используемых для централизованного водоснабжения населения, для хозяйственно-бытового водопользования, морская вода для централизованного водоснабжения населения, для хозяйственно-бытового водопользования, мест водозабора для плавательных бассейнов, водолечебниц</p> <p>Вода поверхностных водоисточников, используемых для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест (включая морскую воду для Рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест)</p> <p>в открытых системах технического водоснабжения и для полива улиц и зеленых насаждений</p> <p>в системах технического оборотного водоснабжения ручных и автоматических моек автомобильного транспорта</p>

Таблица 1.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурнобытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков [14].

№ п/п	Наименование вещества	Регистрационный номер	Формула	Величина ПДК (мг/л)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
1	Алюминий (Al, суммарно)	7429-90-5	-	0,2	орг. мутн	3
2	Аммиак/аммоний-ион (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	7664-41-7	NH <sub>3</sub>	1,5	орг. зап.	4
3	Барий (Ba, суммарно)	-	-	0,7	с.-т.	2
4	Бор (B, суммарно)	-	-	0,5	с.-т.	2
5	Ванадий (V, суммарно)	-	-	0,1	с.-т.	3
6	Железо (Fe, суммарно)	-	-	0,3	орг.	3
7	Кадмий (Cd, суммарно)	-	-	0,001	с.-т.	2
8	Кобальт (Co, суммарно)	-	-	0,1	с.-т.	2
9	Магний (Mg, суммарно)	-	-	50	орг. привк.	3
10	Марганец (Mn, суммарно)	-	-	0,1	орг. привк.	3
11	Медь (Cu, суммарно)	-	-	1,0	с.-т.	3
12	Молибден (Mo, суммарно)	-	-	0,07	с.-т.	3
13	Мышьяк (As, суммарно)	-	-	0,01	с.-т.	1
14	Натрий (Na, суммарно)	-	-	200	с.-т.	2
15	Никель (Ni, суммарно)	-	-	0,02	с.-т.	2
16	Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	-	-	45	с.-т.	3
17	Нитриты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	-	-	3	с.-т.	2
18	Ртуть (Hg, суммарно)	-	-	0,0005	с.-т.	1
19	Свинец (Pb, суммарно)	-	-	0,01	с.-т.	2

Продолжение таблицы 1.3

№ п/п	Наименование вещества	Регистрационный номер	Формула	Величина ПДК (мг/л)	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
20	Стронций (Sr, суммарно)	-	-	7,0	с.-т.	2
21	Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	-	-	500,0	орг. привк.	4
22	Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	-	-	350,0	орг. привк.	4
23	Хром (Cr, суммарно)	-	-	0,05	с.-т.	2
24	Цинк (Zn, суммарно)	-	-	5,0	с.-т.	3

Однако, плата за использование гидроресурсов и штраф за превышение ПДК загрязнителей сточной воде достаточно низкие и промышленные предприятия готовы платить штрафы, чем оптимизировать технологию, устанавливая дорогостоящее оборудование. Решением может стать освоение недорогих и рентабельных способов очистки и доочистки природных и сточных вод для повышения качества водных ресурсов.

### 1.2.1. Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности

Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) – одна из ведущих отраслей лесного комплекса РФ. Известно, что для производства бумажной продукции требуется большое количество воды. На современных заводах по производству небеленой целлюлозы/бумаги и картона расход воды может составлять 10...40 м<sup>3</sup>/т и, соответственно, объемы образующихся сточных вод в зависимости от производительности объекта могут достигать более 1500 м<sup>3</sup>/час [15]. Сточные воды ЦБП формируются из сбрасываемых вод различных цехов, которые предназначены для подготовки материалов к непосредственному получению целлюлозосодержащих товаров. Производственно-технологическая система ЦБП сложная и требует выявления и корректировки соотношений между входными и выходными потоками в системе. Изучение и анализ структуры производства по отдельным блокам, а также функциональным составляющим подсистем,



являющихся отдельными или вспомогательными производствами необходим для повышения уровня очистки сбрасываемых сточных вод [119, 146, 230, 233].

**Древесно-подготовительный отдел.** В этом отделе при мокрой окорке древесины образуются коросодержащие сточные воды. Нормы водоотведения этих вод  $3,4 \text{ м}^3/\text{т}$  древесной массы и  $6,9\text{--}9,4 \text{ м}^3/\text{т}$  целлюлозы. В сточных водах содержатся частицы коры, волокно, песок, растворенные минеральные и органические вещества. Концентрация взвешенных веществ составляет до  $4600\text{--}4700 \text{ мг/л}$ , из них  $3\text{--}5\%$  минеральных, загрязненность растворенными органическими примесями по БПК<sub>5</sub> –  $230\text{--}400 \text{ мг/л}$  [28].

**Производство полуфабрикатов.** Загрязненность сточных вод производства целлюлозы связана главным образом с попаданием в них отработанных варочных растворов – щелоков и поэтому зависит от породы перерабатываемой древесины, метода варки, выхода массы при варке, от степени отбора щелоков на регенерацию; большое значение имеет также наличие процесса отбелики при производстве целлюлозы [27].

**Сульфат-целлюлозное производство.** Сточные воды промывного и очистного цехов сульфат-целлюлозного производства загрязняются в результате попадания в них отработанных черных щелоков при технологических операциях. При использовании совершенного промывного оборудования и горячего сортирования по замкнутой системе загрязненность этих вод по БПК<sub>5</sub> может быть снижена до  $4\text{--}1 \text{ кг/т}$  [32].

**Сульфит-целлюлозное производство.** Производство целлюлозы с применением сульфитных методов варки является источником основного количества загрязнений, сбрасываемых со сточными водами ЦБП, что объясняется отсутствием эффективных систем регенерации отработанных щелоков на большинстве предприятий. Основными потоками производственных сточных вод в сульфит-целлюлозном производстве являются щелокосодержащие сточные воды варочного, промывного, очистного цехов, кислые сточные воды кислотных цехов; сточные воды отбельных и сушильных цехов и цехов переработки отработанных щелоков [27].

Известно, что при получении целлюлозы методом бисульфитной варки образуются варочные щелока, основным компонентом которых являются лигносульфонаты и лигносульфовые кислоты, и лигнинсодержащие сточные воды промывки целлюлозы в дефибраторе. Химическое потребление кислорода (ХПК) таких вод составляет 1200...4000 мг  $O_2/дм^3$ . Особенностью лигнина и лигносульфонатов является длительный период их биоразрушения – от 200 суток и более [24, 102, 173].

**Производство бумаги и картона.** Сточные воды картонно-бумажного производства в зависимости от вида продукции содержат в своем составе волокна целлюлозы, древесную биомассу, наполнители, пигменты, красители, латексы, эмульсии, проклеивающие вещества и др. Для производства тестлайнера и бумаги для гофрирования некоторые предприятия имеют полностью замкнутые системы водопользования и лишь около 3—4 м<sup>3</sup> на тонну готовой массы технологической воды очищается на сооружениях биологической очистки [59]. На некоторых крупных промышленных предприятиях в систему очистки включают и городские хозяйственно-бытовые стоки.

**Хозяйственно-бытовые стоки** образуются при смешивании водопроводной воды с бытовыми и физиологическими отходами в санитарных приборах и содержат в основном органические примеси [96]. Образующиеся хозяйственно-бытовые сточные воды транспортируются до очистных сооружений по трубопроводным (коллекторным) сетям либо специальным автомобильным транспортом [60].

Таким образом, сточные воды большинства предприятий ЦБП представляют собой смешанный поток, формирующийся в различных подразделениях предприятия. В дальнейшем подвергаются очистке на общезаводских очистных сооружениях по традиционной схеме: механической – в радиальных отстойниках и биологической – в аэротенках различного типа [2, 55].

Так, производственные сточные воды АО «Монди СЛПК» включают несколько потоков: загрязненные стоки производственных цехов и 100 % хозяйственно-бытовые стоки г. Сыктывкара, Эжвинского района, с. Зеленец и

Вьльгорт, а также близлежащих промышленных предприятий. Стоки производственные и хозяйственно-бытовые соединяются в камере смешения. Каждый поток имеет специфический состав загрязнений. Так в составе производственных стоков присутствуют продукты деструкции лигнина – фенолы, формальдегиды, хозяйственно-бытовые насыщают общий поток органикой, тяжелыми металлами, поверхностно-активными веществами и пр. Для очистки сточной воды до норм ПДК на ЦБОСВ «Монди СЛПК» недавно модернизированы и находятся в эксплуатации первичные отстойники, 8 аэротенков, вторичные отстойники, пруды-аэраторы и канал с порогами насыщения кислородом [57].

### **1.3. Способы очистки сточных вод**

Век индустриализации и активное развитие промышленности принесло не только производство товаров народного потребления, но и экологические проблемы, в том числе, выражающиеся в повсеместном и глубоком загрязнении элементов окружающей среды. Изменения в них, вызванные ЗВ, проявляются на всех уровнях организации живого, начиная с молекулярного и заканчивая биосферным.

Главным фактором загрязнения водных экосистем является промышленность с ее отходами. Хозяйственная деятельность человека, не связанная с производством, тоже наносит ощутимый вред водоемам и рекам.

В связи с мощным развитием промышленности и бурным ростом городов и как следствие все большее накопление ЗВ, возникла острая необходимость защиты окружающей среды и ликвидации последствий пагубного влияния человека на нее. Какое-то количество загрязняющих веществ может ассимилироваться и ликвидироваться естественным путем, но в период развития техногенной мощи человечества данного «самоочищения» не хватает и поэтому к началу любого производства следует закладывать одновременно и экологизацию

этого производства, предусматривать системные мероприятия по очистке почвы, воды и воздуха и ликвидации отходов.

Сточные воды промышленного и коммунально-бытового характера являются одними из самых распространенных загрязнений в нашем веке и из-за этого рекомендовано подходить к их очистке со всей ответственностью, так как качество воды напрямую отражается на здоровье общества. В настоящее время существует как централизованная, так и децентрализованная система очистки сточной воды. Выбор между ними будет зависеть от ряда факторов, но важно, чтобы в полной мере учитывались оба варианта, а не ситуация, которая существовала в прошлом, когда сеть канализация часто считалась единственной «правильной» формой городской санитарии [100].

Существуют разные системы сбора стоков: коммунальные стоки идут на станцию очистки к производственным, либо наоборот, производственные собираются в систему управления коммунально-бытовых. Во втором случае, производственные сточные воды, подлежащие совместному отведению и очистке с бытовыми сточными водами населенного пункта, должны отвечать действующим требованиям к составу и свойствам сточных вод, принимаемых в систему канализации населенного пункта, иначе они подвергаются предварительной очистке [20]. Запрещается предусматривать сброс в водные объекты неочищенных до установленных нормативов дождевых, талых и поливочных вод, организованно отводимых с селитебных территорий и площадок предприятий.

Способы очистки сточных вод можно разделить на следующие группы:

- 1) механическая очистка (процеживание, седиментация) [63, 87, 89, 111, 68, 78, 62];
- 2) физические методы (дистилляция, вымораживание, агрегирование) [11,75];
- 3) химические методы (нейтрализация, ионный обмен) [66, 74];
- 4) физико-химические методы (коагуляция, адсорбция) [82, 90, 104];

5) биохимическая, биологическая и биоцидная очистка [81, 92, 88, 77, 143, 172, 184, 200, 229, 231, 232].

К отмеченным процессам можно добавить вспомогательные, которые сопутствуют очистке вод: смешение, хлопьеобразование, диффузия, обезвоживание, сушка, охлаждение.

### **1.3.1. Механическая очистка сточных вод**

Механическая очистка – это изъятие из сточных вод, находящихся в них нерастворенных грубых дисперсных примесей, имеющих органическую и минеральную природу [18].

Методы механической очистки:

1. отстаивание – выделение из сточных вод взвешенных веществ под действием силы тяжести на песколовках, а также нефтеловушках, масло- и смолоуловителях;
2. фильтрование – задержание очень мелкой суспензии во взвешенном состоянии на сетчатых и зернистых фильтрах.
3. процеживание – задержание наиболее крупных загрязнений и частично взвешенных веществ на решетках и ситах;

При механической очистке из сточных вод удаляются загрязнения, находящиеся в нерастворенном виде и частично в коллоидном состоянии. Крупные частицы (тряпки, бумага, остатки овощей и фруктов) задерживаются решетками, другие, находящиеся во взвешенном состоянии, задерживаются с помощью различных сит, устанавливаемых на пути движения сточных вод [8, 17, 172].

Назначение механической очистки заключается в водоподготовке стоков при необходимости к физико-химическому, химическому, биологическому или другому методу более глубокой очистки. Механическая очистка на актуальных очистных сооружениях состоит из процеживания через решетки, пескоулавливания, отстаивания и фильтрования. Типы и размеры этих сооружений зависят в основном от состава, свойств и расхода производственных

сточных вод, а также от методов их дальнейшей обработки. Так, например, изобретение Хайлова с соавторами [64] предусматривает жестко закрепленные валики-выступы, пластинчатый фильтрующий элемент четвертой, закрепленный по диаметру на верхней крышке и образующий щелевидные зазоры с навитой по спирали поверх зазоров проволокой. Многоступенчатая очистка сточных вод предусмотрена в основном для бытовых нужд [91]. Группа изобретений с использованием грабельных траков относится к области очистки сточных вод [54] и обеспечивает повышение степени очистки, снижение эксплуатационных расходов и трудоемкости обслуживания.

В большинстве случаев, механическая очистка является предварительным, но реже окончательным этапом для очистки промышленных сточных вод. Она обеспечивает выделение взвешенных веществ из этих вод до 95 % и снижение органических загрязнителей до 25 % [110].

Метод отстаивания вместе со сбразиванием осадков используется в комбинированных сооружениях для очистки небольших количеств сточной воды – септиках, двухъярусных отстойниках и осветлителях-перегнивателях.

В настоящее время как самостоятельный метод механическую очистку применяют крайне редко из-за её низкой эффективности в отношении растворенных веществ. Но применение данного метода в качестве единственного способа очистки возможно, если при использовании только механической очистки по условиям сброса в водоем обеспечивается необходимое качество воды.

В основном же механическую очистку используют как предварительный этап перед биологической очисткой или в качестве доочистки стоков [19].

### **1.3.2. Физико-химические и химические методы очистки сточных вод**

Методы очистки сточных вод, в основе которых лежат процессы, описываемые законами физической химии, называются физико-химическими. Обязательным условием использования физико-химических процессов очистки сточных вод является источник внешней энергии. Для их осуществления

применяют разнообразные виды энергии: химическую, электрическую, тепловую, механическую и т.д. [61].

К физико-химическим методам очистки относятся: сорбция, экстракция, эванорация, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация и др. [8,19]. Данные методы используются в технологических процессах изъятия из сточных вод следующих веществ [5]:

1. взвешенных и коллоидных частиц (коагуляция, флокуляция, флотация);
2. растворимых газов (десорбция), минеральных диссоциированных в воде примесей (ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, кристаллизация);
3. органических растворенных в воде загрязнителей (адсорбция, ректификация, экстракция, ультрафильтрация).

Применение физико-химических методов для очистки сточных вод позволяет достичь глубокой и стабильной степени очистки, рекуперировать различные вещества, удалить из сточных вод токсичные, биохимически неокисляемые органические загрязнения. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами и играют значительную роль при очистке производственных сточных вод, а также в водоподготовке [115].

Используемая электроокислительно-сорбционная очистка, осуществляемая в аппарате электролизере–адсорбере приводит к повышению степени очистки многокомпонентных сточных вод за счет снижения содержания органических веществ и механических примесей в очищенной сточной воде. В качестве сорбционного материала используют гранулированный композитный сорбент на основе отходов табачного сырья и бентонитовой глины [93]. При внесении сорбционного материала на основе оксидов железа в сточные воды с механическим перемешиванием и отделение твердого вещества от очищаемого раствора с помощью магнитных средств, где в качестве сорбционного материала используют ферритную суспензию добиваются повышение технико-экономической эффективности очистки сточной воды от тяжелых металлов [107].

Известен способ очистки природных и сточных вод, включающий смешение очищаемой воды с коагулянтом, хлопьеобразование в напорной контактной емкости, смешение обрабатываемой воды с флокулянтом, фильтрацию через плавающую зернистую загрузку в напорном осветлительном фильтре с последующей его промывкой и обеззараживание очищенной воды гипохлоритом натрия. Изобретение позволяет обеспечить расширение области применения напорного фильтра с плавающей загрузкой и высокую степень очистки как малозагрязненных природных вод, так и сильнозагрязненных сточных вод [82].

В патенте РФ № 2749105 описаны способы комплексной очистки промышленных сточных вод, которые включают стадию очистки физико-химическим методом и стадию очистки методом озонирования [66].

Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ароматических нитросоединений, ПАВ, красителей и др. Достоинством метода является высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперации этих веществ [79, 84, 67, 27, 85, 86].

Однако, физико-химические методы не всегда эффективны. Например, процедуры осаждения и коагуляции, применяемые при удалении металлов, приводят к образованию осадка, налагающие вторичную обработку [232].

### **1.3.3. Биологическая очистка сточных вод**

Наиболее перспективна с позиции экологичности биологическая очистка сточных вод. Биологическая очистка сточных вод – это очистка с помощью активного ила путем адсорбции, хемосорбции, биосорбции, коагуляции, биоокисления [30, 95]. Биологическая очистка перед другими методами имеет ряд значительных преимуществ. Микроорганизмы осуществляют эффективное разложение в стоках биогенных элементов, органических загрязнителей до нейтральных продуктов (газ и вода), обеспечивая при этом круговорот веществ в природе.



Сооружения биологической очистки можно условно разделить на два вида [99]:

1. с очисткой в условиях, максимально приближенных к естественным;
2. с очисткой в искусственно созданных условиях.

Первый вид представлен полями фильтрации и орошения, биологическими прудами и гидрботаническими площадками (рисунок 1.2).

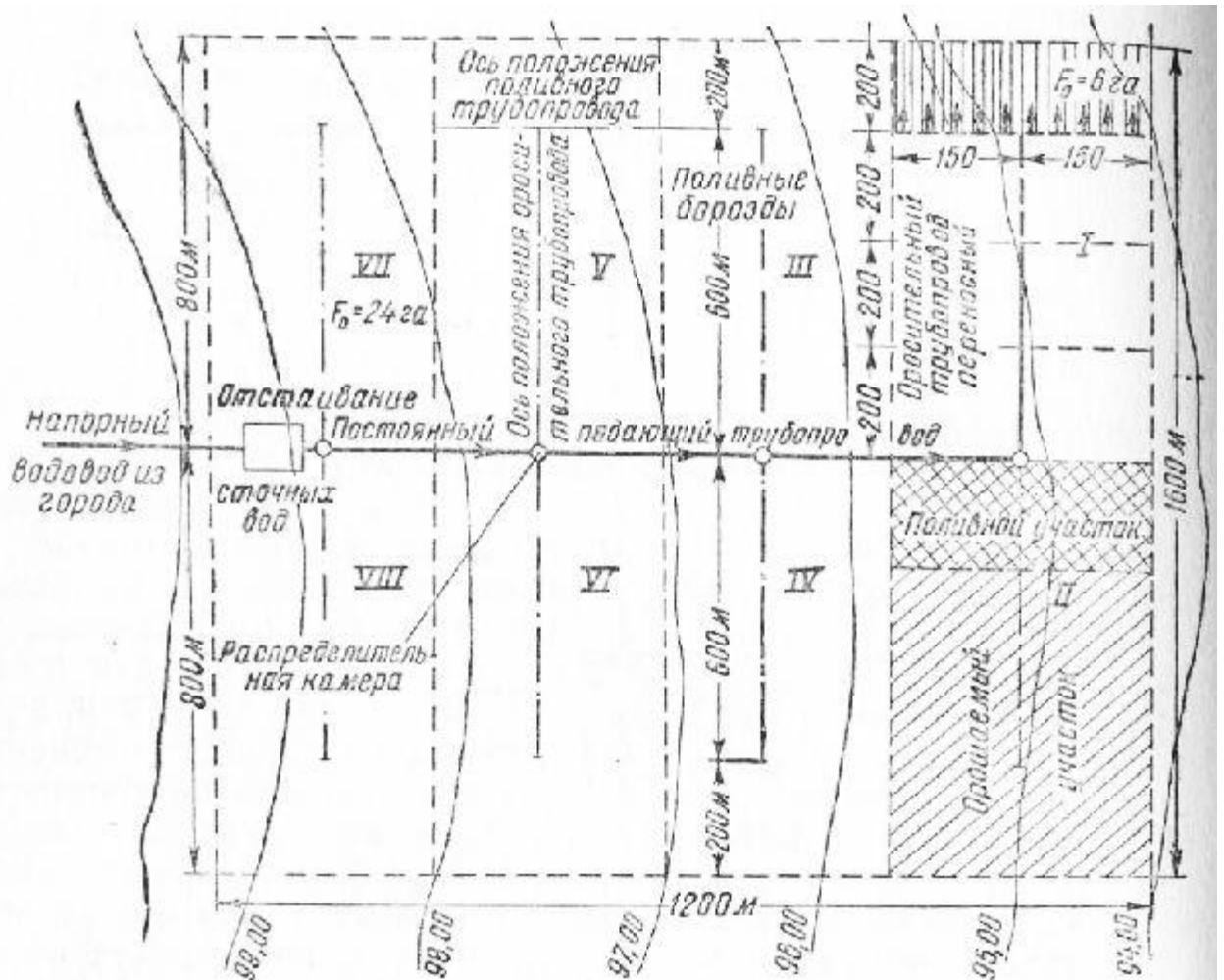
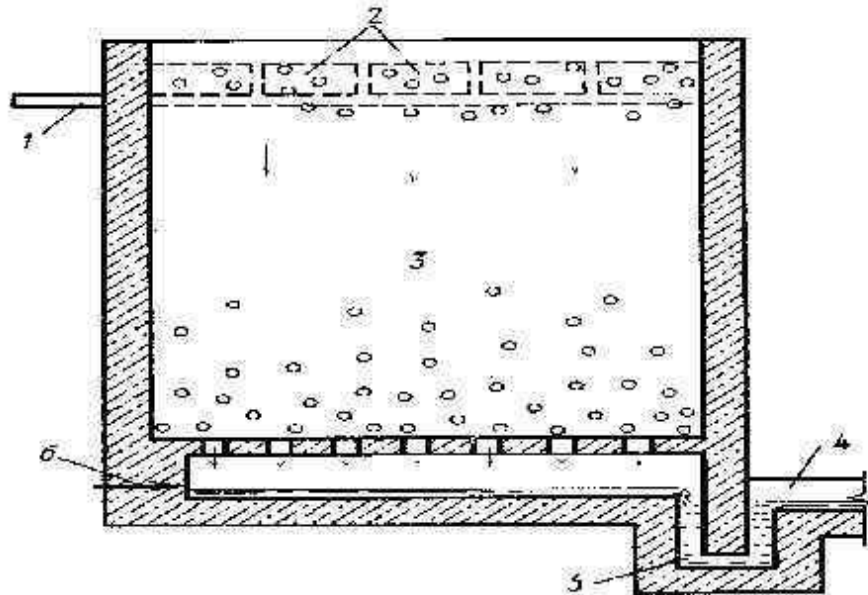


Рисунок 1.2 – Схема полей фильтрации и орошения (пример)

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) (рисунок 1.3).

## Схема биофильтра



1 – труба, подающая сточную жидкость; 2 – водораспределительное устройство; 3 – загрузка; 4 – водоотводящий лоток; 5 – гидравлический затвор; 6 – воздухоподводящие трубы.

Рисунок 1.3 – Схема биофильтра (пример)

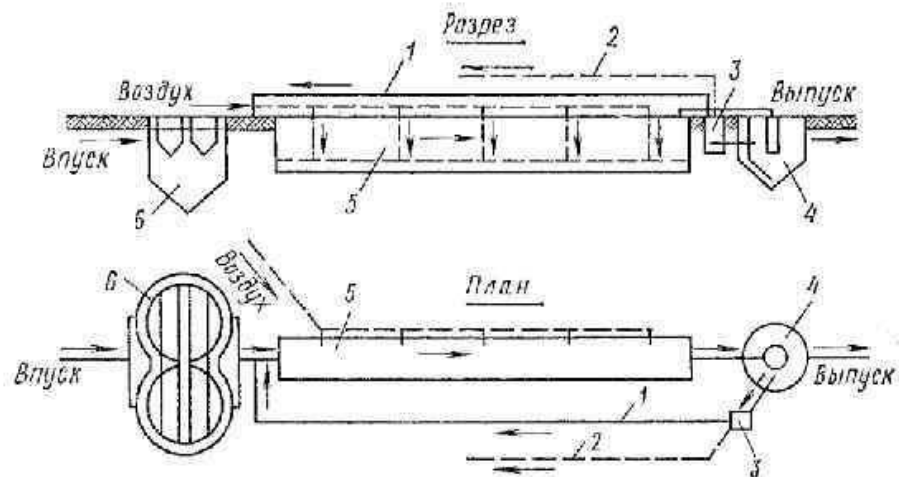
Группа изобретений применением биофильтра в присутствии анаэробных бактерий предназначена для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод очистки от взвешенных веществ, соединений азота, фосфора и трудноокисляемых органических соединений обеспечивает качество очищенной воды, соответствующей ПДК на сброс в водоемы рыбохозяйственного назначения [61, 87].

Повышение надежности и эффективности очистки сточных вод происходит в капельном биофильтре. Материалом для загрузки биофильтров являются щебень и галька, а скорость движения воды в них должна быть не менее 0,6 м/с [70]. Назаровым с соавторами [65] разработана система очистки сточных вод малых населенных пунктов, коттеджных поселков, вахтовых поселков,

образовательных и лечебных учреждений, в том числе инфекционных и туберкулезных больниц с использованием биофильтра, позволяющая пополнить запасы воды в водных объектах за счет инфильтрации и увеличить эффект очистки сточных вод.

Аэротенк – резервуар, в котором очищаемые стоки смешиваются с активным илом (биоценоз микроорганизмов, способный поглощать органику из стоков) (рисунок 1.4).

### Схема работы аэротенка



1 – циркулирующий активный ил; 2 – избыточный активный ил; 3 – насосная станция; 4 – вторичный отстойник; 5 – аэротенк; 6 – первичный отстойник.  
Время пребывания сточных вод в аэротенке составляет 6 – 8 часов.

Рисунок 1.4 – Схема работы аэротенка

Примерами могут быть различные установки. Биологическую очистку сточных вод проводят в установке, содержащей приемную камеру, аэротенк и емкость, выполняющую функцию аэробного стабилизатора ила, технический результат повышения качества очистки сточных вод достигается за счет исключения застоялых зон скопления ила [72, 228]. Надежную работу системы биологической очистки аэротенк – отстойник, стабильность и эффективность биологической очистки сточных вод от органических веществ, а также от соединений азота и фосфор позволяют обеспечить изобретение Ким с

соавторами [76]. Предложен способ аэробной биологической очистки сточных вод взвешенным активным илом с гидроавтоматическим режимом регулирования скорости рециркуляции в зависимости от единовременных объемов неравномерно подаваемых сточных вод частных домов и специальным ночным режимом денитрификации и устройство для его осуществления. Оно обеспечивает значительное увеличение надежности функционирования, уменьшение эксплуатационных расходов, снижение энергозатрат на очистку сточных вод, упрощение конструкции очистного сооружения, повышение качества очистки сточных вод за счет интенсификации методов биологического воздействия на сточные воды [80].

В работе Корчевской и др. [33] показаны преимущества использования псевдооживленного слоя перед фильтрованием в погружных биофильтрах и обработкой в традиционных аэротенках активно-иловой смесью. В качестве примера рассматривается биореактор с частично заполненной загрузкой. Время пребывания биомассы в аэрационном сооружении уменьшается за счет ее концентрирования с большей растительной поверхностью в подвешенной в воде. Образуется так называемый трехфазный слой с формированием биопленки микроорганизмами и увеличивается скорость биохимического окисления загрязнений прикрепленной микрофлорой.

Основными альтернативами биологической очистки являются аэробная и анаэробная системы, но возможности анаэробной очистки ограничены из-за высокой концентрации в сточных водах ХПК (~2000 мг/л). В таблице 1.4 приведен обзор наиболее распространенных систем биологической очистки [100].

Таблица 1.4 – Обзор наиболее распространенных систем биологической очистки

Система	Область применения	Преимущества	Недостатки	Эффективность снижения нагрузки	
				По БПК	По ХПК
Одноступенчатая очистка с использованием активного ила	100–1000	Традиционный процесс, большой опыт применения	Высокое энергопотребление; большое количество избыточного ила; проблемы с разбуханием ила	85%–96%	60%–85%
Двухступенчатая очистка с использованием активного ила (со ступенью высокой нагрузки ила)	600–1200	Улучшенные свойства активного ила	Высокое энергопотребление; большое количество избыточного ила	85%–98%	75%–90%
Одноступенчатые аэробные погружные фильтры	20–100	Безопасный процесс; Фиксированная биомасса	Чувствителен к повышенным концентрациям взвешенных веществ	60%–65%	50%–55%
Двухступенчатые аэробные погружные фильтры	100–300	Безопасный процесс; Фиксированная биомасса	Чувствителен к повышенным концентрациям взвешенных веществ	60%–70%	50%–60%
Биофильтры малой производительности	<100	Простая конструкция; Низкое энергопотребление; охлаждение воды	Риск засорения; запах	60%–65%	50%–55%
Биофильтры высокой производительности	200–800	Простая конструкция; Низкое энергопотребление; охлаждение воды	Риск засорения; запах	60%–70%	50%–60%
Биофильтры с подвижным слоем биомассы (MBBR)	300–1500	Фиксированная биомасса; нет циркулирующего ила; меньший объем реактора	Большое количество избыточного ила	85%–95%	80%–90%

Процесс биологической (биохимической) очистки основан на способности микроорганизмов ассимилировать растворенные органические вещества сточных

вод в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы, также часть идет на образование биомассы. Микроорганизмы способны окислять клетчатку, гуминовые вещества, углеводороды. Некоторые их виды преобразуют в энергию восстановленные минеральные соединения. На биоматериале могут также сорбироваться ионы тяжелых металлов и некоторые токсичные соединения. Энергия, которая выделяется при окислении, используется для биосинтеза вещества клеток бактерий с большой эффективностью [227].

Активность микроорганизмов влияет на эффективность очистки. Происходит активное снижение концентрации биогенных элементов и одновременный резкий рост объема активных веществ. Эту стадию поддерживает непрерывный проток стоков и постоянные концентрации субстрата [212]. В таблицах 1.5, 1.6 показаны среднемесячные статистические данные показателей качества сточных вод по стадиям очистки [9, 119].

Таблица 1.5 – Среднемесячные статистические данные показателей качества сточных вод по стадиям очистки [119].

Показатели	I. Вход поступающих на очистку производственных СВ	II. Первичные отстойники	III. Вход на очистку хозяйственно бытовых СВ	IV. Аэротенк	V. Вторичные отстойники
T °C	26	12	12	26	24
pH, ед pH	7,9	7,3	7,3	6,8	7,0
БПК <sub>полн.</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	99		68	95	7,9
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	295		226	271	121
ВВ, мг / дм <sup>3</sup>	127	137	97		13,5
Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,046				
N <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>		15,2		0,58	0,3
P <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>		3,1		1,4	0,36
O <sub>2</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>				4,6	5,9

Таблица 1.6 – Показатели качества сточной воды и результаты ее очистки [12].

Показатели качества воды	Исходная сточная вода прачечной	После очистки К1 и глубокой очистки	Общий эффект очистки, %	После очистки К2 и глубокой очистки	Общий эффект очистки, %	ПДК в ГК
Запах (баллы)	3	1		1		0-1
Цвет	мутный	б/цв		б/цв		б/цв
Цветность по разбавлению	1:9	1:1		Без разбавления		1:16
Прозрачность по шрифту, см	5,5	31		33		>20
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	170	16,3	90,4	12	93	35,1
рН	7,5-8,5	7,5	–	7,5	–	–
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	510	41	94,8	19	96,3	500
АПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	15	0,2	98,6	0,1	99,3	0,5
НПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	3	0,2	93	0,3	90	0,5
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	5,5	0,6	89	0,6	89	3,5
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	350	350	–	350	–	350
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	50	10	80	50	–	500

Схемы сооружений для биохимической очистки сточных вод могут включать следующие процессы [217]:

1. усреднение и осветление исходных сточных вод (усреднители, песколовки, отстойники и т. д.);
2. биохимическая очистка осветленных стоков (аэротенки, регенераторы, вторичные отстойники и т. д.);
3. приготовление и дозирование реагентов;
4. доочистка очищенных стоков (пруды, фильтровальные станции и т. д.);
5. обработка осадков (иловые площадки, фильтры, сушилки и т. д.);
6. обеззараживание очищенных стоков.

Процесс очистки может быть одно-, двух и более ступенчатым (таблица 1.4) с дифференцированной организацией движения воды и ила [160]. Это определяется в зависимости от уровня расхода стока, концентрации и природы загрязнителей, требований к качеству очищенной воды.

Одной из основных проблем в биологической очистке сточных вод является процесс отделения активного ила во вторичных отстойниках. Микроорганизмы, за счет внеклеточных веществ образуют колонии – хлопья и флоккулы и методом гравитации оседают в водной среде. Биофлокуляция позволяет отделять активный ил от очищенной воды после завершения процессов изъятия, содержащихся в ней загрязняющих веществ. Таким образом, бактерии активного ила способны не только на биохимические превращения органических, некоторых неорганических и минеральных веществ, очищая сточные воды, но и обладают ярко выраженными седиментационными свойствами, ускоряя процесс очистки. В исследованиях Ильинского и др., пристальное внимание уделяется именно биофлокулянт-продуцирующим бактериям активного ила, поскольку они способны вести себя в качестве некой связывающей площадки в процессе очистки воды. И если по каким-либо причинам активный ил становится менее агрегированным, возникает проблема полноты его осаждения, выноса с очищенной водой, ухудшение качества воды [27].

После агрегирования активного ила во вторичных отстойниках образуется избыточный ил, который в дальнейшем обезвоживается – обезвоженный осадок активного ила (ООАИ) и вывозится на полигоны – шламонакопители. Важнейшая экологическая проблема — это утилизация избыточного ила [103, 108, 228]. Объемы образования избыточного ила составляют около 0,6 % от производительности очистных сооружений. Необработанный избыточный ил представляет экологическую опасность и опасность для здоровья человека. В соответствии с директивой 99/31/ЕС Совета ЕС необработанный осадок сточных вод не может быть утилизирован без дополнительной биологической или химической обработки. Основная технологическая задача — обработка осадка с целью уменьшения его объема для дальнейшего складирования на полигонах или



использования в хозяйстве. Дезинвазия осадка никогда не была целью складирования. Уменьшить вредное экологическое воздействие избыточного ила и его объем можно различными способами. Анализ методов уменьшения объема избыточного ила в очистных сооружениях проводится в исследованиях [25, 251]. Авторы рассматривают класс сооружений, для которых в линии выведения избыточного ила применяются различные воздействия, такие как озонирование, хлорирование, воздействие ультразвуком, другие химические, механические, электрические, тепловые воздействия, которые приводят к уменьшению объема избыточного ила, по данным авторов до 90 %.

С развитием технологий и производства мембран изменились и технологии очистки сточных вод. Блок биологической очистки превратился в различные мембранные конструкции, чаще в мембранный биореактор (МБР). При использовании МБР может измениться и технология в целом, например, исключены вторичные отстойники. Использование МБР улучшает качество очистки сточных вод [201]. Исследуются возможности нанотехнологий для очистки сточных вод [202, 218, 220, 235, 238, 240, 255, 261].

#### **1.4. Использование микроводорослей для очистки сточных вод**

Активный ил содержит бактерии, водоросли, грибы, протисты, червей, водных членистоногих. Биоценоз активного ила аэротенков почти полностью гетеротрофен. Однако условия обитания во вторичных отстойниках (отсутствие перемешивания и присутствие света) дают возможность развиваться автотрофным водорослям, которые принимают активное участие в очистке сточных вод, поскольку постоянно присутствуют и достигают массового развития в обрастаниях стенок отстойников [108].

На сооружениях биологической очистки обычно обнаруживаются водоросли: *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanophyta* (*Cyanobacteria*), *Euglenophyta*, *Merismopedia glauca*, *Oscillatoria brevis*, *O. limosa*, *O. sancta*, *Gleotheca confluens*, *Surirella ovate*, *Scenedesmus acuminatus*, *S. bijugatus*, *Hydrurus foetidus*, *Meridion circulare*, *Diatoma hiemale*, *D. hiemale var. mesedon*, *Navicula cryptocephala* [6].

Цианобактерии могут вызывать «вспухание» при дисбалансированном питании активного ила (в основном, недостаток азота и фосфора).

Водоросли выполняют две основные функции: выделение кислорода и антибиотическую [162]. Первая стадия протекает в процессе фотосинтеза, вторая функция заключается в выделении экзометаболитов и других физиологически активных веществ в окружающую среду. Многие виды водорослей также эффективны против целого ряда бактерий. Например, *Pithophora oedogonium* поражает сальмонеллы и стафилококки. Водоросли *Rivularia bullata*, *Nostoc spongiaeforme*, *Codium fragile*, *Colpomenia peregrina*, *Cystoseira barbata* и *Zanardinia typus* активны против многих грамотрицательных и грамположительных бактерий [140, 142, 145, 159, 166, 175–177, 203]. Влияние водорослей также благоприятно сказывается на жизнедеятельности биоценозов биопленки [108]. Симбиотические отношения микроводорослей, бактерий и других представителей активного ила дополняют свойства друг друга: органические соединения, выделяющиеся в результате фотосинтеза водорослей, в конечном счете, могут стать источником пищи для различных гетеротрофных микробов. Стимулирующее рост вещество, вырабатываемое бактериями, может способствовать росту микроводорослей [148, 224, 245, 247]. Во время совместного культивирования хлореллы обыкновенной с *Bacillus licheniformis*, эффективность удаления питательных веществ из водорослей значительно возросла [190]. Водоросли на очистных сооружениях следует рассматривать как облигатные виды для вторичных отстойников и факультативные для аэротенков. В первичных отстойниках, в связи с высоким содержанием загрязняющих веществ обычно развиты только представители вольвоксовых и цианобактерий [120].

Водоросли можно использовать для утилизации биогенных элементов и органических отходов, поскольку водоросли потребляют фенолы, нитраты, фосфаты и сокращают количество бактерий и токсинов в воде. Наиболее перспективным считается использование микроводорослей для очистки сточных вод предприятий пищевой, сельскохозяйственной промышленности [113, 127, 205, 264] целлюлозно-бумажной [123], нефтегазовой промышленности [83].

Наиболее распространенные для очистки сточных вод штаммы микроводорослей *Chlorella vulgaris* [167], *Chlorella* sp. [219], *Chlorella pyrenoidosa* [182, 241], *Chlorella sorokiniana* [164], *Chlamydomonas polypyrenoides* [183], *Scenedesmus obliquus* [199] и *Botryococcus braunii* [132]. Морская зеленая водоросль *Parachlorella kessleri*-I показала высокие темпы роста при использовании сточных вод по сравнению со смешанным сочетанием сточных вод и пресной воды [236, 237]. Исследования с использованием микроводорослей *Chlorella* sp., выделенной из озера Еркауд, штат Тамилнад, Индия в очистке сточной воды кожевенного производства показали значительное снижение содержания тяжелых металлов (хрома, кобальта, никеля, кадмия, свинца, цинка, меди) [219]. Результаты исследования, проведенного Ажаян et al. показали, что биомасса водорослей в период роста снижала загрязнение тяжелыми металлами [130]. Другими исследователями также эффективно использовались различные формы микроводорослей для очистки сточных вод с целью удаления тяжелых металлов [155, 186, 194, 202, 211, 221, 238, 262, 266], связывания CO<sub>2</sub> [166, 178, 180, 212, 218]. Das et al. в исследовании очистки сточной воды с применением штамма *Chlorella vulgaris* были получены результаты снижения ХПК и БПК до 94,74 и 95,93%, соответственно [156]. Химическая потребность в кислороде (ХПК) и биохимическая потребность в кислороде (БПК) сточных вод кожевенного завода были снижены до 95,46% и 95,17% соответственно после обработки микроводорослями *Chlorella* sp. [254].

В работе [222] была исследована способность зеленой микроводоросли (МА) *Chlorella vulgaris* к очистке синтетических анаэробных сточных вод городских сточных вод. Штамм микроводорослей *C. vulgaris* (100 % МВ) обеспечивал максимальную растворимую потребность в химическом кислороде и эффективность удаления N – NH<sup>4+</sup> на 27-42 и 72-86,3 %.

Штамм микроводорослей *Spirulina platensis* вырабатывал фермент, называемый арсенит S-аденозилметионинметилтрансферазой, который обладает способностью метилировать мышьяк, делая его нетоксичным [223].

Основным сырьем, используемым для поликарбонатов, эпоксидных смол и покрытий для жестяных банок консервированных пищевых продуктов, является бисфенол А (BPA). Бисфенол А приводит к острой токсичности речных почв, рек, промышленных сточных вод и т.д. Штаммы водорослей могут снизить этот токсический химический эффект до определенного уровня, например, *Chlorella sorokiniana* [165].

Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* 711-54 обладает интенсивным ростом на сточных водах спиртовых производств и птицеводческих ферм. При этом, потребляя биогенные элементы, образуется биомасса, обогащенная нейтральными липидами и каротиноидами. Полученная биомасса микроводорослей является пригодной для производства кормовых добавок [72, 263].

Ченским и Серпокрыловым предложен способ биологической очистки сточных вод, включающий обработку воды в аэротенках с разбавлением воды очищенной водой 1:3. Затем вводили микроводоросли *Chlorella vulgaris*, смесь аэрировали, а процесс очистки интенсифицировали воздействием лучей света с длиной волны 450-650 нм и дозированием до 50 мл 2%-ного раствора сахарозы. Изобретение обеспечивало извлечение из сточной воды азота аммонийного, ПАВ, сокращение длительности и упрощение технологического оформления процесса [79].

Штамм зеленой микроводоросли *Acutodesmus obliquus* IPPAS S-2016, выделенный непосредственно из сточной воды аэротенков СБО АО «Монди СЛПК», проявляет эффективность очистки сточной воды от аммонийного азота (66 %), взвешенных веществ, железа (87 %), фенолов (94%). Данный штамм может быть использован для очистки сточных очистных сооружений коммунального хозяйства и целлюлозно-бумажного предприятия при колебаниях температуры от +30 до +40 °С [123]. Использование микроводорослей, в очистке сточных вод позволяет не только снижать концентрацию биогенных элементов в воде, поступающей в водные экосистемы, но и происходит накопление липидов, углеводов и белков в микроводорослях во время усиленного культивирования в

сточных водах. Эти природные компоненты подходят для производства энергии [129, 139, 141, 143, 155, 169, 189, 203, 207, 208, 214–216, 236, 246].

### **1.5. Питательные среды для культивирования микроводорослей и биореакторы**

Известно, что для культивирования микроводорослей используют различные питательные среды. Например, среды Тамия и Болда [13]. Недостатком является то, что процесс приготовления данных сред трудоемок и требует значительных затрат времени, т.к. вышеуказанные среды содержат большое количество необходимых для роста и развития водорослей макро- и микроэлементов, которые группируются в зависимости от химических свойств, в отдельные маточные растворы, и используются по мере надобности. При хранении маточных растворов возможно их инфицирование, что требует приготовление новых и увеличивает ресурсо- и энергозатраты на выращивание водорослей. Кроме того, на вышеуказанных средах длительные сроки культивирования водорослей или при коротких сроках культивирования низкий выход биомассы. Также, во избежание инфицирования питательной среды требуется ее стерилизация, что не совсем удобно при приготовлении большого объема.

Среда Люка – питательная среда с бактерицидными, фунгицидными и противовирусными свойствами для культивирования на ней микроводорослей в большом количестве в короткие сроки, включающая в себя минеральный ионит «Ionsorb™», водопроводную воду и стабилизированный куриный помет. Данное комплексное вещество применяют вместо основных макро- и микроэлементов, входящих в состав питательных сред Болда и Тамия [71]. Питательная среда на основе термоминеральной воды позволяет выращивать дешевую биомассу микроводорослей за счет экономии минеральных солей и углекислого газа. Кроме того, тепло геотермальных вод позволяет выращивать микроводоросли круглогодично [1].

Использование сточных вод для культивирования микроводорослей, несмотря на трудности, вызванные негативным воздействием присутствующей в них микрофлоры, является перспективным направлением снижения стоимости биомассы микроводорослей. Согласно отчету, опубликованному Организацией Объединенных Наций в 2017 году, очищается только 20 процентов сточных вод, в то время как остальные 80 процентов сбрасываются в окружающую среду без предварительной очистки, что наносит серьезный ущерб [260].

Сточные воды промышленных предприятий и коммунально бытовые могут служить питательной средой для выращивания микроводорослей для различных целей [131, 133, 135, 138, 147, 149–151, 157, 170, 171, 187, 195–197, 221, 236, 242, 258, 259].

Муниципальные сточные воды, отобранные после отстойника и песколовок, могут быть использованы в качестве питательной среды для культивирования микроводорослей *C. vulgaris* IPPAS C-2. При этом определено, что штамм микроводорослей *C. vulgaris* IPPAS C-2 удаляет из сточных вод 93 - 95 % катионов аммония, 90–97 % фосфат-анионов, 86 – 95 % микрофлоры за 10-11 суток культивирования, выделяет экзометаболиты, способствующие ингибированию микрофлоры, присутствующей в сточных водах, накапливает молочную кислоту (119 г/л) на 4 - 5 сутки [38].

Исследователи [185, 262] сообщали о культивировании водорослей с использованием сточных вод из молочных продуктов и заявили, что биомасса, полученная в процессе очистки, может быть эффективно использована для производства биотоплива.

Был проведен анализ роста и биохимических элементов клеток и культур микроводорослей, собранных из муниципальных сточных вод Барипады и промышленных сточных вод бумажной фабрики Эмами в индийском городе Баласор. Выявлено, что штаммы *Scenedesmus* sp. и *Dolichospermum* sp. показали максимальный рост в 75% разбавленных сточных вод, рост *Hapalosiphon* sp. составил 50%, микроводоросли *Scytonema* sp. имели максимальный прирост на 100% в сточных водах [161].

Органическая вытяжка куриного помета может служить богатым источником питательных и ростостимулирующих элементов, а также широко использоваться в практике массового культивирования микроводорослей. Экспериментально показано, что при выращивании спирулины на питательной среде с 15%-ной вытяжкой из куриного помета, продуктивность культуры в 1,6 раза выше, чем на стандартной среде Заррук. Таким образом, для приготовления культуральных сред можно использовать не только химические питательные смеси и минеральные воды, но и стоки птицефабрик, что позволит существенно снизить себестоимость биомассы *S. platensis*. Решить проблему утилизации и переработки стоков на примере отходов птицефабрик, большую долю которых составляет помет, позволяет способность водорослей ассимилировать в качестве ростового субстрата более 90% всего азота и фосфора сточных вод. Такой подход позволит решить немаловажную проблему утилизации отходов птицефабрик, проблемы экологического, энергетического, агрохимического характера и послужит основой для создания в сельскохозяйственном производстве безотходных экологически чистых технологий [17].

Таким образом, экономически выгодным становится использовать сточные воды промышленных производств для культивирования микроводорослей.

Культивирование микроводорослей в промышленных и лабораторных условиях осуществляется различными фотобиореакторами [36, 135, 191, 211, 234].

В экологической биотехнологии актуальны будут установки как закрытого, так и открытого типа, желательно оптимизированные под конкретную задачу. Так, в случае внесения микроводорослей в доочистку сточных вод оптимальным вариантом послужат простые экономичные биореакторы, установленные вблизи аэротенков с периодичной подачей биомассы микроводорослей в сточную воду.

## **1.6. Микроводоросли в иммобилизованном состоянии для очистки сточных вод**

Несмотря на то, что симбиотические отношения микроводорослей и бактерий в сточных водах позволяют эффективно, как очищать воду от

поллютантов, так и накапливать продуктивную биомассу для различных промышленных целей существуют также проблемы. К ним относятся: токсические действия азотистых органических соединений, производных с двумя или более алкильными группами, производных бензола и производных фенола.

Добавление адсорбентов является одним из перспективных методов смягчения негативного воздействия токсикантов [105, 192, 244, 254]. Производительность очистки сточных вод может быть повышена с использованием цеолитов [248]. Цеолиты имеют пористые структуры с большой площадью поверхности и высокой катионообменной и адсорбционной способностью [159]. Цеолиты широко применяются для очистки сточных вод с использованием комбинации биологической обработки [252]. При получении биосорбентов на основе цеолитов решаются проблемы как повышения эффективности закрепления (удержания) клеток микроорганизмов, в частности микроводорослей, сохранения их жизнеспособности и жизнеспособности внеклеточных ферментов, путем замены лиофильной сушки на иммобилизацию МВ на сорбент, так и утилизации сорбирующих материалов [178]. В экологически неблагоприятных условиях сорбенты выступают в качестве базы-транспорта для МВ, позволяющей жить в анабиозе до 10 лет. Еще одним преимуществом по сравнению с жидкими биопрепаратами является экономическая эффективность, связанная со снижением количества используемого биосорбента в процессе биоочистки [122]. Развитие биопленки на поверхности цеолита повышает общую плотность биомассы системы микроводорослей, и количество взвешенной биомассы также улучшается [198]. Увеличение производства биомассы биопленками путем добавления в реактор различных видов носителей биопленки подтверждено исследованиями [168, 174].

### **1.7. Заключение по обзору литературы**

Водные ресурсы и их качество напрямую влияют на состояние окружающей среды и здоровье человека. Деграция водных ресурсов является хорошо изученным явлением и может быть вызвана природными процессами (изменение климата, взаимодействие воды и горных пород и геологические факторы) и деятельностью человека (методы ведения сельского хозяйства и коммунальные и



промышленные стоки). Причин загрязнения воды множество: промышленные отходы, добыча полезных ископаемых, сточные воды, пестициды и химические удобрения, использование энергии, радиоактивные отходы, городское развитие и т.д. Изменяются физико-химические и биологические характеристики воды, а также качество, количество и доступность водных ресурсов. Загрязняющие вещества, включают металлы, пестициды, патогенные микроорганизмы, питательные вещества и соли, токсичные и химически стойкие вещества. Сам факт использования воды означает, что она будет загрязнена: любая деятельность, будь то бытовая или сельскохозяйственная, а также промышленная, приводит к образованию сточных вод, содержащих нежелательные загрязнители. В этом контексте необходимо прилагать постоянные усилия для защиты водных ресурсов.

Законодательство, регулирующее жидкие промышленные стоки, становится все более строгим и предусматривает очистку любых сточных вод до их выброса в окружающую среду. Для промышленного мира очистка сточных вод стала приоритетом. В течение последних трех десятилетий сообщалось о физических, химических и биологических технологиях, таких как флотация, осаждение, окисление, экстракция растворителем, выпаривание, адсорбция углерода, ионный обмен, мембранная фильтрация, электрохимия, биodeградация и фиторемедиация. Каждая очистка имеет свои преимущества и ограничения не только с точки зрения стоимости, но и с точки зрения эффективности, осуществимости и воздействия на окружающую среду. В целом, удаление загрязняющих веществ осуществляется физическими, химическими и биологическими средствами. В настоящее время не существует единого метода, способного обеспечить адекватную очистку, главным образом из-за сложной природы промышленных сточных вод. На практике часто используется комбинация различных методов для достижения желаемого качества воды наиболее экономичным способом.

На лесопромышленных предприятиях сточные воды содержат в своем составе азотные, фосфорные загрязнители, тяжелые металлы, продукты деструкции лигнина и целлюлозы (фенолы). После очистки воды в цехе

биологической очистки сточной воды ПДК достигаются не по всем показателям, и как следствие вода на выходе оказывается недостаточно очищенной. Доочистка воды в системе аэротенков или вторичных отстойников с помощью микроводорослей может стать актуальным решением проблемы. Поиск эффективных микроводорослей, оптимальных экономически выгодных питательных сред, а также подбор сорбента-носителя микроводорослей может привести к разработке новой технологии оптимизации очистки сточной воды леспромышленного комплекса.

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

### 2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования были использованы:

#### 1. Сточная вода с ЦБОСВ АО «Монди СЛПК»:

1. Сточная вода аэротенков – вода с активным илом, представляющим биомассу светлокорицевого цвета, насыщенную живыми организмами, макро- и микроэлементами
2. Сточная вода вторичных отстойников – очищенная вода от загрязнителей и активного ила.

#### 2. Монокультуры и консорциумы микроводорослей.

Для оценки влияния МВ на изменение состава основных загрязняющих веществ, в сточных водах использованы широко применяемые в альгоиндикационных и биотехнологических исследованиях виды. Большинство из них имеют широкие ареалы распространения и устойчивы к органическому загрязнению среды [156, 157, 167, 178, 214, 221, 222].

#### 2.1.2. Штаммы микроводорослей

В качестве объектов исследования были выбраны культуры МВ из коллекции SYKOA Института биологии Коми НЦ УрО РАН (коллекция живых штаммов цианопрокариот и микроводорослей Научного гербария Института биологии Коми НЦ УрО РАН (регистрационный номер во Всемирном каталоге коллекций культур микроорганизмов WDCM 1125):

1. *Eustigmatos magnus* (B.-Peters.) Hibberd;
2. *Coelastrum proboscideum* Bohlin;
3. *Acutodesmus obliquus* (Turpin) Hegewald & Hanagata (*Tetradesmus obliquus* (Turpin) M.J. Wynne);
4. *Chlorella vulgaris* Beijerinck V. Andreeva (Collection of microalgae strains in the Institute of biology of Komi scientific centre (SYKOA));

*Eustigmatos magnus* (SYKOA E-001-09) водоросль из отдела Ochromophyta (рисунок 2.1). Клетки одиночные коккоидные от 14 до 34 мкм в диаметре. Вид встречается в водной и почвенной среде.

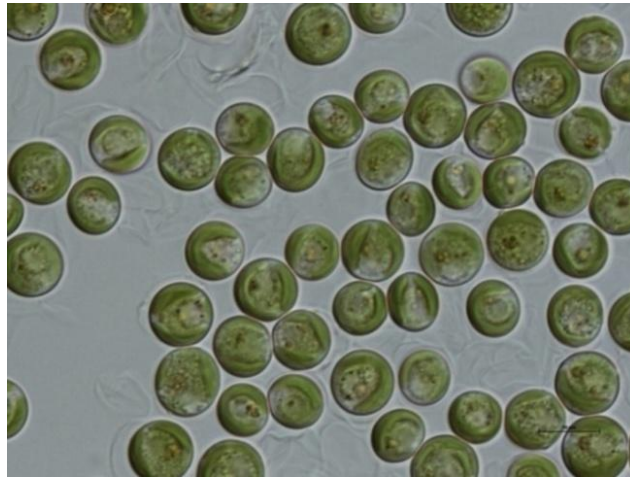


Рисунок 2.1 – *Eustigmatos magnus*

Водоросль легко культивируется, толерантна к воздействию тяжелых металлов и устойчива к высоким температурам. Верхний предел устойчивости этой водоросли зафиксирован при температуре воды около 66 °С [101].

*Chlorella vulgaris* (SYKOA Ch-011-10) – одноклеточная водоросль из отдела Chlorophyta (рисунок 2.2). Клетки сферической формы от 3.3 до 13.3 мкм в диаметре. Вид характеризуется широким ареалом распространения в водной и наземной среде [3].

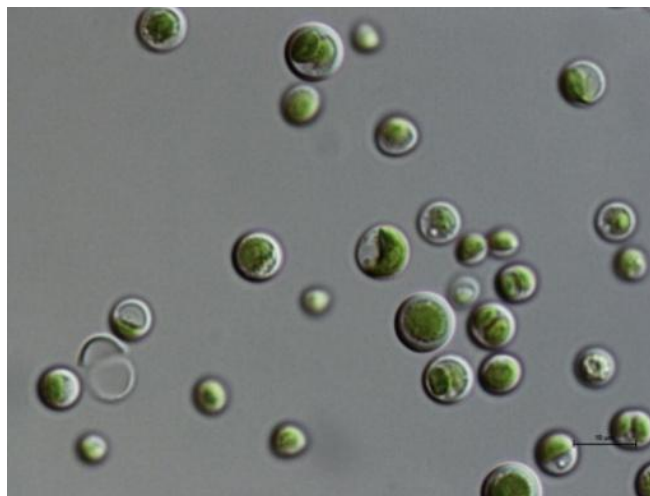


Рисунок 2.2 – *Chlorella vulgaris*

Хлорелла чаще всего используется в альголизации водорослевых прудов, биофлат и проточных водоемов для доочистки сточных вод [34, 94, 152]. Относится к альфамезосапробионтным видам, способным выдерживать значительную степень органического загрязнения.

*Coelastrum proboscideum* (SYKOA Ch-033-14) относится к отделу Chlorophyta (рисунок 2.3). Образует ценобии из 4-64 клеток, но встречаются одно- и двуклеточные формы. Клетки от 5 до 30 мкм в диаметре [116]. Вид широко распространен в пресных водоемах с различным уровнем загрязнения поллютантами [112]. Штамм выделен из сточной воды аэротенков станции биологической очистки лесопромышленного комплекса, где выполнен отбор сточных вод для исследований.

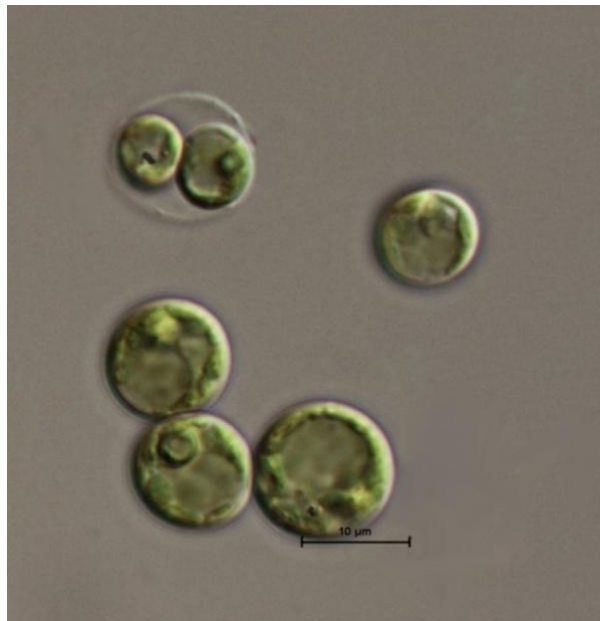


Рисунок 2.3 – *Coelastrum proboscideum*

*Acutodesmus obliquus* (SYKOA Ch-055-12) также относится к отделу Chlorophyta (рисунок 2.4). Образует ценобии из 2-4 клеток, в культуре чаще встречается в виде одиночных клеток 6-15 мкм длиной и 3-11 мкм шириной [116]. Данный штамм также выделен из сточной воды аэротенков станции биологической очистки лесопромышленного комплекса [123]. Обладает устойчивостью к высоким концентрациям поллютантов, достаточно хорошо

переносит условия низкой освещенности. Бета-полисапробионт – обитает в высокоэвтрофных водоемах. Морфологическое описание штамма: форма клеток - эллипсоидная с заостренными полюсами, иногда с ассиметричными концами, в культуре чаще одноклеточная или образует ценобии из 2-4 клеток; средний размер клеток: длина 6-15, ширина 3-11 мкм; присутствует пиреноид; хлоропласт пристенный, зеленый; у клеток жгутики отсутствуют [256].



Рисунок 2.4 – *Acutodesmus obliquus*

## 2.2. Микробиологические методы

### 2.2.1. Питательные среды

Штаммы МВ культивировали на нескольких традиционных питательных средах и одной нестандартной полусинтетической.

Питательная среда Болда (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Состав среды Болда

Компонент	Маточный раствор (г/л дистиллированной воды)	Используемое количество (мл)	Концентрация в конечной среде (моль)
Макроэлементы			
NaNO <sub>3</sub>	25	10	$2,94 \times 10^{-3}$
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2,5	10	$1,70 \times 10^{-4}$
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7,5	10	$3,04 \times 10^{-4}$
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	7,5	10	$4,31 \times 10^{-4}$
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	17,5	10	$1,29 \times 10^{-4}$
NaCl	2,5	10	$4,28 \times 10^{-4}$
Щелочной раствор ЭДТА		1	
ЭДТА	50		$1,71 \times 10^{-4}$
КОН	31		$5,53 \times 10^{-4}$
Кислый раствор железа		1	
FeSO <sub>4</sub>	4,98		$1,79 \times 10^{-5}$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		1	
Раствор Бора		1	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	11,42		$1,85 \times 10^{-4}$
Раствор микроэлементов		1	
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	8,82		$3,07 \times 10^{-5}$
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1,44		$7,28 \times 10^{-6}$
MoO <sub>3</sub>	0,71		$4,93 \times 10^{-6}$
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1,57		$6,29 \times 10^{-6}$
Co (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,49		$1,68 \times 10^{-6}$

В 936 мл дистиллированной воды необходимо добавить агар – 20 г , по 10 мл раствора каждого из 6 макроэлементов и по 1 мл каждого микроэлементов и по 1 мл каждого раствора микроэлементов, затем автоклавировать не менее 15 мин.

Питательная среда Тамия (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Состав питательной среды Тамия

Компонент	Маточный раствор (г/л дистиллированной воды)	Используемое количество (мл)	Концентрация в конечной среде (моль)
Макроэлементы			
KNO <sub>3</sub>	50	10	$2,94 \times 10^{-3}$
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	25	10	$3,04 \times 10^{-4}$
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	12,5	10	$1,29 \times 10^{-4}$
Щелочной раствор ЭДТА		1	
ЭДТА	50		$1,71 \times 10^{-4}$
КОН	31		$5,53 \times 10^{-4}$
Кислый раствор железа		1	

Продолжение таблицы 2.2

Компонент	Маточный раствор (г/л дистиллированной воды)	Используемое количество (мл)	Концентрация в конечной среде (моль)
FeSO <sub>4</sub>	4,98		1,79×10 <sup>-5</sup>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		1	
Раствор Бора		1	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	11,42		1,85×10 <sup>-4</sup>
Раствор микроэлементов		1	
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	8,82		3,07×10 <sup>-5</sup>
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1,44		7,28×10 <sup>-6</sup>
MoO <sub>3</sub>	0,71		4,93×10 <sup>-6</sup>
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1,57		6,29×10 <sup>-6</sup>
Co (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,49		1,68×10 <sup>-6</sup>

Питательная среда стерилизуются в автоклаве в течении 20 минут.

Питательная среда Люка – полусинтетическая модифицированная органино-минеральная среда [70].

1. Водопроводная вода;
2. Минеральный ионит «Ionsorb™», стабилизированный гашеной известью и минеральным ионитом «Ionsorb™»;
3. Куриный помет

Соотношения компонентов: водопроводная вода – 99,75%; минеральный ионит «Ionsorb™» – 0,2%; стабилизированный гашеной известью и минеральным ионитом «Ionsorb™» куриный помет – 0,05%.

Стерилизации не требуется.

### 2.3. Химические методы

Количественный химический анализ образцов сточных вод был выполнен следующими методами: для определения кислотности, рН – потенциометрией ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (ФР.1.31.2007.03794) [37], биохимического потребления кислорода, БПК<sub>н</sub> – ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 (ФР.1.31.2007.03796) [39], общего азота, N<sub>общ</sub> – термokatалитическим окислением с хемиллюминесцентным детектированием (Методика М-02-2405-13 [40], фосфат-иона, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> –



фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 (ФР.1.31.2016.22975) [44], железа, Fe, алюминия, Al, фосфора общего,  $P_{\text{общ}}$ , серу общую,  $S_{\text{общ}}$  – АЭС ИСП (ПНД Ф 14.1:2:4.135-98) [42], фенола – капиллярной хроматографией (ФР.1.31.2013.15054) [52], химическое потребление кислорода, ХПК – фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003 (ФР.1.31.2012.12706) [47], аммоний-иона,  $\text{NH}_4^+$  - фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013, (ФР.1.31.2013.16660) [49]), нитрат-иона,  $\text{NO}_3^-$  - фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 (ФР.1.31.2013.16009) [50], нитрит-иона,  $\text{NO}_2^-$  - фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.3-95 [51], хлорид-иона, Cl – АЭС ИСП, ФР.1.31.2016.23501 [53], сульфат-иона,  $\text{SO}_4^{2-}$  турбидиметрией, РД 52.24.405-2005 [48], взвешенных веществ, ВВ – гравиметрией, ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009 (ФР.1.31.2013.13901) [43], сухой остаток – гравиметрией, ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010 (ФР.1.31.2015.21954) [41], цветность – фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.207-04 (ФР.1.31.2007.03807) [46], мутность – турбидиметрией, ПНД Ф 14.1:2:4.213-05 (ФР.1.31.2007.03808) [45].

#### 2.4. Биохимические методы

Дегидрогеназную активность водной суспензии исследовали в соответствии с методикой ВНИИ ВОДГЕО [98].

#### 2.5. Методы минералогических исследований

Морфологию поверхности и состав образца изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-Max, Oxford Instruments, при ускоряющем напряжении 20 кВ. Для изучения микроводорослей использовалось ускоряющее напряжение 5 кВ.

Химический состав пород определяли методом силикатного анализа на 12/14 компонентов.

Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 (излучение  $\text{CuK}\alpha$ , Ni фильтр, 30 кВ, 30 мА). Порошковую пробу снимали в диапазоне  $2-65^\circ 2\theta$  со скоростью 1 град/мин и шагом сканирования  $2\theta$   $0.05^\circ$ .

Фазовый состав глинистой фракции определяли методом рентгеновской дифракции ориентированных и неориентированных образцов, подвергнутых стандартным диагностическим обработкам.

Удельную площадь поверхности, объем микро- и мезопор, общий объем пор исходного необработанного образца определяли методом низкотемпературной физической сорбции азота с помощью анализатора площади поверхности и размера пор NOVA 1200e, Quantachrome при температуре – 196 °С с предварительной дегазацией при 350 °С в вакууме в течение 2 ч. Удельную площадь поверхность рассчитывали методом BET, объем мезопор – методом ВЖН, объем микропор методом Дубинина-Астахова.

## **2.5. Статистические методы**

Статистическую обработку данных осуществляли с применением пакета прикладных программ Microsoft Office и Excel 2010. При статистической обработке данных использовали *t*-критерий Стьюдента и расчет доверительных интервалов средних арифметических значений.

### ГЛАВА 3. ОЦЕНКА И ПОДБОР НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Модельный эксперимент проводили с использованием сточной воды. Сточная вода была отобрана в день эксперимента из аэротенков станции биологической очистки лесопромышленного комплекса. Она образуются вследствие смешения двух потоков. Первый поток – это отходы целлюлозно-бумажного производства. В этих стоках загрязняющие вещества представлены фенолами, общим фосфором и азотом, металлами, ионами нитратов, нитритов и аммония. Второй поток – это городские канализационные стоки, в которых содержатся в высоких концентрациях вещества азотной группы, общий фосфор, а также ионы железа.

Накопление биомассы МВ проводили в колбах объёмом 250 см<sup>3</sup> на питательной среде Люка в течение 14 дней. Титр клеток культур МВ составил от 2,2 до 2,6×10<sup>8</sup> кл/см<sup>3</sup>. В емкости объёмом 3 дм<sup>3</sup> помещали сточную воду объёмом 1,5 дм<sup>3</sup> и инокулировали микроводоросли в количестве 1% от общего количества воды.

Режим - освещение фитолампой OSRAM L 18W/77 Fluora, световой поток которой равен 550 lumen. Барботирование проводили компрессором Tetrates APS 400, температура - комнатная. Контролем служила сточная вода, отобранная из аэротенков без внесения инокулята (таблица 3.1). Эксперимент проводили в течение суток, взяв за основу технологический регламент, используемый для станций биологической очистки сточных вод [124]. Концентрацию загрязняющих веществ в сточной воде анализировали до и после проведения эксперимента в 3-х повторностях.

Таблица 3.1 – Химический состав сточных вод, использованных для эксперимента

Наименование	pH	Al, мкг/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	N <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	P <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Фенол, мкг/дм <sup>3</sup>
Сточная вода аэротенков	7,12±0,14	1,23±0,12	0,83±0,1	2,7±0,5	0,74±0,06	37±2,2

Проведенный эксперимент показал изменение содержания загрязняющих веществ в сточной воде в присутствии МВ по сравнению с контролем. Заметное снижение концентрации отмечено для биогенных элементов – азота и фосфора.

**Общий азот** характеризует валовое содержание всех форм азота в пробе воды. Именно он используется для характеристики антропогенной нагрузки природной среды или очистных сооружений [125]. Большинство микроводорослей являются организмами с белковой направленностью метаболизма, поэтому при культивировании требуют достаточно большого количества азота [21]. Этот элемент необходим водорослям для синтеза простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, фотосинтетических пигментов и других органических веществ. Недостаток или избыток в среде азота влияет на рост и развитие водорослей, что проявляется в изменении скорости деления клеток, нарушениях функционирования фотосинтетического аппарата, перестройке клеточного метаболизма и обмена веществ [21]. При внесении в сточные воды водорослей отмечен синтез соединений азота для всех исследованных монокультур (рисунок 3.1). Достоверно значимое (таблица 3.2) снижение общего азота в экспериментальных условиях наблюдали для микроводорослей *C. vulgaris*, *E. magnus*, *A. obliquus*. Меньшую эффективность проявили микроводоросли *C. proboscideum* (рисунок 3.1.).

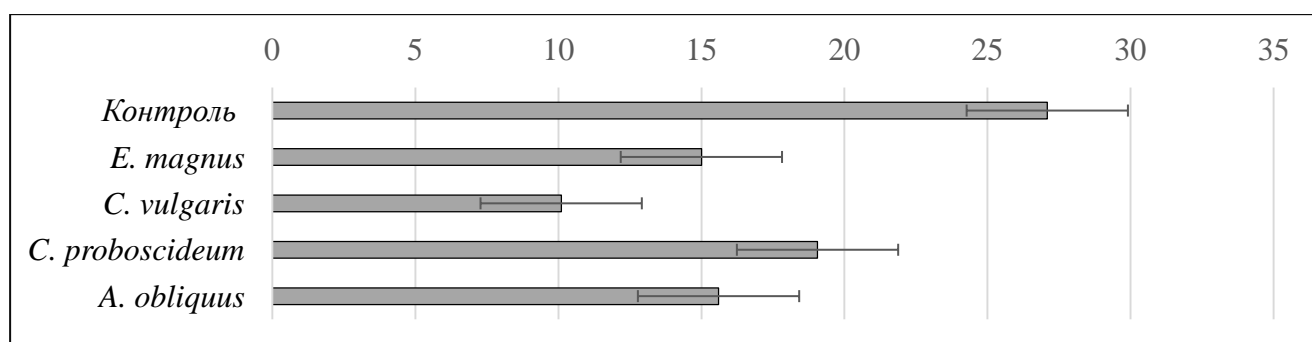


Рисунок 3.1 – Содержание общего азота (мг/дм<sup>3</sup>) в сточных водах через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ

Полученные нами результаты по снижению общего азота МВ от 30 до 63 % (за одни сутки эксперимента) согласуются с данными других авторов. Например,

для штамма *C. vulgaris* установлено снижение общего азота на 67 % и 96 % [223, 246], для штамма *A. obliquus* до 65 % [123]. Для микроводорослей *E. magnus* и *C. proboscideum* сведения не найдены, так как эти виды малоизучены в качестве биотехнологических агентов в процессах очистки сточных вод.

**Общий фосфор** один из основных загрязнителей стоков промышленных предприятий и коммунального хозяйств, его поступление в природные экосистемы приводит к изменению трофического статуса и перестройке сообществ водоемов. Этот элемент участвует в азотном и углеводном обменах водорослей, в энергетических и биохимических реакциях, а также входит в состав конституционных соединений протоплазмы и ядра [21]. МВ ассимилируют фосфор в ходе синтеза фосфолипидов, а при избыточном поглощении аккумулируют его в виде неорганических полифосфатных гранул [225]. Фосфорорганические соединения влияют на интенсификацию роста культуры микроводорослей в малых концентрациях, позволяют увеличить число клеток микроводорослей [22].

Анализ литературных источников показал, что микроводоросли активно применяют для очистки сточных вод от соединений фосфора [219]. Так, использование штамма *C. vulgaris* в экспериментах [254] снижало содержание  $P_{\text{общ}}$  до 50 % в течение 9 дней.

Снижение содержания соединений фосфора наблюдали в пробах сточной воды с внесением всех исследованных штаммов (рисунок 3.2). В сточной воде с инокуляциями водорослей регистрировали уменьшение содержания  $P_{\text{общ}}$  в 1,8-7 раз с высоким уровнем статистической значимости ( $p > 0,99$ ) для всех исследованных штаммов. Внесение монокультур *E. magnus* и *C. proboscideum* привело к наиболее эффективному снижению соединений фосфора в сточной воде.

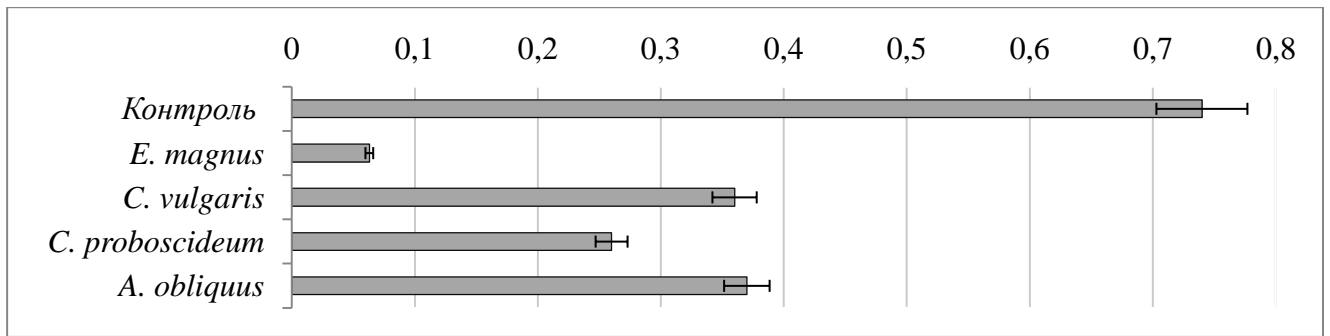


Рисунок 3.2 – Содержание общего фосфора (мг/дм<sup>3</sup>) в сточных водах через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ

Биоаккумуляция является более эффективным и экономически рентабельным методом изъятия токсичных металлов из окружающей среды в сравнении с применением физико-химических и биологических методов [16, 107, 117, 130, 156, 188, 190, 202, 211, 226, 232, 263, 264].

**Железо** является биологически активным элементом и оказывает влияние на интенсивность развития фитопланктона и микрофлоры в водоемах. Этот элемент участвует во многих физиологических процессах в клетках МВ: окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза, процессах дыхания и углеводного обмена. Водоросли *E. magnus* обладают высокой способностью к биосорбции металлов. В нашем случае выявлено достоверное (рисунок 3.3) уменьшение содержания ионов  $Fe^{+2}$  при внесении культуры *E. magnus*. Менее активно сорбировал этот элемент инокулят *C. proboscideum* (рисунок 3.3).

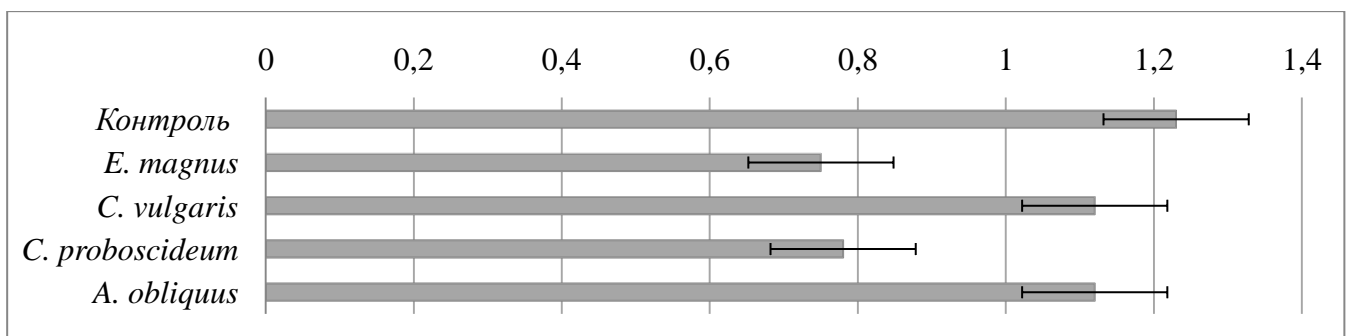


Рисунок 3.3 – Содержание ионов железа (мг/дм<sup>3</sup>) в сточных водах через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ

В образцах с культурами *C. vulgaris* и *A. obliquus* было обнаружено повышенное содержание железа (рисунок 3.3), что, вероятно, может быть связано

с использованием водопроводной воды, насыщенной ионами железа в питательной среде Люка, на которой культивировали маточные культуры *C. vulgaris* и *A. obliquus*. Возможно, что накопленные в процессе культивирования ионы железа десорбировались с клеток микроводорослей в сточную воду. Предполагаем, что для включения железа в клеточный метаболизм всех исследуемых штаммов МВ следует увеличить время экспозиции.

**Ионы алюминия** при поступлении в природные водоемы со сточными водами в высоких концентрациях оказывают токсичное воздействие на водные организмы. При этом в малых дозах алюминий может оказывать стимулирующий эффект на рост культур МВ [157].

Все инокулированные МВ снижали содержание ионов алюминия в сточной воде по отношению к контролю (рисунок 3.4). Содержание  $Al^{3+}$  достоверно снижалось ( $p > 0,95$ ) по отношению к контролю при инокуляции сточной воды штаммами *E. magnus* и *C. proboscideum*.

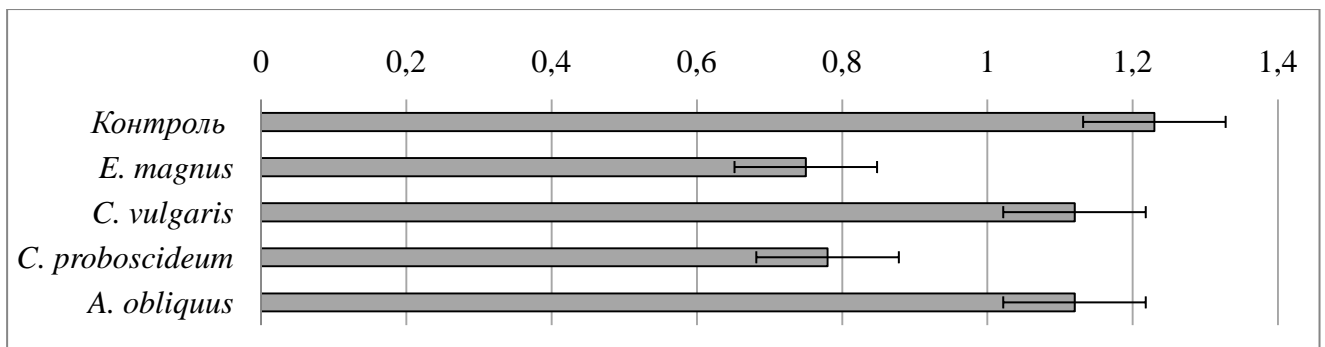


Рисунок 3.4 – Содержание алюминия ( $mg/dm^3$ ) в сточных водах через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ

**Фенольные соединения** в сточной воде лесопромышленного комплекса представляют собой продукты глубокой биодеструкции лигнина. Высокие концентрации фенолов оказывают острое токсическое действие на водоросли, но при этом некоторые цианопрокариоты и эукариотические водоросли способны поглощать и метаболизировать фенольные соединения в процессе жизнедеятельности [1, 123]. Эффект биотрансформации фенолов с высокой

достоверностью различия был отмечен у культур МВ *E. magnus* и *C. proboscideum* (рисунок 3.5).

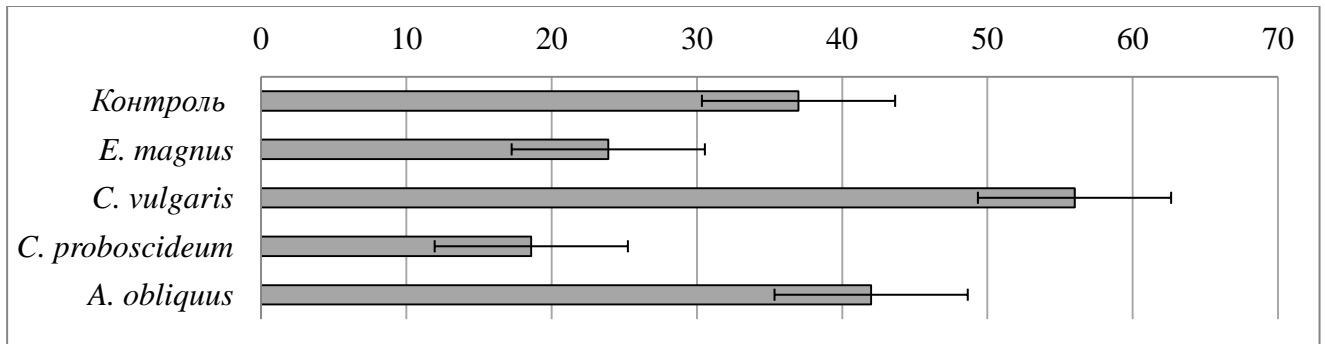


Рисунок 3.5 – Содержание фенолов (мкг/дм<sup>3</sup>) в сточных водах через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ

При инокуляции в сточную воду штамма *C. vulgaris* происходило повышение содержания фенолов в исследуемых образцах, что можно обосновать синтезом некоторых фенольных соединений МВ и цианопрокариотами. Например, в составе экстрактов цианопрокариот *Spirulina* sp. и *Nostoc muscorum*, а также у МВ *Chlorella* sp. и *Nannochloropsis oculata* были обнаружены фенольные соединения, которые ингибируют синтез микотоксинов [200, 243]. Рядом ученых выявлено, что МВ *Chlorella* sp. и *Spirulina* sp. могут синтезировать такие фенольные соединения как: *p*-кумаровая кислота, фороглуцинол, апигенин, галловая кислота, феруловая кислота [204, 244].

Разная абсорбирующая способность использованных штаммов связана с их различными морфологическими, физиологическими и эколого-географическими особенностями. В таблицу 3.2 сведены характеристики исследованных видов МВ.

Виды *Coelastrum proboscideum*, *Eustigmatos magnus* и *Acutodesmus obliquus* имеют крупные размеры клеток, и, следовательно, большую поверхность для сорбции загрязняющих веществ из сточной воды. Наличие вакуолей у вышеназванных видов, а также у культуры *Chlorella vulgaris* обеспечивают хорошую адсорбирующую способность, особенно в старых культурах, которые могут накапливать как запасные вещества, так и конечные продукты метаболизма клетки. Кроме того, пектин, содержащийся в клеточных оболочках, обладает детоксицирующими свойствами, т.е. способен сорбировать токсические



элементы, радионуклиды и выводить их из организма. Эффективность использования культур МВ в процессах очистки сточных вод может также объясняться их способностью к полноценному развитию в водоемах с различным уровнем трофности. В ходе экспериментов были подтверждены и для ряда исследованных штаммов дополнены экологические характеристики по отношению к трофности воды. Например, штамм *C. vulgaris* относится к альфамезосапробионтам и может обитать в водоемах с высоким уровнем загрязнения, что подтверждается и нашими исследованиями (рисунок 3.1, 3.2, 3.4). Вид *E. magnus* приспособлен к обитанию в почвенной и водной средах. Обширный ареал и частая встречаемость свидетельствуют о высокой толерантности данного вида к неблагоприятным условиям среды. Эффективная биодеструкция загрязняющих веществ из сточной воды этим штаммом подтверждается результатами эксперимента (рисунок 3.1 - 3.5). Аналогичный вывод можно применить к культуре *C. proboscideum*. Несмотря на обитание этой микроводоросли в олигосапробных зонах (зонах чистой воды), характеризующихся небольшим содержанием органических соединений, инокулированный штамм *C. proboscideum* проявил активность в отношении ряда загрязняющих веществ в сточной воде (рисунок 3.1 - 3.5). Несмотря на то, что штамм *A. obliquus* был выделен из исследуемой сточной воды, в ходе проведения эксперимента проявил не высокую эффективность очистки.

Таблица 3.2 – Морфологические, экологические и биотехнологические характеристики видов МВ, использованных для эксперимента

Характеристика МВ	<i>Eustigmatus magnus</i> (В.-Peters.) Hibberd ( <i>Vischeria magna</i> (J.B.Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl)	<i>Coelastrum proboscideum</i> Bohlin, ( <i>Tetradesmus obliquus</i> (Turpin) M.J.Wynne)	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	<i>Acutodesmus obliquus</i> (Turpin) Hegewald & Hanagata
№ регистрации в коллекции*	СУКОА-Е-001-09	СУКОА Ch-033-14	СУКОА Ch-011-10	СУКОА Ch-055-12
Коллекция	Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов ФГБУ «ГосНИИгенетика»	Коллекция МВ и цианобактерий ИРРАС ИФР РАН		
№ в каталоге депонирования	ВКПМ А1-25	ИРРАС С-2055	ИРРАС С-2024	ИРРАС S-2016
Место сбора	Россия, Приполярный Урал	активный ил, Цех биологической очистки	Россия, Приполярный Урал	активный ил, Цех биологической очистки
Среда обитания	Водная и почвенная	Водная	Водная и почвенная	Водная
Форма клеток	Сферическая	Сферическая, формируют ценобии	Сферическая	Эллипсоидная, ценобии
Размер клеток	От 14 до 34 мкм	Длина 6-15, Ширина 3-11 мкм	От 3,3 до 13,3 мкм	4-25 мкм длина и 2,2-11 мкм ширина
Состав клеточной оболочки	Пектиновая оболочка	Целлюлозно-пектиновая оболочка	Целлюлозно-пектиновая оболочка	Целлюлозно-пектиновая оболочка
Вакуоли	Есть	Есть	Есть	Есть

Продолжение таблицы 3.2

Характеристика МВ	<i>Eustigmatos magnus</i> (В.- Peters.) Hibberd ( <i>Vischeria magna</i> (J.B.Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl)	<i>Coelastrum proboscideum</i> Bohlin, ( <i>Tetrademus obliquus</i> (Turpin) M.J.Wynne)	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	<i>Acutodesmus obliquus</i> (Turpin) Hegewald & Hanagata
Запасные вещества	Хризо-ламинарин и масло	Крахмал, масло	Крахмал, масло	Крахмал, масло
Уровень трофности	–	Олигосапробионт	Альфа-мезосапробионт	Бета-полисапробионт
Экобиологиче- ская характери- стика	Снижает концентрацию:			
	(3+)**N <sub>общ</sub> , (5+)P <sub>общ</sub> , (4+)Фенолов, (5+)Al <sup>3+</sup> (5+)Fe <sup>2+</sup>	(1+)N <sub>общ</sub> , (3+)P <sub>общ</sub> , (5+)Фенолов (4+)Al <sup>3+</sup> (3+)Fe <sup>2+</sup>	(4+)N <sub>общ</sub> , (2+)P <sub>общ</sub> , (1+)Al <sup>3+</sup>	(3+)N <sub>общ</sub> , (1+)P <sub>общ</sub> , (2+)Al <sup>3+</sup>

\* - эффективность биотрансформации элемента, по шкале от 1+ до 5+

Проведенный анализ позволил выявить два наиболее эффективных штамма микроводорослей *E. magnus* и *C. proboscideum* для очистки сточных вод, способных к деструкции и биотрансформации загрязняющих веществ. Для показательной оценки достоверностей различия была составлена таблица 3.3.

Таблица 3.3 – Показатели достоверностей различия ( $p$ ) между инокулированными образцами и контролем

Культуры МВ	$N_{\text{общ}}$	$P_{\text{общ}}$	Фенолы	$Al^{3+}$	$Fe^{2+}$
<i>E. magnus</i>	0,99	0,995	0,98	0,95	0,90
<i>C. proboscideum</i>	0,95	0,99	0,99	0,95	–
<i>C. vulgaris</i>	0,995	0,98	–	–	–
<i>A. obliquus</i>	0,98	0,98	–	–	–

Выявлен ряд эффективности МВ в отношении снижения загрязняющих веществ в пределах доверительной вероятности различий между образцами и контролем:

$N_{\text{общ}}$ : *C. vulgaris* > *E. magnus* > *A. obliquus* > *C. proboscideum*.

$P_{\text{общ}}$ : *E. magnus* > *C. proboscideum* > *C. vulgaris* > *A. obliquus*.

Фенолы: *C. proboscideum* > *E. magnus*.

$Al^{3+}$ : *E. magnus* > *C. proboscideum* > *A. obliquus*.

$Fe^{2+}$ : *E. magnus*.

Как видно из ряда эффективностей не все культуры достоверно снижали фенолы, аккумулировали ионы железа и алюминия по отношению к контрольному образцу.

На основании проведенной биотехнологической оценки монокультур микроводорослей выявлены два штамма *Eustigmatos magnus* и *Coelastrum proboscideum*, наиболее эффективных в очистке от загрязняющих веществ сточной воды в пределах доверительной вероятности различий между образцами и контролем. Показано, что при введении культур *Eustigmatos magnus* и *Coelastrum proboscideum* в сточную воду, отобранную из аэротенков лесопромышленного комплекса, снижается содержание общего фосфора (33 – 84 %) при  $p=0,995-0,99$ , общего азота (5 – 25 %) при  $p=0,99-0,95$ , железа (8 – 25 %) при  $p=0,90$ , алюминия (8 – 40 %) при  $p=0,95$  и фенолов (15 – 50 %) при  $p=0,98-0,99$ .

Штаммы микроводорослей *Eustigmatos magnus* и *Coelastrum proboscideum* могут быть рекомендованы в качестве биотехнологических агентов очистки сточных вод от основных загрязняющих веществ при их периодическом введении в аэротенки. Кроме того, на основе культур, эффективно очищающих сточные воды, возможно создание консорциума МВ в целях проявления синергетического эффекта.

### 3.1. Заключение по главе 3

В очистных сооружениях цеха биологической очистки сточной воды лесопромышленного комплекса АО «Монди СЛПК» преобладают органические вещества и химические элементы, такие как фенол, фосфаты, сульфаты, общий азот, аммонийный, нитритный, нитратный азот, металлы, участвующие в энергетических и биохимических реакциях. На выходе из очистных сооружений эти вещества могут в несколько раз превысить ПДК, что переводит их в разряд основных загрязняющих веществ. Исследована возможность доочистки сточной воды с помощью монокультур МВ (*C. proboscideum*, *E. magnus*, *C. vulgaris*, *A. obliquus*) и их консорциумов. Экспериментально выявлено, что наиболее эффективными в очистке от биогенных элементов и биотрансформации органических загрязнителей, являются штаммы МВ *C. proboscideum* (удаление Al на 11-35 %, Fe на 19 %,  $P_{\text{общ}}$  на 21-64 %,  $N_{\text{общ}}$  на 15-25 %,  $\text{NO}_3^-$  на 10 %, фенолы на 51 %), *E. magnus* (удаление Al на 6-41 %, Fe на 16-35,7 %,  $N_{\text{общ}}$  на 30 %,  $P_{\text{общ}}$  на 19-78 %,  $\text{NO}_3^-$  на 53 %, фенолы на 30 %), *C. vulgaris* (удаление Al на 6-14 %, Fe на 14%,  $P_{\text{общ}}$  на 50 %,  $N_{\text{общ}}$  на 58 %,  $\text{NO}_3^-$  на 17 %) и консорциум, состоящий из культур *C. proboscideum*, *E. magnus* (удаление Al на 12 %, Fe на 20-39,3 %,  $P_{\text{общ}}$  на 24 %,  $S_{\text{общ}}$  на 16 %,  $N_{\text{общ}}$  на 18-64 %,  $\text{NO}_3^-$  на 13 %,  $\text{NH}_4^+$  на 87-90 %, фенолы на 31,5-83 %).

## ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ ОТ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ МОНОКУЛЬТУР МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ИХ КОНСОРЦИУМОВ

### 4.1. Эффективность очистки сточной воды в зависимости от питательной среды культивирования

Модельный эксперимент проводили с использованием сточной воды аэротенков (таблица 4.1). Накопление биомассы МВ проводили в 250 см<sup>3</sup> колбах на питательной среде Люка в течение 14 дней. Титр клеток культур МВ составил  $2,7 \times 10^8$  кл/см<sup>3</sup>. В емкости на 3 дм<sup>3</sup> помещали сточную воду по 1,5 дм<sup>3</sup> и инокулировали МВ и консорциум (*C. proboscideum* + *E. magnus*) в количестве 1% от общего количества.

Режим - освещение фитолампой OSRAM L 18W/77 Fluora, световой поток которой равен 550 lumen. Барботирование проводили компрессором Tetrates APS 400, температура - комнатная. Контролем служила сточная вода, отобранная из аэротенков без внесения инокулята. Эксперимент проводили в течение суток, взяв за основу технологический регламент, используемый для станций биологической очистки сточных вод [124]. Концентрацию загрязняющих веществ в сточной воде анализировали до и после проведения эксперимента в 3-х повторностях.

Таблица 4.1 – Культуры микроводорослей и их консорциумы

№ пробы	Наименование пробы
1	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>C. vulgaris</i> (среда Тамия)
2	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>C. proboscideum</i> (среда Тамия)
3	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>C. vulgaris</i> (среда Люка)
4	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>E. magnus</i> (среда ВВМ)
5	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>E. magnus</i> (среда Люка)
6	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>C. proboscideum</i> (среда Люка)
7	Сточная вода аэротенков + штамм м/в <i>C. proboscideum</i> (среда Тамия)
8	Сточная вода аэротенков + консорциум микроводорослей на среде Тамия
9	Сточная вода аэротенков + консорциум микроводорослей на среде Люка
К	Сточная вода аэротенков (Контроль)

Содержание **железа** в сточной воде, отобранной из аэротенков ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» было выше в 2,5 раза установленных нормативов (рисунок 4.1). В течение суток происходила незначительная адсорбция ионов железа клетками микроводорослей. Штамм *E. magnus* и консорциум, выращенные на среде Люка адсорбировали ионы железа на 35,7 % и 39,3 %, соответственно.

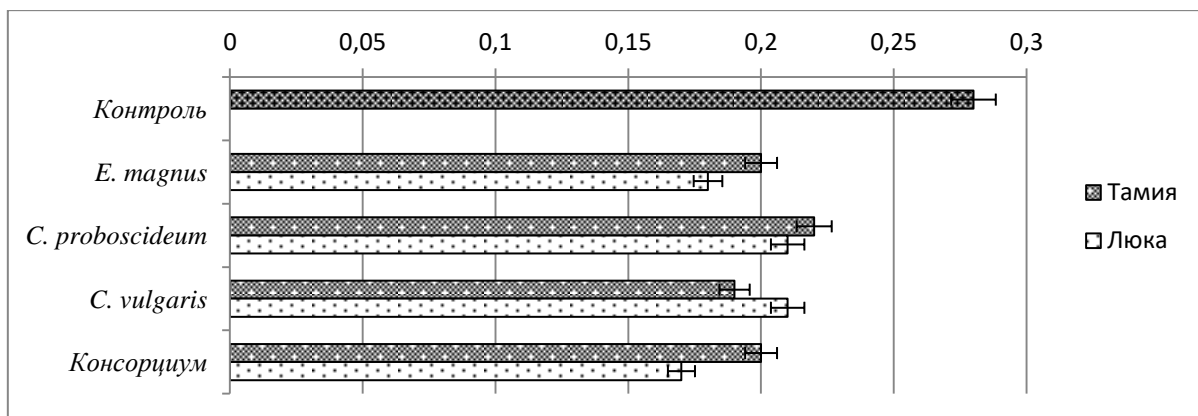


Рисунок 4.1 – Содержание железа ( $\text{мг/дм}^3$ ) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

Содержание **алюминия** в контрольном варианте сточной воды в 14 раз превышает нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (рисунок 4.2). Аккумуляция алюминия микроводорослями за сутки в вариантах эксперимента происходит незначительно, в пределах погрешности, не достигая установленных нормативов.

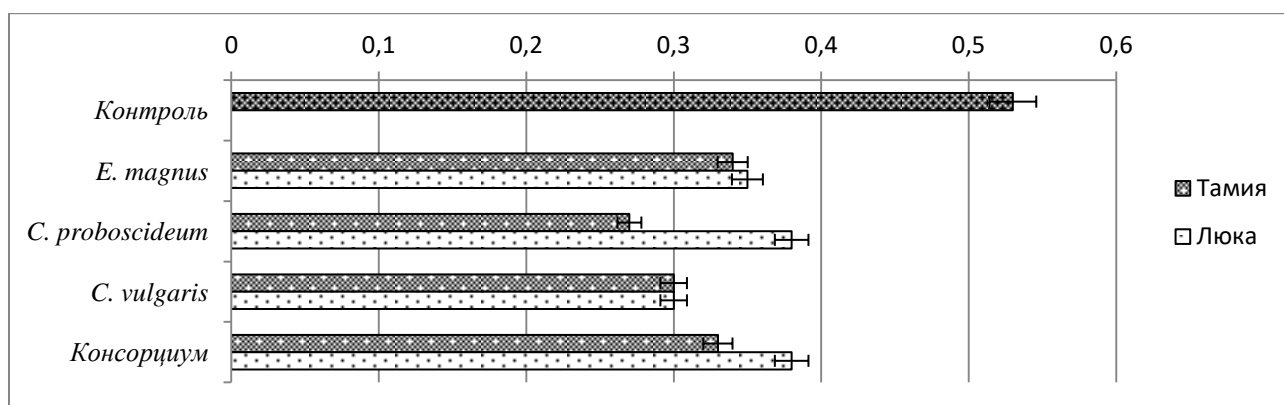


Рисунок 4.2 – Содержание алюминия ( $\text{мг/дм}^3$ ) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

**Общий азот** в сточной воде в пределах нормы.  $N_{\text{общ}}$  фиксируется из сточной воды практически всеми микроводорослями. Самый высокий недостаток

общего азота наблюдается у штамма *C. vulgaris* (среда Люка) и консорциума микроводорослей (среда Люка), – потребление более чем в 3 раза со сточной воды (рисунок 4.3).

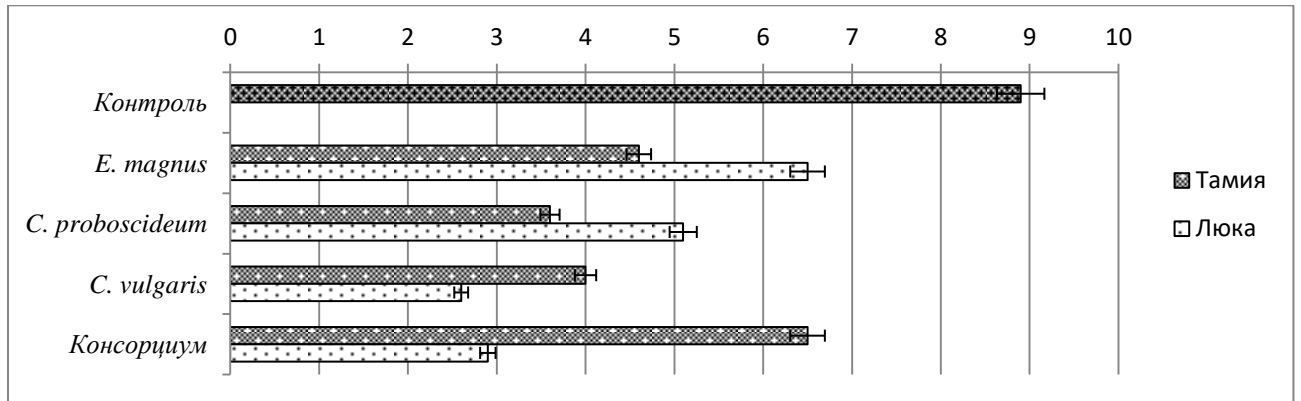


Рисунок 4.3 – Содержание общего азота ( $\text{мг/дм}^3$ ) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

**Азот аммонийный** в контрольной пробе сточной воды превышает нормативы в 7,8 раз. Его наличие обусловлено высоким содержанием органических веществ в стоках за счет смешения 2-х потоков, один из которых – канализационные сточные воды. Все штаммы и консорциумы инокулированные в сточную воду потребляют аммонийный азот. Наиболее эффективными по снижению содержания  $\text{NH}_4^+$  по сравнению с контрольным вариантом оказались консорциумы, культивированные на среде Тамия и Люка. Эффективность очистки составила 87 % и 90 %, соответственно. Причем, после инокуляции консорциумом (среда Люка) содержание аммонийного азота не превышало норм (рисунок 4.4). Данные подтверждаются результатами исследований других авторов по снижению на 40-90% аммонийного азота [128, 152, 253].



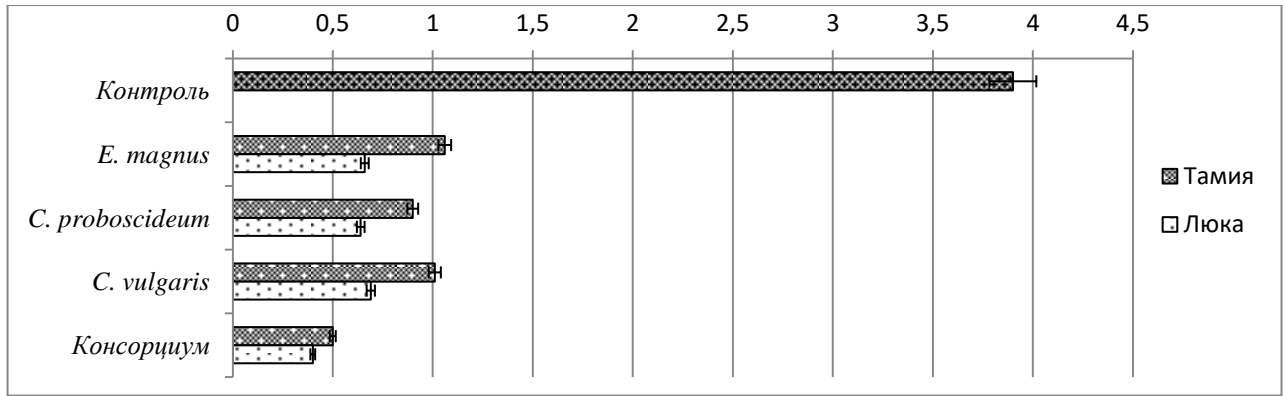


Рисунок 4.4 – Содержание аммонийного азота ( $\text{мг/дм}^3$ ) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

**Азот нитритный** во всех пробах содержался в следовых количествах (менее  $0,02 \text{ мг/дм}^3$ ).

**Азот нитратный** – образуются как последний этап окисления аммонийного азота. Внесение микроводорослей стимулировало окисление  $\text{NO}_3^-$ , что привело к его снижению в пробах модельного эксперимента в 1,7-2 раза (рисунок 4.5). Исследованиями некоторых авторов подтверждается удаление микроводорослями нитратного азота [126, 193].

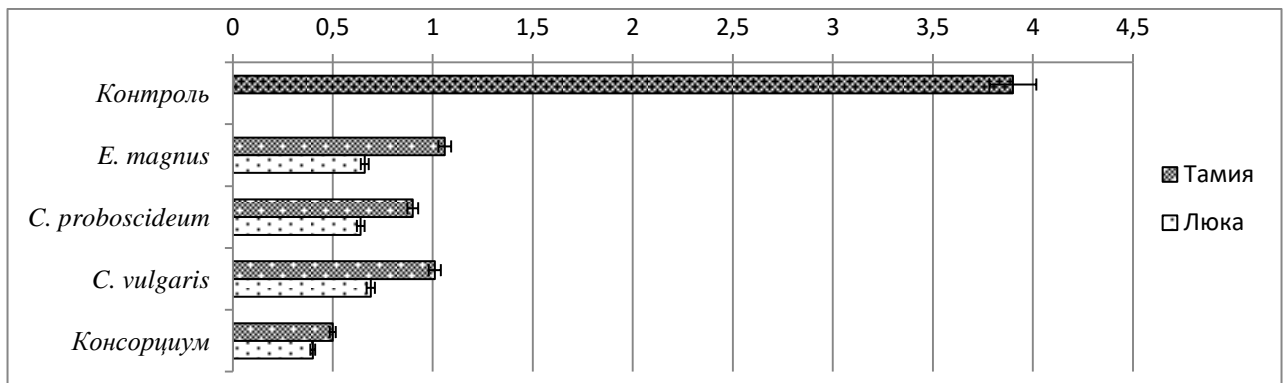


Рисунок 4.5 – Содержание нитратного азота ( $\text{мг/дм}^3$ ) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

**Сера общая** может присутствовать в сточных водах в различных соединениях: неорганических (сульфаты, сульфиты, сульфиды, тиосульфаты, роданиды, свободная сера) и органических (белковые соединения, органические сульфиды, дисульфиды, меркаптаны, различные сульфосоединения, поверхностно-активные моющие вещества и многие другие). Соединения серы

являются ферментным ядом для многих аэробных микроорганизмов, присутствующих в активном иле, а также провоцируют сероокисляющих микроорганизмов, которые становятся конкурентами в потреблении растворенного кислорода в иловой жидкости аэротенков [106]. В течение суток происходило незначительное окисление серы в пробах сточной воды. Консорциум микроводорослей, культивированный на среде Люка показал самый эффективный результат по снижению содержания общей серы – 16% от контроля (рисунок 4.6).

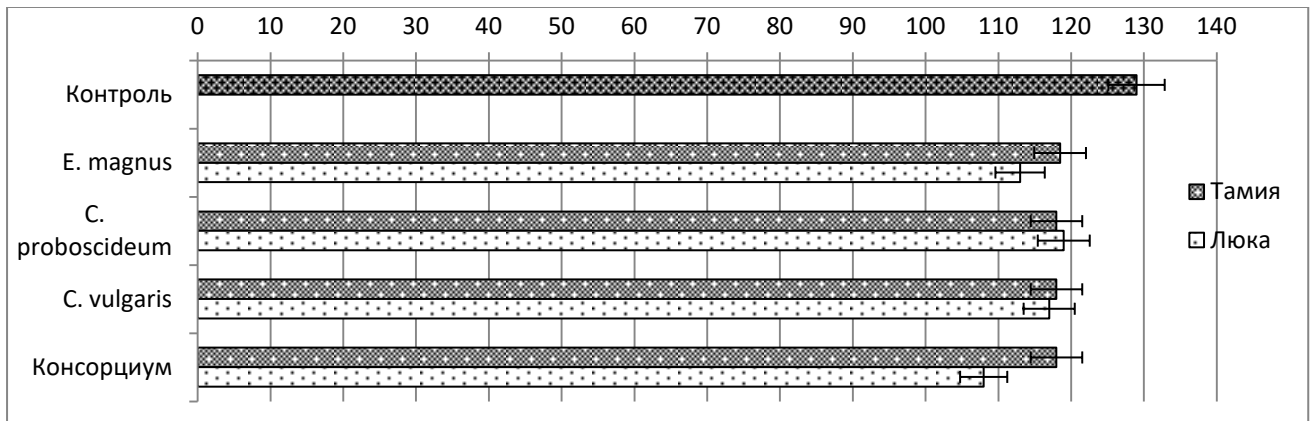


Рисунок 4.6– Содержание общей серы ( $\text{мг/дм}^3$ ) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

Группу опасных поллютантов, являющихся одним из основных видов загрязняющих веществ лесоперерабатывающих предприятий, представляют продукты глубокой биодеструкции лигнина – **фенол и его производные** [1]. В модельном эксперименте трансформация фенолов происходила во всех пробах с внесением как монокультур, так и консорциумов. Эффективность очистки от фенолов в сточной воде при внесении штаммов *C. vulgaris*, *C. proboscideum*, *E. magnus*, а также их консорциумов составила от 31,5 до 83% (рисунок 4.7).

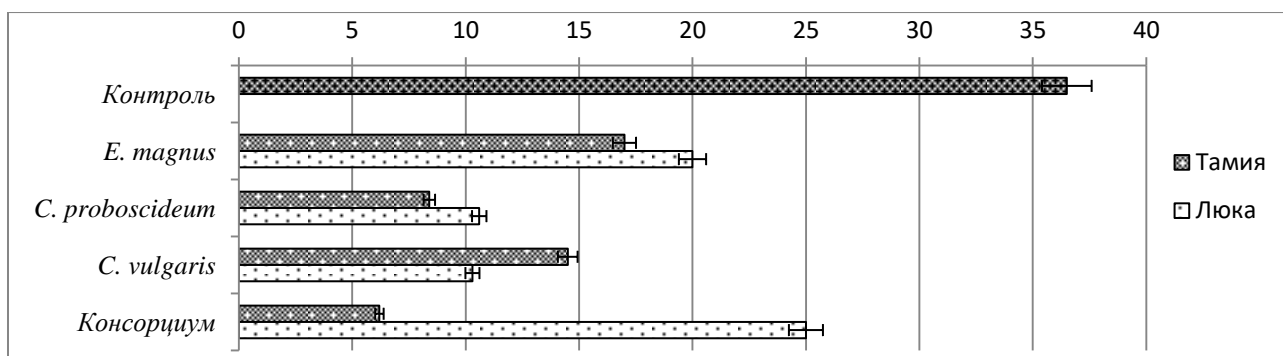


Рисунок 4.7 – Содержание фенола (мкг/дм<sup>3</sup>) в модельной сточной воде через 24 часа после инокуляции монокультурами МВ и консорциумами

Таким образом, инокулирование монокультурами микроводорослей и их консорциумами сточной воды привело к очистке от всех исследованных поллютантов, причем консорциум микроводорослей, состоящий из штаммов *C. proboscideum*, *E. magnus*, культивированный на среде Люка показал наиболее эффективные результаты.

#### 4.2. Эффективность очистки сточной воды в зависимости от концентрации клеток в культивированной биомассе микроводорослей

Модельный эксперимент проводили с использованием сточной воды аэротенков. Накопление биомассы МВ проводили в 250 см<sup>3</sup> колбах на питательной среде Люка в течение 21 суток. Титр клеток культур МВ и консорциумов представлен в таблице 4.2 В емкости на 3 дм<sup>3</sup> помещали сточную воду по 1,5 дм<sup>3</sup> и инокулировали МВ и консорциум (*C. proboscideum*+ *E. magnus*) в количестве 1% от общего количества.

Режим - освещение фитолампой OSRAM L 18W/77 Fluora, световой поток которой равен 550 lumen. Барботирование проводили компрессором Tetrates APS 400, температура - комнатная. Контролем служила сточная вода, отобранная из аэротенков без внесения инокулята (таблица 4.2). Эксперимент проводили в течение суток, взяв за основу технологический регламент, используемый для станций биологической очистки сточных вод [124]. Концентрацию загрязняющих веществ в сточной воде анализировали до и после проведения эксперимента в 3-х повторностях.

Таблица 4.2 – Схема эксперимента

№ пробы	Обозначение штаммов и их консорциумов, введенных в пробы эксперимента	Титр клеток, кл/мл.
1	<i>C. vulgaris</i>	$10^6$
2	<i>C. proboscideum</i>	$10^6$
3	<i>E. magnus</i>	$10^6$
4	<i>A. obliquus</i>	$10^6$
5	<i>C. vulgaris</i>	$10^5$
6	<i>C. proboscideum</i>	$10^5$
7	<i>E. magnus</i>	$10^5$
8	<i>C. vulgaris</i>	$10^4$
9	<i>C. proboscideum</i>	$10^4$
10	<i>E. magnus</i>	$10^4$
К <sub>1</sub>	<i>C. vulgaris, C. proboscideum, E. magnus</i> (Тамия)	$10^6$
К <sub>2</sub>	<i>C. vulgaris, C. proboscideum, E. magnus</i> (Люка)	$10^6$
К <sub>3</sub>	<i>C. vulgaris, C. proboscideum</i>	$10^5$
К <sub>4</sub>	<i>C. proboscideum, E. magnus</i>	$10^5$
К <sub>5</sub>	<i>C. vulgaris, E. magnus</i>	$10^4$
К <sub>6</sub>	<i>C. proboscideum, E. magnus</i>	$10^4$
К <sub>7</sub>	<i>C. vulgaris, A. obliquus</i>	$10^4$
Контроль	Сточная вода без внесения микроводорослей	-

Исследовалась возможность очистки сточной воды лесопромышленного предприятия в зависимости от наработанного титра клеток микроводорослей монокультур и консорциумов. Предполагалось, что с меньшим титром клеток, в

процессе активного роста и развития клеток микроводорослей при потреблении загрязняющих веществ сточной воды, необходимых в качестве элементов питания для них, очистка будет более эффективной.

Эксперимент по поглощению и трансформации основных загрязняющих веществ с помощью микроводорослей, в зависимости от титра клеток выявил, что монокультуры очищают сточную воду титром клеток  $10^6$  кл./мл. Все консорциумы ( $K_5$ ,  $K_6$ ,  $K_7$ ) с невысоким титром клеток –  $10^4$  кл./мл., показали поглотительную и деструктивную эффективность по отношению к основным загрязняющим веществам сточной воды.

Эффективность очистки от исследуемых загрязняющих веществ сточной воды проявили монокультуры микроводорослей, культивированных на среде Тамия:

- *C. vulgaris* (Al на 6 %, Fe на 14%,  $\text{NO}_3^-$  на 17 %) титром клеток  $10^5$  кл./мл.
- *C. proboscideum* (Al на 11 %, Fe на 19 %,  $\text{P}_{\text{общ.}}$  на 21 %,  $\text{N}_{\text{общ.}}$  на 15 %,  $\text{NO}_3^-$  на 10 %) титром клеток  $10^6$  кл./мл.
- *E. magnus* (Al на 6 %, Fe на 16 %,  $\text{P}_{\text{общ.}}$  на 19%,  $\text{NO}_3^-$  на 53 %) титром клеток  $10^6$  кл./мл.
- *A. obliquus* (Al на 7 %) титром клеток  $10^6$  кл./мл.

Аккумуляция ионов алюминия наиболее эффективно происходила консорциумом *C. vulgaris*, *C. proboscideum*, *E. magnus*, культивированным на среде Тамия концентрацией клеток  $10^6$  кл./мл. Эффективность очистки составила 12 % за 24 часа.

Эффективное снижение основных загрязняющих веществ сточной воды происходило консорциумом микроводорослей *C. proboscideum*, *E. magnus*, культивированных на среде Люка концентрацией клеток  $10^4$  кл./мл.: Al на 12 %, Fe на 20 %,  $\text{P}_{\text{общ.}}$  на 24 %,  $\text{N}_{\text{общ.}}$  на 18 %,  $\text{NO}_3^-$  на 13 % .

Достаточно высокие показатели по сравнению с контрольным вариантом по снижению содержания поллютантов в сточной воде показал консорциум штаммов *C. proboscideum*, *E. magnus* концентрацией клеток  $10^5$  кл/мл.: Al на 9 %, Fe на 15 %,  $\text{P}_{\text{общ.}}$  на 14 %,  $\text{N}_{\text{общ.}}$  на 19 %,  $\text{NO}_3^-$  на 10 %.

Таким образом, на основании проведенного скрининга коллекционных и аборигенных штаммов микроводорослей, а также их консорциумов в качестве биологических агентов были выявлены две монокультуры – *E. magnus* и *C. proboscideum*, введение которых в загрязненные пробы воды наиболее эффективно очищало сточную воду от основных загрязняющих веществ (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Снижение содержания основных загрязняющих веществ в сточной воде, взятой из аэротенков при введении в нее штаммов микроводорослей

Обозначение штаммов	Al,	Фенол	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N <sub>общ.</sub>	Fe	P <sub>общ.</sub>
	мкг/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>					
<i>E. magnus</i>	+	++	+	+	-	++	++	-
<i>C. proboscideum</i>	++	++	++	+	-	+	-	+
<i>C. vulgaris</i>	+	-	+	++	-	++	-	+
<i>C. Bin</i>	+	+	-	-	+	+	++	Не опр.
<i>A. obliquus</i>	+	-	++	+	-	-	-	Не опр.

Примечание:

"-" - различия выборок не достоверны при  $p < 0,95$ ;

"+" - различия выборок достоверны при  $p > 0,95$ ;

"++" - различия выборок достоверны при  $p > 0,98$ .

Консорциум, состоящий из эффективных монокультур (*E. magnus* и *C. proboscideum*) оказался самым оптимальным в очистке от алюминия, фенолов, фосфора, нитратного и общего азота (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Снижение содержания основных загрязняющих веществ в сточной воде, взятой из аэротенков при введении в нее консорциумов микроводорослей

Обозначение консорциумов	Al	Фенол	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>общ.</sub>	Fe	P <sub>общ.</sub>
	мкг/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>			
<i>C. vulgaris, C. proboscideum, E. magnus</i>	+	+	+	-	-	+
<i>C. vulgaris, C. proboscideum</i>	-	-	+	-	-	-
<i>C. proboscideum, E. magnus</i>	+	+	+	+	-	+
<i>C. vulgaris, E. magnus</i>	+	-	-	+	-	+
<i>C. vulgaris, A. obliquus</i>	-	-	-	+	-	+

Примечание:

"-" - различия выборок не достоверны при  $p < 0,95$ ;

"+" - различия выборок достоверны при  $p > 0,95$ .

### 4.3. Заключение по главе 4

Потребление микроводорослями загрязняющих веществ в СВ может зависеть от условий проведения экспериментов: состава питательных сред, начальной концентрации маточной культуры, вводимой в СВ.

Сравнительный анализ эффективности очистки СВ от основных загрязняющих веществ с помощью монокультур МВ (*E. magnus*, *C. proboscideum*, *A. obliquus*, *C. vulgaris*) и консорциума (*C. proboscideum*+*E. magnus*), культивированных на разных питательных средах (Люка и Тамия) показал, что наиболее эффективные результаты достигнуты при инокуляции в воду консорциума МВ, состоящего из штаммов *C. proboscideum*, *E. magnus*, культивированного на среде Люка.

Результаты исследования очистки СВ в зависимости от концентрации клеток МВ (титр клеток  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  кл./мл) показали, что наиболее эффективная очистка от основных загрязняющих веществ в СВ происходила при введении консорциума МВ *C. proboscideum*, *E. magnus*, культивированного на среде Люка титром клеток  $10^4$  кл./мл. (Al на 12 %, Fe на 20 %, P<sub>общ.</sub> на 24 %, N<sub>общ.</sub> на 18 %, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> на 13 %).

## ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНОЙ ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ И ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ

### 5.1. Сточная вода в качестве питательной среды

В качестве питательной среды для получения накопительных культур использовалась сточная вода аэротенков. Культивировали штамм *Chlorella vulgaris*. К 2 дм<sup>3</sup> отфильтрованной воды в стеклянный хемостат добавляли 10 % от объема воды биомассу микроводорослей *C. vulgaris*. После чего через систему капилляров исследуемая вода барботировалась с одной стороны воздухом, а с другой – CO<sub>2</sub>. Процесс протекал под воздействием света газоразрядных ламп. Температурный режим поддерживался на уровне 30° С. Смены «дня и ночи» не происходило, так как по техническому заданию требовалось в короткие сроки получить наиболее плотную биомассу. Всего было поставлено 4 эксперимента, каждый протяженностью в четверо суток. Исследование накопления культуры штамма хлореллы проводилось на базе ООО «БИОЭРАГРУПП» в городе Курск, где располагается отдел производства кормовой добавки на основе микроводорослей.

Контролем служили два образца – образец в покое (К<sub>1</sub>) и образец под барботажем воздуха и CO<sub>2</sub> с фитоосвещением (К<sub>2</sub>) без внесения штаммов микроводорослей.

Проводился визуальный осмотр и ежесуточно в камере Горяева производился подсчет клеток. Концентрацию загрязняющих веществ в сточной воде анализировали до и после проведения эксперимента в 3-х повторностях.

С целью замены дорогостоящих питательных сред на среды экономически более выгодные для промышленных производств было проведено исследование возможности культивирования микроводорослей на сточной воде, образовавшейся в результате хозяйственной деятельности АО «Монди СЛПК».

Культивирование микроводорослей на сточных водах, с одной стороны, позволяет осуществлять биологическую очистку воды, с другой стороны –



получать дешевую биомассу, богатую белками, витаминами и пр. [131, 133, 134, 138, 148, 150-152, 158, 171, 183, 191-193, 216, 236, 16, 252].

На первом этапе работы использовали нефилтрованную сточную воду аэротенков для культивирования микроводорослей, что не привело к эффективным результатам оценки роста и развития микроводорослей. Частицы активного ила не давали возможность оценивать в камере Горяева скорость роста биомассы.

На основании результатов первого этапа было принято решение – культивировать микроводоросли на сточной воде вторичных отстойников после отделения ее от обезвоженного осадка активного ила.

К концу эксперимента фиксировалось изменение запаха сточной воды: до проведения эксперимента вода имела сильный запах разложения органических веществ и сероводорода. В ходе проведения эксперимента этот запах воды постепенно уменьшался.

Снижение загрязняющих веществ в сточной воде происходило не по всем группам загрязнителей. Микроводоросли *C. vulgaris* значительно снижали токсический эффект фенола в воде и трансформировали соединения фосфора и азота (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Эффективность очистки сточной воды с использованием микроводорослей *Chlorella vulgaris*, %

Снижение содержания основных загрязняющих веществ, %					
$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{N}_{\text{общ.}}$	$\text{P}_{\text{общ.}}$	$\text{S}_{\text{общ.}}$	Фенол
74–79	42–44	55–72	25–50	6,4	62–70

Известно, что для культивирования микроводорослей используют различные питательные среды, например, синтетические среды Тамия и Болда [13]. Недостатками использования синтетических сред являются их высокая стоимость по сравнению с другими доступными субстратами, возможность инфицирования как стоковых растворов при хранении, так и большого объема

среды в процессе, а также низкая эффективность при массовом культивировании, т. к. скорость прироста биомассы на таких средах существенно ниже.

Среда Люка – полусинтетическая питательная среда с бактерицидными, фунгицидными и противовирусными свойствами для культивирования на ней микроводорослей в большом количестве в короткие сроки, включающая в себя минеральный ионит «Ionsorb™», водопроводную воду и стабилизированный куриный помет. Данное комплексное вещество применяют вместо основных макро- и микроэлементов, входящих в состав питательных сред Болда и Тамия [70].

Для масштабирования процесса получения биомассы экономически наиболее альтернативным решением является использование сточной воды, образовавшейся в результате хозяйственной деятельности АО «Монди СЛПК». Внесение в сточную воду маточных культур микроводорослей *C. vulgaris*, культивированных на ранних средах приводило к снижению основных загрязняющих веществ в воде (таблица 5.2). При этом микроводоросли, маточная культура которых была получена на сточной воде, эффективнее снижали содержание алюминия, железа и общего азота (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Эффективность снижения содержания основных загрязняющих веществ в сточной воде при введении в нее штаммов микроводорослей *C. vulgaris*, культивированной на разных средах

Среда	Al, %	Фенол, %	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , %	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , %	N <sub>общ.</sub> , %	Fe, %
Тамия	34	35	28	3	–	5	25
Люка	34	50	29	19	–	5	24
Сточная вода	62	28	–	–	65	45	84

Исходя из результатов исследований, сведенных в таблицу 5.2 сточная вода в качестве питательной среды более эффективна, чем синтетические и полусинтетические питательные среды для культивирования микроводорослей-очистителей. При этом, сорбция ионов алюминия и железа, а также биотрансформация нитритного и общего азота микроводорослями, культивированными на сточной воде, показывает, что сточная вода в качестве

питательной среды является более рентабельной для очистки стоков лесопромышленного комплекса.

## 5.2. Получение биомассы в процессе культивирования микроводорослей на сточной воде вторичных с одновременной очисткой

Для эксперимента была взята вода вторичных отстойников. Стерилизация воды проводилась с целью устранения факторов влияния микроорганизмов, находящихся в ней. После стерилизации было проведено инокулирование в воду микроводорослей *C. vulgaris*.

Накопление биомассы МВ проводили в 250 см<sup>3</sup> колбах на питательной среде Люка в течение 21 суток. Титр клеток культур МВ и консорциумов составлял  $2,3 \times 10^8$  кл/см<sup>3</sup>. В емкости на 3 дм<sup>3</sup> помещали сточную воду по 1,5 дм<sup>3</sup> и инокулировали МВ *C. vulgaris* в количестве 1% от общего количества.

Режим - освещение фитолампой OSRAM L 18W/77 Fluora, световой поток которой равен 550 lumen. Барботирование проводили компрессором Tetrates APS 400, температура - комнатная. Контролем служила сточная вода, отобранная из вторичных отстойников без внесения инокулята (СВ) (таблица 5.3). Культивирование микроводорослей *C. vulgaris* на сточной воде вторичных отстойников проводилось в течение 12 суток до получения более насыщенной биомассы. Далее проводили анализ содержания элементов в сточной воде (СВ), в биомассе, наработанной на сточной воде (СВМ) и в сточной воде после осаждения микроводорослей (СВО) (таблица 5.3) в 3-х повторностях.

Таблица 5.3 – Схема эксперимента

Обозначение пробы	Наименование пробы
СВ	Сточная вода с вторичных отстойников (простерилизованная)
СВМ	Сточная вода с вторичных отстойников (простерилизованная) + микроводоросли <i>C. vulgaris</i> спустя 12 суток
СВО	Сточная вода после осаждения микроводорослей <i>C. vulgaris</i>

Предыдущие эксперименты показали, что инокулирование микроводорослей в сточную воду приводит и к аккумуляции ими загрязняющих веществ и к росту и развитию клеток. В тоже время, микроводоросли, обладая антисептическими свойствами [69, 140, 142, 143, 158, 165, 175, 176, 206], обеззараживают сточную воду и приводят к получению питательной нетоксичной биомассы. После осаждения и отделения биомассы от очищенной воды она может быть использована в сельском хозяйстве для повышения плодородия почв, для животных в качестве кормовых и пищевых добавок [1,17].

Был поставлен эксперимент на определение накопления как питательных элементов в процессе культивирования биомассы микроводорослей на сточной воде отстойников, так и на исследование очистки стоков после осаждения и удаления клеток микроводорослей.

При культивировании микроводорослей *C. vulgaris* в течение 12 суток в процессе накопления биомассы происходило окисление аммонийного на 38 %, нитритного азота на 43 % и трансформация фенола на 58 % (таблица 5.4) (проба СВМ). В биомассе наблюдалось накопление фосфатов, серы, кальция, небольшое увеличение содержания магния, калия, натрия. Внесение инокулята и культивирование биомассы микроводорослей повышало содержание меди, бария. Изменение содержания остальных исследованных элементов в пробе происходило в пределах погрешности (таблица 5.4).

После осаждения и удаления микроводорослей из сточной воды (проба СВО) происходило снижение содержания всех исследуемых элементов до норм ПДК по постановлению СанПиН 1.2.3685-21 (таблица 1.2, 1.3, 5.4).

Таблица 5.4 – Количественное содержание элементов в сточной воде в процессе эксперимента

Обозначение пробы	pH	BV, мг/дм <sup>3</sup>	Цветность, градусы	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Cl, мг/дм <sup>3</sup>
CB	8,68±0,20	346±24	>500 (942)	0,7±0,3	1,3±0,4	0,023±0,005	97±13
CBM	8,90±0,20	484±24	>500 (884)	0,43±0,17	1,3±0,4	0,013±0,006	100±13
CB0	8,45±0,20	150±14	>500 (560)	0,40±0,17	1,1	0,001	45±10

Обозначение пробы	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	P <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	S <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	N <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Ca, мг/дм <sup>3</sup>	Mg, мг/дм <sup>3</sup>
CB	0,13±0,03	0,39±0,12	128±23	2,1±0,4	36±6	8,1±1,2
CBM	1,31±0,24	0,61±0,15	131±24	2,0±0,4	86±14	9,3±1,4
CB0	0,09±0,02	0,11±0,04	86±20	1,45±0,3	16±3	3,2±0,8

Обозначение пробы	K, мг/дм <sup>3</sup>	Na, мг/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	Mn, мкг/дм <sup>3</sup>	Zn, мкг/дм <sup>3</sup>	Cu, мкг/дм <sup>3</sup>
CB	26±4	300±40	0,19±0,05	69±17	<5,0	4,4±1,8
CBM	30±5	320±50	0,19±0,05	610±110	<5,0	17±7
CB0	11±2	249±34	0,12±0,03	65±17	<5,0	2,1±0,9

Обозначение пробы	Pb, мкг/дм <sup>3</sup>	Cd, мкг/дм <sup>3</sup>	Ni, мкг/дм <sup>3</sup>	Co, мкг/дм <sup>3</sup>	Cr, мкг/дм <sup>3</sup>	B, мкг/дм <sup>3</sup>
CB	<4,0	<0,20	<1,0	<1,0	<1,0	56±13
CBM	<4,0	0,33±0,12	3,4±1,4	<1,0	2,1±0,5	50±12
CB0	<3,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	32±10

Обозначение пробы	Ba, мкг/дм <sup>3</sup>	Sr, мкг/дм <sup>3</sup>	Al, мкг/дм <sup>3</sup>	As, мкг/дм <sup>3</sup>	Hg, мкг/дм <sup>3</sup>	Фенол, мкг/дм <sup>3</sup>
CB	22±6	170±30	1900±300	<0,50	0,014±0,008	69±12
CBM	40±10	260±50	1880±280	<0,50	0,029±0,017	29±5
CB0	14±3	98±15	1670±240	<1,0	<1,0	11±2

### 5.3. Сравнительная оценка очистки сточной воды стерильной и нестерильной с помощью микроводорослей

Накопление биомассы МВ проводили в 250 см<sup>3</sup> колбах на питательной среде Тамия в течение 14 суток. Титр клеток культур МВ и консорциумов составлял  $4,5 \times 10^8$  кл/см<sup>3</sup>. В емкости на 3 дм<sup>3</sup> помещали сточную воду по 1,5 дм<sup>3</sup> и инокулировали МВ *C. vulgaris* в количестве 1% от общего количества.

Режим - освещение фитолампой OSRAM L 18W/77 Fluora, световой поток которой равен 550 lumen. Аэрацию проводили компрессором Tetrates APS 400, температура - комнатная. Контролем служила сточная вода, отобранная из вторичных отстойников без внесения инокулята (таблица 5.5). Продолжительность эксперимента 24 часа. Количественное содержание элементов проводили в 3-х повторностях.

Таблица 5.5 – Схема эксперимента

Обозначение пробы	Наименование
1	Контроль
2	Стерильная сточная вода с отстойников + консорциум МВ
3	Нестерильная сточная вода с отстойников + консорциум МВ

В системе очистки ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» на последней стадии (вторичных отстойниках) в качестве доочистки можно использовать микроводоросли. Однако, состав воды вторичных отстойников предполагает наличие и сторонних микроорганизмов, которые могут либо негативно сказаться на процессе очистки, либо, напротив, в синергетических отношениях с микроводорослями образовывать ассоциации и повышать эффективность доочистки.

В модельном эксперименте сравнивали очистку с помощью консорциума микроводорослей (*E. magnus* и *C. proboscideum*) в стерильной сточной и нестерильной сточной воде (таблица 5.8).

Из полученных результатов (таблица 5.8) видно, что введение в нестерильную сточную воду консорциума микроводорослей приводит к более эффективным результатам: происходит аккумуляция аммонийного и

нитратного азота, сульфатов, потребление железа, цинка, кадмия, бора, алюминия, трансформация нефтепродуктов и фенолов. С увеличением биомассы микроводорослей в пробах накапливаются фосфаты, общий азот, калий, магний. Остальные исследованные элементы изменяются в пределах погрешности (таблица 5.8).

В стерильной сточной воде живых микроорганизмов на питательных средах МПА и Эндо обнаружено не было. Микроскопирование показало наличие только клеток консорциума микроводорослей.

В процессах аэробной биологической очистки сточных вод наиболее значимую роль имеют окислительные процессы, центральное положение среди которых занимает дегидрирование. Ответственными за реакцию дегидрирования являются дегидрогеназы, суммарная активность которых является показателем эффективности биологической очистки [114]. Поэтому, дегидрогеназную активность микроорганизмов целесообразно использовать в качестве основного интегрального критерия [7]. Дегидрогеназная активность сточной воды пробы сразу после стерилизации и до введения в сточную воду микроводорослей была нулевой. Далее, в процессе накопления биомассы происходило увеличение дегидрогеназной активности (таблица 5.6), как в стерильной пробе, так и в нестерильной.

Таблица 5.6 – Дегидрогеназная активность, мг формазана/1 см<sup>3</sup> воды

Обозначение пробы	Сутки			
	1	3	7	14
1	0,270±0,013	0,48±0,024	0,67±0,03	0,58±0,03
2	0	1,98±0,09	3,88±0,19	4,55±0,23
3	2,1±0,1	6,8±0,3	4,33±0,22	7,8±0,4

В нестерильной сточной воде, отобранной из отстойников ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» в начале эксперимента преобладали аммонификаторы. Титр клеток составлял  $8,9 \times 10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup>. В процессе накопления биомассы консорциума микроводорослей титр клеток аммонификаторов снижался до  $6,6 \times 10^8$  КОЕ/ см<sup>3</sup>. На среде Эндо в начале эксперимента титр клеток составлял  $3 \times 10^8$  КОЕ/ см<sup>3</sup>, к

концу эксперимента клеток не обнаружили, что говорит о септической функции консорциума микроводорослей.

С целью возможности дальнейшего использования для сельского хозяйства микроводорослей, культивированных на сточной воде лесопромышленного комплекса (стерильной и нестерильной) была проведена оценка накопления аминокислот. Аминокислоты – это своеобразные “интеграторы” основных метаболических процессов, занимающие центральное место в азотистом обмене, синтезе белков, нуклеиновых кислот, ферментов, гормонов и других биологически активных веществ, а также важнейший источник энергии для внутренних химических реакций [257].

По сравнению с контрольным вариантом при культивировании на стерильной и нестерильной сточной воде произошло характерное для суспензии микроводорослей, накопление аминокислот, при чем в стерильной сточной воде в 1,4 раза больше, чем в нестерильной (таблица 5.7).

Наибольшее содержание было глутаминовой кислоты, аланиновой кислоты, пролина и лейцина, ответственных за метаболизм азотсодержащих биохимических веществ.

Таблица 5.7 – Содержание аминокислот в сточной воде спустя 18 суток культивирования МВ, мг/100 см<sup>3</sup>

Аминокислоты	Контроль	Стерильная сточная вода	Нестерильная сточная вода
Аспарагиновая	0,05	0,9	0,67
Треонин	0,02	0,12	0,11
Серин	0,02	0,21	0,15
Глутаминовая	0,05	1,28	0,92
Пролин	0,06	1,04	0,51
Глицин	0,05	0,76	0,54
Аланин	0,02	1,04	0,69
Цистин	0,00	0,12	0,15
Валин	0,09	0,55	0,49
Метионин	0,01	0,00	0,01
Изолейцин	0,00	0,44	0,37
Лейцин	0,05	1,07	0,8
Тирозин	0,00	0,12	0,08
Фенилаланин	0,00	0,44	0,43
Гистидин	0,00	0,14	0,12
Лизин	0,07	0,79	0,6
Аргинин	0,00	0,63	0,43
Сумма	0,5	9,65	7,07



Таблица 5.8 – Количественное содержание элементов в сточной воде в процессе эксперимента

Обозначение пробы	pH	ВВ, мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	ХПК, мг О/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>
1	8,77±0,20	90±10	8,1±1,1	230±50	1,8±0,4	3,57±0,19	0,044±0,010
2	8,96±0,20	610±60	63±9	>800	0,62±0,25	22,8±1,2	0,015±0,006
3	8,78±0,20	330±30	40±6	500±100	0,49±0,4	14,8±0,8	0,014±0,006

Обозначение пробы	N <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	К, мг/дм <sup>3</sup>	Mg, мг/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	Mn, мкг/дм <sup>3</sup>
1	6,5±1,2	830±100	1,64±0,25	61±10	8,3±1,2	0,108±0,026	<1,0
2	36±6	710±90	10,8±1,6	200±30	24±4	<0,054	2,7±0,9
3	22±4	620±80	17,4±2,6	144±23	17,4±2,6	<0,05	<1,0

Обозначение пробы	Zn, мкг/дм <sup>3</sup>	Cd, мкг/дм <sup>3</sup>	Ni, мкг/дм <sup>3</sup>	Co, мкг/дм <sup>3</sup>	Cr, мкг/дм <sup>3</sup>	B, мкг/дм <sup>3</sup>	Ba, мкг/дм <sup>3</sup>
1	16±5	0,70±0,25	<1,0	<1,0	3,2±0,8	27±9	105±21
2	<4,0	0,51±0,18	<1,0	<1,0	<1,0	113±27	24±6
3	<4,0	0,35±0,12	<1,0	<1,0	<1,0	25±9	30±8

Обозначение пробы	Al, мкг/дм <sup>3</sup>	V, мкг/дм <sup>3</sup>	Mo, мкг/дм <sup>3</sup>	As, мкг/дм <sup>3</sup>	Hg, мкг/дм <sup>3</sup>	НП, мг/дм <sup>3</sup>	Фенол, мкг/дм <sup>3</sup>
1	165±40	<1,0	2,1±0,5	21±9	1,06±0,27	0,023±0,008	2,9±0,5
2	23±7	<1,0	<1,0	23±10	0,91±0,23	0,12±0,04	4,2±0,8
3	22±7	<1,0	2,1±0,6	20±8	0,99±0,25	0,027±0,009	1,63±0,29

**Примечание.** ±Δ – границы интервала абсолютной погрешности при  $P = 0,95$ ;

$U$  – расширенная неопределенность, вычисленная с применением коэффициента охвата  $k =$

#### 5. 4. Заключение по главе 5

Выращивание микроводорослей в качестве сырья для производства биомассы по-прежнему требует большого количества пресной воды и дорогостоящих питательных веществ. Благодаря своему изобилию и обогащению питательными веществами сточные воды можно было бы использовать для выращивания микроводорослей. Одновременно решалась бы экологическая задача – очищения воды от основных загрязняющих веществ и задача получения биомассы как вторичного сырья для крупномасштабного производства биодобавок на основе микроводорослей, применяемых в сельском хозяйстве, энергетике.

Установлено, что СВ вторичных отстойников ЦБОСВ лесопромышленного предприятия АО «Монди СЛПК» может быть использована как питательная среда для культивирования МВ с целью получения богатой аминокислотами, фосфатами, серой, кальцием, магнием, калием, натрием, медью биомассы с одновременной трансформацией микроводорослями загрязняющих веществ (окисление аммонийного азота на 38 %, нитритного азота на 43 %, фенола на 58 %). При чем, накопление аминокислот, в стерильной сточной воде в 1,4 раза больше, чем в нестерильной.

**ГЛАВА 6.     БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
МОНОКУЛЬТУРЫ И КОНСОРЦИУМА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В  
ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ В СТОЧНОЙ ВОДЕ  
АЭРОТЕНКОВ ЦБОСВ АО «МОНДИ СЛПК»**

**6.1. Проведение опытной выработки по увеличению эффективности  
очистки фенолов на ЦБОСВ с добавлением штамма микроводорослей  
*Acutodesmus obliquus* Syko-A Ch-055-12**

Проблема полноценной очистки производственных стоков от растворенных в воде органических веществ, в частности удаление фенолов, является одной из наиболее важных и одновременно трудно решаемых. Эффективные способы глубокой очистки преимущественно сопряжены с большими экономическими и ресурсными затратами, необходимостью использования дефицитных реагентов с последующей их регенерацией, утилизацией или захоронением отходов. Для большинства предприятий выполнить все это очень сложно. Поэтому поиск новых эффективных способов очистки промышленных сточных вод, в том числе очистка сточных вод от фенола, является по-прежнему актуальным. [105].

Основной задачей, поставленной экологами целлюлозно-бумажного предприятия АО «Монди СЛПК» была задача снижения в сточной воде фенолов.

На основании рекомендаций после проведенных лабораторных экспериментов [123] для исследований был взят штамм микроводорослей *Acutodesmus obliquus*. Штамм *A. obliquus* был выделен в 2012 году из биомассы активного ила аэротенков целлюлозно-бумажного предприятия АО «Монди СЛПК». Штамм депонирован в Коллекции микроводорослей ИФР РАН (IPPAS) [122]. В процессе проведенных испытаний штамма *A. obliquus* в лабораторных условиях было выявлено его эффективность в очистке сточных вод от фенолов на 94 %, аккумуляции железа, что привело к его снижению в воде в 7,7 раза, усвоению общего азота (8,4 мг/дм<sup>3</sup>) и фосфат-ионов (66 %) [123].

Штамм для эксперимента был наработан на среде Люка в количестве 130 дм<sup>3</sup>, титром клеток 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup> кл. для проведения эксперимента в промышленных

условиях. Режим культивирования - освещение фитолампой OSRAM L 18W/77 Fluora, световой поток которой равен 550 lumen. Аэрация компрессором Tetratec APS 400, температура — комнатная. В период с 3 по 10 марта 2014 г. осуществлялась подача штамма микроводорослей *A. obliquus* в преаэратор II ступени. Расход микроводорослей составил 19 л/сутки. Титр клеток  $10^5$ - $10^6$ .

Биомасса микроводорослей подавалась в преаэратор II ступени в смешанный лоток. Отбор пробы воды производился в камере Г. Эффективность очистки по фенолам, в среднем, составила 85,9 % (max 92,4%). После окончания выработки эффективность составила 72,9 %, при этом были зафиксированы минимальные концентрации фенолов в поступающих сточных водах (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Содержание фенолов, мг/дм<sup>3</sup>

Сутки	Содержание фенолов		Эффективность очистки, %
	До очистки (контроль)	После очистки	
	Фактическое значение показателя мг/дм <sup>3</sup>		
1	0,590±0,12	0,071±0,013	88,0
2	0,540±0,11	0,076±0,013	85,9
3	0,340±0,07	0,026±0,004	92,4
4	0,270±0,05	0,049±0,008	81,9
5	0,400±0,08	0,075±0,013	81,3
6	0,200±0,04	0,042±0,007	79,0
7	0,160±0,03	0,053±0,009	66,9

На основании достигнутого положительного эффекта экологами АО «Монди СЛПК» было рекомендовано проведение повторной трехнедельной выработки с использованием консорциума микроводорослей для комплексной оценки содержащихся в сточной воде химических элементов.

## 6.2. Проведение опытной выработки по увеличению эффективности очистки от $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , Al, фенола на ЦБОСВ с добавлением консорциума штаммов микроводорослей

По заказу отдела экологии АО «Монди СЛПК» была наработана биомасса консорциума микроводорослей, составом *Acutodesmus obliquus*, *Coelastrum proboscideum*, *Chlorella vulgaris* титром клеток  $10^5$ - $10^6$  кл. в объеме 100 литров. Культивирование проходило на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Промышленные испытания проводились в сточной воде ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» с 19 мая 2017 года. В точку смешения городских стоков и сточной воды производства АО «Монди СЛПК» было залито 100 литров биомассы микроводорослей. Проведен отбор проб на выходе с аэротенков: до запуска микроводорослей, спустя 1 час после введения микроводорослей и далее отбор проб осуществлялся 20, 22 и 26 мая 2017 г в двух повторностях (таблица 6.2).

Пробы сточной воды проанализированы в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Таблица 6.2 – Схема отбора проб с очистных ЦБОСВ АО «Монди СЛПК»

Проба	Наименование пробы
Контроль	
1-1	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 19.05.2017, 10 часов 15 минут
1-2	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 19.05.2017, 10 часов 17 минут
2-1	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 19.05.2017, 10 часов 20 минут
2-2	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 19.05.2017, 10 часов 23 минуты
Спустя 60 минут	
3-1	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 19.05.2017, 11 часов 15 минут
3-2	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 19.05.2017, 11 часов 17 минуты
4-1	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 19.05.2017, 11 часов 20 минут
4-2	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 19.05.2017, 11 часов 23 минут
Спустя сутки	
5-1	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 20.05.2017, 8 часов
5-2	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 20.05.2017, 8 часов 2 минуты
6-1	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 20.05.2017, 8 часов 5 минут
6-2	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 20.05.2017, 8 часов 7 минут
Спустя 3 суток	
7-1	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 22.05.2017, 10 часов
7-2	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 22.05.2017, 10 часов 2 минуты
8-1	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 22.05.2017, 10 часов 5 минут
8-2	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 22.05.2017, 10 часов 7 минут

## Продолжение таблицы 6.2.

Проба	Наименование пробы
Спустя 7 суток	
9-1	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 26.05.2017, 10 часов
9-2	Сточная вода с 1-4 чаши аэротенков, 26.05.2017, 10 часов 2 минуты
10-1	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 26.05.2017, 10 часов 5 минут
10-2	Сточная вода с 5-8 чаши аэротенков, 26.05.2017, 10 часов 7 минут

В большинстве фундаментальных исследований по проблеме удаления фенолов из сточной воды рассматриваются модельные системы, состоящие из воды и основной примеси – фенолов, при этом всей совокупности сопутствующих веществ не уделяется достаточного внимания [105]. В данной опытной выработке оценивали эффективность очистки от  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Al, фенола. Эксперимент проводился спустя 3 года после эксперимента по увеличению эффективности очистки фенолов на станции биологической очистки сточных вод с добавлением штамма микроводорослей *A. obliquus* Syko-A Ch-055-12. В дополнении к монокультуре *A. obliquus* были наработаны отдельно штаммы микроводорослей *Coelastrum proboscideum*, *Chlorella vulgaris*. Состав консорциума определяли исходя из результатов лабораторных экспериментов, а также в учет брали то, что штаммы *A. obliquus* и *Coelastrum proboscideum* являлись автохтонными – были выделены из сточной воды аэротенков станции биологической очистки лесопромышленного комплекса. На основе результатов лабораторных экспериментов (п.4.2) суспензии микроводорослей культивировали до титра клеток  $10^5$ - $10^6$  кл./мл и объединяли в консорциум. Объем составил 100 литров. Вносили консорциум однократно, далее проводили отбор проб по схеме (таблица 6.2).

При сравнении результатов двух выработок обнаружилось, что содержание фенолов в сточной воде (вариант Контроль таблица 6.3) было ниже в 3,5-4,5 раза, чем в предыдущей опытной выработке (таблица 6.1). После введения микроводорослей в 1 – 4 чаши аэротенков наблюдалось снижение содержания алюминия, железа и фенола в первые сутки, на 7 сутки происходило снижение

нитратного азота и фосфат-ионов и постепенное увеличение содержания фенолов (таблица 6.3).

В чашах 5 – 8 аэротенков в первые сутки улучшалась эффективность очистки от алюминия и железа, на 3 сутки наблюдалась биотрансформация нитратного азота, на 7 сутки снижалось содержания фенолов (таблица 6.3).

Таким образом, введение биомассы микроводорослей в целом позитивно сказывается на доочистке сточных вод ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» и микроводоросли как монокультура, так и консорциум могут быть рекомендованы для периодического введения в сточную воду ЦБОСВ в качестве дополнительного ремедианта.

Таблица 6.3 – Результаты измерений сточной воды до внесения и после консорциума микроводорослей

Проба	рН		ВВ, мг/дм <sup>3</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	
	рН	±Δ	ρ	±Δ	ρ	±Δ	ρ	U	ρ	U	ρ	±Δ	ρ	±Δ
Контроль														
1-1	6,91	0,20	2890	140	18	4	1,0	0,3	0,043	0,009	91	12	5,7	1,0
1-2	6,89	0,20	2740	140	14,4	2,9	1,1	0,3	0,037	0,007	90	12	5,3	0,9
2-1	6,95	0,20	2280	110	12,2	2,4	1,2	0,4	0,049	0,010	90	12	3,7	0,7
2-2	6,94	0,20	2790	140	13,5	2,7	1,3	0,4	0,045	0,009	90	12	4,0	0,7
Спустя 60 минут														
3-1	6,91	0,20	3170	160	17	3	1,1	0,3	0,038	0,008	90	12	5,1	0,9
3-2	6,93	0,20	3330	170	16	3	1,3	0,4	0,043	0,009	92	12	4,4	0,8
4-1	6,92	0,20	2590	130	15	3	1,9	0,6	0,047	0,009	96	13	4,3	0,8
4-2	6,98	0,20	2510	130	14,5	2,9	1,2	0,4	0,055	0,011	96	12	4,9	0,9
Спустя 1 сутки														
5-1	6,94	0,20	2220	110	15	3	1,1	0,3	0,060	0,012	93	12	4,2	0,8
5-2	6,99	0,20	2500	120	13,2	2,6	1,1	0,3	0,054	0,011	93	12	3,9	0,7
6-1	6,91	0,20	2970	150	17	3	1,1	0,3	0,068	0,014	93	12	5,9	1,1
6-2	6,95	0,20	3010	150	16	3	1,2	0,4	0,068	0,014	92	12	6,0	1,1



Продолжение таблицы 6.3

Спустя 3 суток														
7-1	6,94	0,20	2600	130	16	3	1,2	0,3	0,063	0,013	90	12	4,7	0,8
7-2	6,96	0,20	1500	80	15	3	1,0	0,3	0,068	0,014	90	12	4,2	0,8
8-1	6,88	0,20	2500	120	18	4	1,0	0,3	0,054	0,011	88	11	5,3	1,0
8-2	6,88	0,20	3330	170	19	4	0,80	0,27	0,062	0,012	89	12	4,7	0,8
Спустя 7 суток														
9-1	6,84	0,20	2710	140	17	3	0,76	0,26	0,071	0,014	97	13	4,7	0,8
9-2	6,86	0,20	2580	130	20	4	0,86	0,29	0,071	0,014	99	13	5,5	1,0
10-1	6,88	0,20	1680	80	17	3	0,73	0,25	0,066	0,013	98	13	4,7	0,8
10-2	6,91	0,20	2530	130	17	3	0,80	0,27	0,088	0,018	97	13	4,9	0,9

Проба	P <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>		S <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>		N <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>		Fe, мг/дм <sup>3</sup>		Al, мкг/дм <sup>3</sup>		Фенол, мг/дм <sup>3</sup>	
	$\rho$	$U$	$\rho$	$U$	$\rho$	$\pm\Delta$	$\rho$	$U$	$\rho$	$U$	$\rho$	$\pm\Delta$
Контроль												
1-1	3,8	0,9	107	19	21	4	1,84	0,28	420	100	0,17	0,03
1-2	3,7	0,9	106	19	19	3	2,0	0,3	470	110	0,18	0,03
2-1	3,5	0,8	105	19	17	3	1,77	0,27	480	120	0,147	0,026
2-2	3,4	0,8	105	19	17	3	1,71	0,26	450	110	0,131	0,024

Продолжение таблицы 6.3

Спустя 60 минут												
3-1	3,6	0,9	105	19	20	4	1,79	0,27	460	110	0,161	0,029
3-2	3,9	0,9	108	19	21	4	1,95	0,29	660	160	0,134	0,024
4-1	3,4	0,8	110	20	18	3	1,75	0,26	500	120	0,20	0,04
4-2	3,3	0,8	110	20	17	3	1,62	0,24	490	120	0,20	0,04
Спустя 1 сутки												
5-1	3,0	0,7	103	19	18	3	1,57	0,23	340	80	0,156	0,028
5-2	3,0	0,7	102	18	14,4	2,6	1,57	0,24	350	80	0,18	0,03
6-1	3,3	0,8	104	19	20	4	1,60	0,24	320	80	0,17	0,03
6-2	3,5	0,8	104	19	21	4	1,76	0,26	330	80	0,20	0,04
Спустя 3 суток												
7-1	3,0	0,7	108	19	18	3	1,52	0,23	360	90	0,19	0,03
7-2	3,0	0,7	108	19	17	3	1,57	0,24	370	90	0,18	0,03
8-1	3,6	0,9	105	19	21	4	1,72	0,26	350	80	0,30	0,05
8-2	3,5	0,9	106	19	21	4	1,68	0,25	340	80	0,32	0,06
Спустя 7 суток												
9-1	4,3	1,0	106	19	20	4	1,90	0,28	330	80	0,24	0,04
9-2	4,4	1,0	108	19	23	4	1,95	0,29	350	80	0,23	0,04
10-1	3,4	0,8	106	19	17	3	1,66	0,25	370	90	0,18	0,03
10-2	3,3	0,8	105	19	13,9	2,5	1,56	0,23	350	80	0,163	0,029

**Примечание.**  $\pm\Delta$  – границы интервала абсолютной погрешности при  $P = 0,95$ ;  $U$  – расширенная неопределенность, вычисленная с применением коэффициента охвата  $k = 2$ .

### 6.3. Заключение по главе 6

На основе результатов ранее проведенных модельных экспериментов были осуществлены опытные выработки по увеличению эффективности очистки в аэротенках ЦБОСВ АО «Монди СЛПК». Загрязнение фенолами сточной воды было 0,13-0,59 мг/дм<sup>3</sup>. При введении в сточную воду автохтонного штамма МВ *Acutodesmus obliquus* эффективность для очистки СВ от фенольных соединений составила до 73 %.

Внесение в СВ консорциума МВ (*A. obliquus*, *C. proboscideum*, *C. vulgaris*) снизило содержание алюминия на 33 %, железа на 17 %, фенола на 25%, нитратного азота на 38 %, фосфат-ионов на 17 %.

## ГЛАВА 7. ИММОБИЛИЗАЦИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ЦЕОЛИТЫ И ОЧИСТКА ОТ ФЕНОЛОВ

В качестве объектов исследования были выбраны:

- минеральный носитель – анальцимсодержащая порода проявления «Весляна» (Коинская цеолитоносная площадь, Республика Коми) крупностью 0.1-0.25 мм;
- культура МВ из коллекции SYKO А Института биологии Коми НЦ УрО РАН *Chlorella vulgaris* Beijerinck [3];
- модельная фенольная вода концентрацией 10 мкг/дм<sup>3</sup>.

### 7.1. Характеристика минерального носителя

Анальцимсодержащая порода (образец 551) отобрана с проявления «Весляна», которое находится на левом берегу р. Весляна на расстоянии около 500 м от русла. Проявление было выделено сотрудниками ООО «Комигеология» в ходе групповой комплексной геологической съемки масштаба 1:2000000 (1987–90 гг.) и ревизионных работ на агроминеральное сырье (2001 г.) и характеризуется минимальной вскрышей и благоприятными горно-геологическими условиями. Проявление расположено в пределах Коинской цеолитоносной площади (Княжпогостский район Республики Коми), которая в структурно-тектоническом отношении приурочена к сводовой части Синдорского вала на западном склоне Тиманского поднятия [121].

Образец анальцимсодержащей породы представлен коричневато-серым аргиллитом позднепермского возраста. По данным рентгенофазового анализа в образце преобладают кварц и анальцим, в небольшом количестве присутствуют гетит, гематит и минералы группы полевых шпатов. Слоистые силикаты диагностируются по слабым рефлексам и вероятно представлены смешанослойным слабоупорядоченным иллит/сметитом. Про рентгеновский фон Силикатным анализом установлены следующие компоненты (мас. %): SiO<sub>2</sub> –

54,46,  $\text{TiO}_2$  – 0,92,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 17,68,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 8,11,  $\text{FeO}$  – 0,31,  $\text{MnO}$  – 0,049,  $\text{CaO}$  – 0,79,  $\text{MgO}$  – 1,59,  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,16,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4,34,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,13, п.п.п. – 8,92,  $\text{CO}_2$  – 0.13 (Сумма 99,46).

Удельная площадь поверхности и пористость анальцимсодержащей породы представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Удельная площадь поверхности и пористость анальцимсодержащей породы, крупность 0,1–0,25 мм

Удельная площадь поверхности, $\text{м}^2/\text{г}$	$S_{\text{БЭТ}}$	Общий объем пор, $\text{см}^3/\text{г}$	Объем мезопор, $\text{см}^3/\text{г}$	Объем микропор, $\text{см}^3/\text{г}$	Средний радиус пор, нм
39,66	223,54	0,0484	0,0365	0,017	2,44

Анальцимсодержащие породы следует рассматривать как сорбционное сырье смешанного состава, поскольку цеолиты ассоциируют с глинистыми минералами, также характеризующиеся высокими сорбционными свойствами.

## 7.2. Конструирование биогеосорбента

Штамм микроводорослей выращивали на среде Тамия в ферментере Biostat<sup>®</sup> А МО UniVessel<sup>®</sup> Glass ВВ-8822000 2L 230V 3-5 суток в условиях жидкофазной ферментации при 350 оборот в мин, температуре 25-27 °С, рН 5,5-6,5, освещении фитолампой 175-250В 50 Гц до достижения титра клеток в суспензии  $10^8$  кл/см<sup>3</sup>. Среда Тамия (на 1 дм<sup>3</sup> деионизированной воды) следующего состава:  $\text{KNO}_3$  – 5 г,  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \times 3\text{H}_2\text{O}$  – 1.25 г,  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 2,5 г, растворы микроэлементов – по 1 см<sup>3</sup>. Растворы микроэлементов следующие (на 1 дм<sup>3</sup> деионизированной воды).

1. ЕДТА: ЕДТА – 50 г; КОН – 31 г.
2. Кислый раствор железа:  $\text{FeSO}_4 \cdot \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 4,98 г,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 1 см<sup>3</sup>.
3. Раствор борной кислоты:  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 11,42 г.
4. Раствор микроэлементов:  $\text{ZnSO}_4 \cdot \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 8,82 г;  $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$  – 1,44 г;  $\text{MoO}_3$  – 0,71 г;  $\text{CuSO}_4 \cdot \times 5\text{H}_2\text{O}$  – 1,57 г;  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,49 г.

Затем производили распыление суспензии МВ на минеральный носитель (анальцимсодержащую породу) и сушили при температуре 25 °С. Соотношение

состава биогеосорбента: минеральный носитель – 85–90 %, штамм микроводорослей *Chlorella vulgaris* – 10–15 %.

В колбы на 100 см<sup>3</sup> разлито по 50 см<sup>3</sup> модельной воды и по схеме, указанной в таблице 7.2, добавлены МВ в свободной (0,1 см<sup>3</sup>) (МВ) и иммобилизованной форме (0,1 г) (АМВ) на минеральном носителе (биогеосорбент). Для сравнения в модельной воде испытан минеральный носитель – анальцимсодержащая порода без МВ (А). В качестве контроля взята модельная фенольная вода без добавок: нулевой контроль (К0) – проанализирован на содержание фенола в начале эксперимента и контроль экспериментальный (КЭ) – проанализирован на содержание фенола через 3 и 45 суток. Условия эксперимента: комнатная температура, освещение фитолампой, аэрирование при 180 об/мин. Образцы модельной воды анализировали через 3 и 45 суток от начала эксперимента.

Таблица 7.2 – Схема эксперимента

№	Образец
К0	Модельная вода. Начало эксперимента
КЭ	Модельная вода через 3 и 45 суток
МВ	Модельная вода + МВ
А	Модельная вода + анальцимсодержащая порода
АМВ	Модельная вода + биогеосорбент

Микроскопирование образцов проводили под микроскопом Nikon Eclipse 80i при увеличении до  $\times 1000$ , оборудованного системой дифференциального интерференционного контраста и видеофиксации изображений. Микрофотографии выполнены с помощью камер Nikon Digital Sight Ds – 2Mv (Nikon, Japan).

Одним из наиболее важных компонентов в системе очистке водных объектов от фенолов, как хозяйственно-бытовых, так и промышленных являются микроводоросли [1]. Для очистки водоемов принято использовать суспензию МВ, но существует ряд недостатков при ее использовании (срок годности – до 30 суток при температуре – +5 °С, вторичное загрязнение – «цветение» водоема). Сухую биомассу МВ в экологических целях обычно не используют из-за трудоемкости ее производства и значительного увеличения стоимости продукта.

Для повышения качественных и количественных показателей очистки загрязненной воды, а также снижения экономических затрат на производство МВ может послужить создание биосорбентов.

Биосорбционный метод наиболее полно реализует совместный процесс биологической и адсорбционной обработки сточных вод [105,250]. Известно, что вещества, являющиеся хорошо биологически окисляемыми, обычно плохо адсорбируются, и наоборот, хорошо сорбирующиеся вещества часто оказываются устойчивыми к биоокислению. Благодаря удачному дополнению преимуществ и устранению основных недостатков адсорбции и биологического окисления совместный процесс биосорбции прекрасно зарекомендовал себя для очистки сточных вод различного состава [105].

В эксперименте проводили оценку эффективности использования анальцимсодержащей породы с иммобилизированными МВ для очистки воды от фенолов.

Была исследована способность клеток микроводорослей *Chlorella vulgaris* к пассивной адсорбционной иммобилизации на минеральном носителе – анальцимсодержащей породе. Микроскопирование биогеосорбента показало наличие клеток МВ на поверхности минерала (рисунок 7.1). При адсорбционной иммобилизации клеток, которая обусловлена электростатическими силами, одновременно реализуется несколько типов адгезионного взаимодействия, поэтому трудно выделить роль каждого из них по отдельности. Тем не менее, наибольшее влияние на связывание микроводорослей *C. vulgaris* с носителем оказывают ковалентные и ионные взаимодействия.

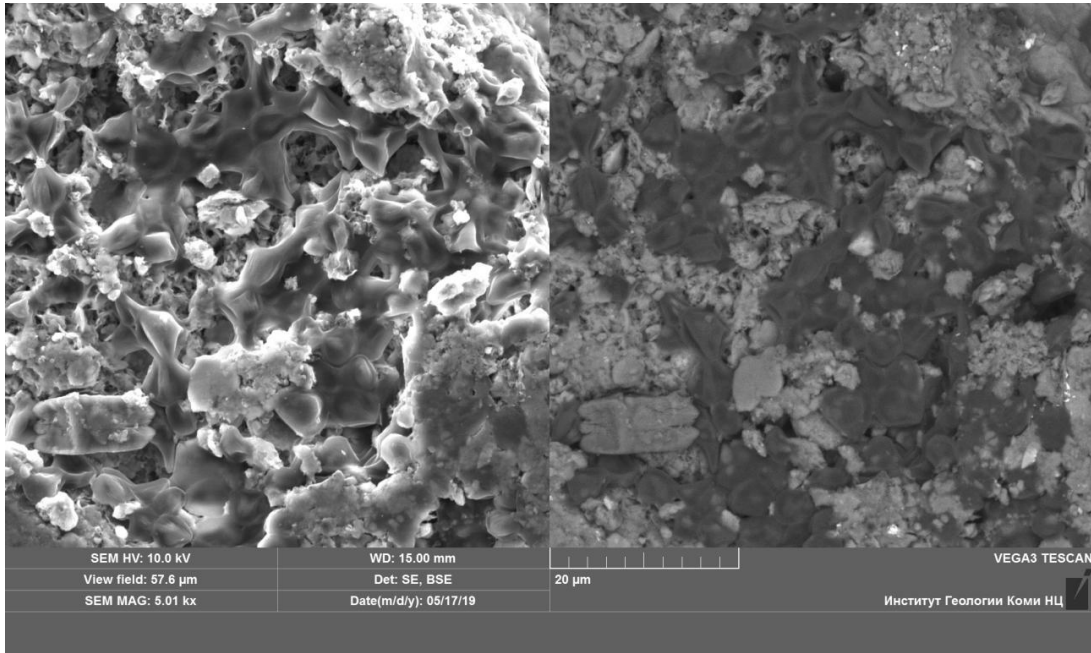


Рисунок 7.1 – СЭМ-изображения микроводорослей *Chlorella vulgaris*, иммобилизованных на аналцимсодержащей породе

Основной задачей создаваемого биогеосорбента является снижение концентрации фенола в воде до уровня ПДК и замена процесса регенерации сорбента от сорбированного фенола на биоокисление иммобилизованными МВ.

Механизм процессов работы биогеосорбента включает последовательные процессы: сорбция фенолов биогеосорбентом → активная абсорбция микроводорослями → аккумуляция → биодеострукция.

Кроме того, при попадании в фенольную воду биогеосорбента происходит частичная десорбция МВ с аналцимсодержащей породы в воду, и процессы биодеострукции фенолов осуществляются одновременно, как связанными, так и свободными МВ.

Микроводоросли могут метаболизировать фенолы посредством гидроксирования и разрыва кольца с помощью лакказы – фермента, катализирующго ряд реакций окисления ароматических и неароматических соединений [210] (рисунок 7.2).



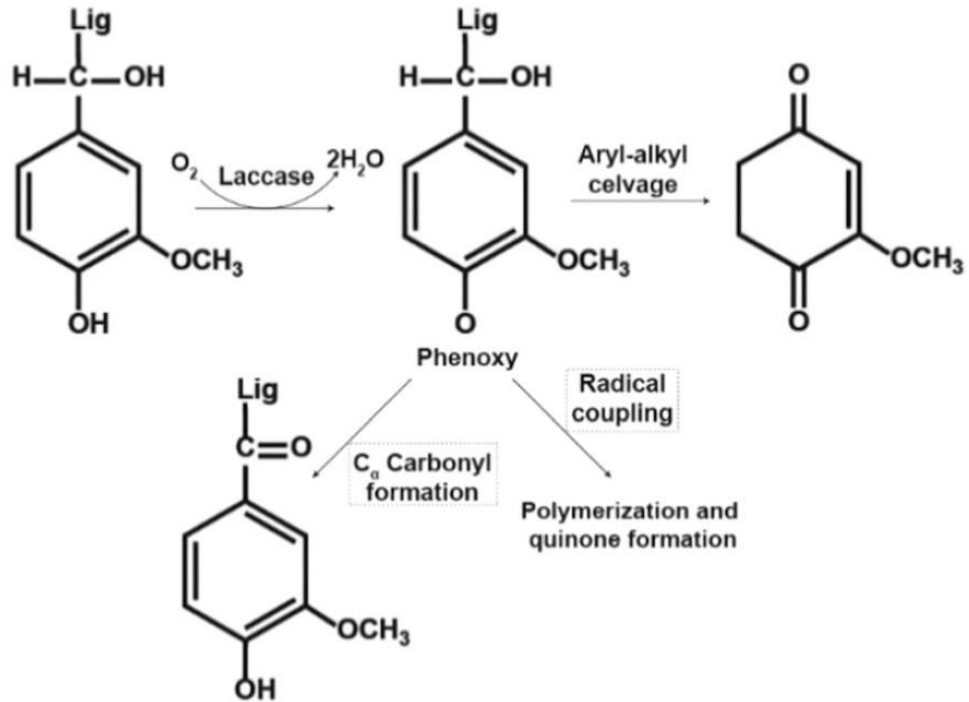


Рисунок 7.2 – Окисление фенольных соединений лигнина лакказой без медиаторов [265].

Комплекс из МВ и анальцимсодержащей породы способствует усилению процессов как сорбции, так и деструкции фенольных соединений в модельной воде, по сравнению с аналогичными процессами, проходящими при внесении в воду только анальцимсодержащей породы или суспензии МВ (рисунок 7.3). Спустя 3 суток адсорбция и процессы биокисления были зафиксированы во всех вариантах. При увеличении времени контакта воды с МВ, анальцимсодержащей породой (А) и биогеосорбентом (АМВ) установлена максимальная очистка от фенолов относительно нулевого контроля. В варианте с добавлением биомассы МВ окисление фенолов произошло на 74 % за 3 суток и 90 % за 45 суток от начальной концентрации фенолов модельной воды. Анальцимсодержащая порода (А) проявила высокую сорбционную активность по отношению к фенолам – 78 и 97 % от начального контроля за 3 и 45 суток, соответственно. При совместном процессе биологической и сорбционной обработки модельной воды с помощью биогеосорбента (АМВ) эффективность очистки от фенолов составила 84 и 98 % от начального контроля за 3 и 45 суток, соответственно.

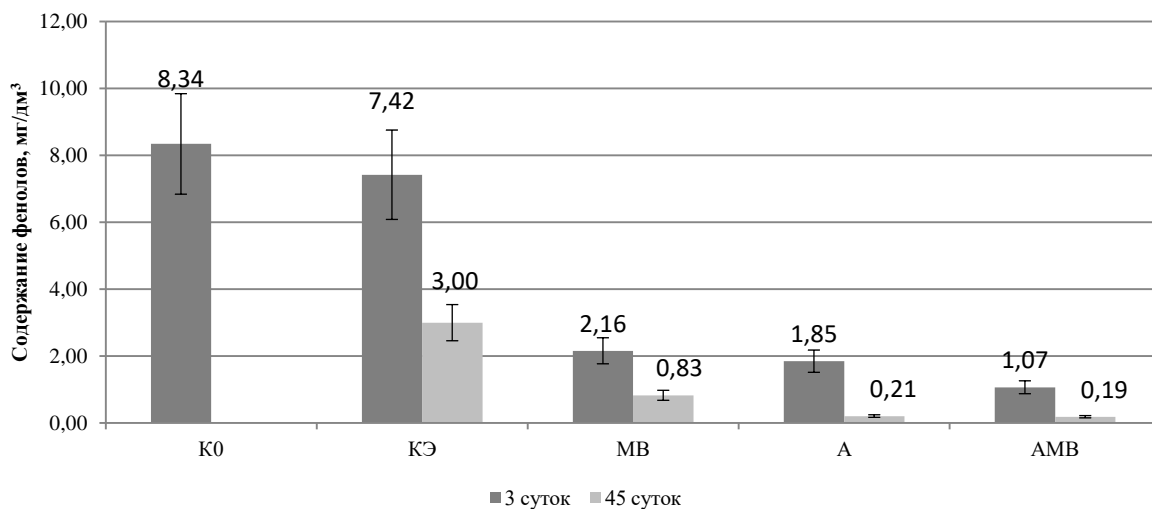


Рисунок 7.3 – Эффективность очистки воды от фенолов относительно контроля нулевого (К0) и контроля экспериментального (КЭ), %.

Учитывая, что в контрольном варианте также происходило снижение фенолов за счет процессов физического выветривания, процессы сорбции фенолов по отношению к нулевому контролю являются не корректными. При сравнении экспериментальных вариантов с контролем экспериментальным получаются следующие соотношения за 3 и 45 суток: для варианта с внесением МВ – 70 и 72 %, анальцимсодержащей породы (А) – 25 и 93 %, биогеосорбента (АМВ) – 82 и 93 % (рисунок 7.3).

Таким образом, любой использованный агент (МВ, анальцимсодержащая порода, биогеосорбент) являются эффективными ремедиантами по отношению к фенолам, но отличительной особенностью биогеосорбента и соответственно его преимуществом, является снижение периода очистки при его использовании и отсутствие вторичных отходов за счет биодеструкции фенолов в самом сорбенте.

### 7.3. Заключение по главе 7

Иммобилизация клеток на носители приводит к их стрессоустойчивости перед химически стойкими загрязнителями, физическими и биологическими неативными факторами с одной стороны, с другой способствует их долгосрочному хранению. Кроме того, анальцимсодержащий носитель, используемый для

исследований, может выступать в качестве источника дополнительного питания для МВ.

МВ *Chlorella vulgaris*, иммобилизованные на анальцимсодержащей породе снижали в модельной воде концентрацию фенолов на 82 – 93 %. Использование биогеосорбента для очистки сточной воды от фенолов приводило к уменьшению периода очистки от загрязняющих веществ, что было более эффективно по сравнению с использованием МВ в свободной форме.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продукция лесопромышленных предприятий является одной из самых распространенных и необходимых товаров в жизни человека. При этом используемые водные ресурсы в процессе производства подвергаются загрязнению. На очистных сооружениях сточные воды в большинстве случаев, не достигая нормативов сбрасываются в водоемы, негативно влияют на экосистему в целом, а в дальнейшем и на здоровье человека. Одним из решений доочистки сточных вод может стать использование микроводорослей. С помощью биотехнологических методов исследования были выявлены наиболее эффективные культуры микроводорослей и их консорциумы для очистки сточной воды от поллютантов, таких как фенол, фосфаты, сульфаты, общий азот, аммонийный, нитритный, нитратный азот, металлы. С культурами микроводорослей проведен комплекс лабораторных и опытно-промышленных испытаний, доказывающих эффективность применения микроводорослей для доочистки сточной воды как в свободной, так и в иммобилизованной форме.

При исследовании условий проведения экспериментов: состава питательных сред, начальной концентрации маточной культуры, вводимой в загрязненную сточную воду, было выявлено, что оптимальной питательной средой является среда Люка, а концентрация клеток микроводорослей –  $10^4$  кл./мл.

Установлено, что сточная вода отстойников ЦБОСВ лесопромышленного предприятия АО «Монди СЛПК» может быть использована как питательная среда для культивирования МВ с целью получения богатой биомассы для производства вторичных продуктов.

## ВЫВОДЫ

1. Исследована очистка сточной воды лесопромышленного комплекса от основных загрязняющих веществ (фенола, фосфатов, сульфатов, общего азота, аммонийного, нитритного, нитратного азота, металлов) с помощью монокультур микроводорослей (*C. proboscideum*, *E. magnus*, *C. vulgaris*, *A. obliquus*) и их консорциумов. Экспериментально выявлено, что наиболее эффективными в очистке от биогенных элементов (на 6-78 %) и биотрансформации органических загрязнителей (на 30-83 %) являются монокультуры *C. proboscideum*, *E. magnus*, *C. vulgaris* и консорциум, состоящий из штаммов микроводорослей *C. proboscideum*, *E. magnus*.

2. Сравнительный анализ эффективности очистки сточной воды от основных загрязняющих веществ с помощью монокультур микроводорослей (*E. magnus*, *C. proboscideum*, *A. obliquus*, *C. vulgaris*) и консорциума (*C. proboscideum*+*E. magnus*), культивированных на питательных средах Люка и Тамия с разной концентрацией клеток показал, что наиболее эффективные результаты достигнуты при инокуляции в воду консорциума, культивированного на среде Люка титром клеток  $10^4$  кл./мл. (Al на 12 %, Fe на 20 %, P<sub>общ.</sub> на 24 %, N<sub>общ.</sub> на 18 %, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> на 13 %).

3. Установлено, что сточная вода вторичных отстойников лесопромышленного предприятия может быть использована как питательная среда для культивирования микроводорослей с целью получения богатой аминокислотами, фосфатами, серой, кальцием, магнием, калием, натрием, медью биомассы с одновременной трансформацией микроводорослями загрязняющих веществ (окисление аммонийного азота на 38 %, нитритного азота на 43 %, фенола на 58 %).

4. Оценены свойства монокультуры и консорциума микроводорослей в эксперименте, проводимом в сточной воде азротенков лесопромышленного предприятия: автохтонный штамм микроводорослей *Acutodesmus obliquus* эффективен для очистки сточной воды от фенольных соединений (до 73 %); консорциум микроводорослей (*A. obliquus*, *C. proboscideum*, *C. vulgaris*) снижает

концентрацию алюминия до 33 %, железа до 17 %, фенола до 25%, нитратного азота до 38 %, фосфат-ионов до 17 %.

5. Микроводоросли в иммобилизованной форме более эффективны в очистке сточной воды от фенолов, чем свободные. Эффективность очистки составила 82 – 93 %.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Полученные данные позволяют рекомендовать использование консорциума микроводорослей, состоящего из штаммов *C. proboscideum*, *E. magnus* и консорциума микроводорослей, состоящего из штаммов *A. obliquus*, *C. proboscideum*, *C. vulgaris* для очистки сточной воды предприятий лесопромышленного комплекса от биогенных и органических загрязнителей. Технология периодического внесения консорциума микроводорослей в сточную воду позволит снизить нагрузку загрязняющих веществ на водные экосистемы.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

**БПК** – Биологическое потребление кислорода

**СВ** – Сточная вода

**ЗВ** – Загрязняющие вещества

**МВ** – Микроводоросли

**ОООС** – Отдел охраны окружающей среды

**ХПК** – Химическое потребление кислорода

**ЦБОСВ** – Цех биологической очистки сточных вод

**АО** – Акционерное общество

**СЛПК** – Сыктывкарский лесопромышленный комплекс



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Абдулагатов, И.М. Микроводоросли и их технологические применения в энергетике и защите окружающей среды / И.М. Абдулагатов, А.Б. Алхасов, Г.Д. Догеев, Н.Р. Тумалаев, Р.М. Алиев, Г.Б.Бадавов, А.М. Алиев, А.С. Салихова // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т.13, –№ 1. – С.166- 183.
2. Автушко, Е.А. О целевой программе «Чистая вода» на 2011–2017 гг. / Е.А. Автушко // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2014. – № 4 (10). – С. 56–59.
3. Андреева, В.М. Род *Chlorella*: морфология, систематика, принципы классификации / В.М. Андреева // Наука. – 1975. – 110 с.
4. Баландина, Р.И. Анализ воздействия предприятий нефтехимического комплекса на гидросферу и пути минимизации их негативного влияния / Р.И. Баландина, Р.И. Хангильдин, И. Г. Ибрагимов, В.А. Мартяшева // Башкирский химический журнал. – 2015. –Том 22. – № 1. – С. 115-126.
5. Боголицын, К.Г. Научные основы эколого-аналитического контроля промышленных сточных вод ЦБП: справочник эколога промышленных предприятий / К.Г. Боголицын, Т.В. Соболева, М.А. Гусакова [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2010. – 168 с.
6. Боронбаева, А.А. Динамика численности и биомасса водорослей водоемов очистного сооружения г. Джалал-Абад / А.А. Боронбаева, В.Б. Эрматова // Известия ВУЗов (Кыргызстан). – 2015. – № 6. – С. 140-141.
7. Варакин, Е.А. Окислительная способность активного ила при очистке сточных вод производства сульфатной целлюлозы: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 05.21.03 / Варакин Евгений Александрович. – Архангельск, 2017. – 20с.
8. Вершинин, В.В. Методы очистки сточных вод. Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг. [Главный редактор:

А.С. Овчинников] / В.В. Вершинин, Д.П. Гостищев, Н.В. Хватыш. – 2015. – С. 95-104.

9. Винберг, Г.Г. Участие фотосинтезирующих организмов фитопланктона в процессах самоочищения загрязненных вод / Г.Г. Винберг, Т.Н.Сивко // Гидробиология и ихтиология внутренних водоемов Прибалтики. – 1963. – Т.7. – С. 61–65.

10. Волков, В.А. Определение показателей качества сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества / В.А. Волков, Н.И. Миташова, А.А. Агеев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – Т. 3. – № 1(19). – С. 68-76.

11. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачев Е.А. Водоотведение: учебник. Москва, 2020. 415 с.

12. Выросткова, Д.В. Анализ методов очистки водных объектов от нефтепродуктов: сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования» / Д.В. Выросткова, Р.В. Гулиев, И.М. Розин, Ю.К. Рубанов. – Белгород. – 2019. – С. 138-143.

13. Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Кабиров Р.Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Москва. 2008. – 151 с.

14. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: [ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 28 января 2021 года № 2 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21]. – 2021. – 636с.

15. Глушанкова, И.С. Выбор реагентов для локальной очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства / А. М. Михайлова, А. Е. Жуланова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2020. – № 2 (76). – С. 9-15.

16. Гоготов, И.Н. Аккумуляция ионов металлов и деградация поллютантов микроорганизмами и их консорциумами с водными растениями / И.Н. Гоготов // Экология промышленного производства. – 2005. – № 2. – С. 34-37.

17. Горбунова, С. Ю. Культивирование *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitler на минерально-органической питательной среде / С. Ю. Горбунова // ISSN 0513-1634 Бюлетень ДНБС, 2013. – Вып. 109. – С.8-13.
18. Гостищев, Д.П. Защита водных объектов от загрязнения сточными водами / Д.П. Гостищев, В.А. Широкова, А.О. Хуторова, В.И. Аксёнов, И.И. Ничкова // Природообустройство. – 2014. – № 1. – С. 62–68.
19. Гудков, А.Г. Механическая очистка сточных вод: учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда: Изд-во ВоГТУ. – 2003. – 152 с.
20. Данилович, Д.А. НДТ очистки сточных вод поселений: концепция информационно-технического справочника / Д.А. Данилович // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. – № 3–4. – С. 13–17.
21. Дворецкий, Д.С. Основы биотехнологии микроводорослей: учебное пособие / Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Пешкова Е.В., Темнов М.С., Акулинин Е.И. Тамбов, Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 87с.
22. Джамолов, Ф. Б. Интенсификация роста микроводоросли *Chlorella vulgaris* с использованием фосфорорганических соединений в низких концентрациях / Ф. Б. Джамолов, А. А. Фазулина, А. С. Матвеев, С. В. Фридланд // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20. – №8. – С. 143–146.
23. Джиенбеков А.К. Первые сведения о водорослях заповедного озера Алаколь (Казахстан) и их флористический анализ / А.К. Джиенбеков, С.С. Баринаова, А.Б. Бигалиев, С.Б. Нурашов, Э.С. Саметова // Бюл. Московского испытателей природы. Отд. биол. – 2018. – Т. 123. – Вып. 6. – С. 48-57.
24. Жмур, Н. С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. М.: Луч. 1997. 172 с.
25. Жуков, В.В. Технико-экономические вопросы создания экотехнопарков в сфере деятельности по обработке и утилизации отходов очистки сточных вод / В.В. Жуков, Е.Г. Величко, А.С. Шевченко, С.В. Переведенцев, Э.С. Цховребов, С.И. Шканов // Вестник МГСУ. –2019. – Т. 14. – Вып. 8. – С. 1057–1073.

26. Ивлев, Л.С. Структурные и энергетические характеристики воды, их роль в экологии окружающей среды / Ивлев Л.С., Резников В.А. // Общество. Среда. Развитие. –2013. – № 3 (28). – С. 265-274.
27. Ильинский, В.В. Оценка функциональной активности активного ила локально-очистного сооружения, действующего в условиях Арктического региона / В.В. Ильинский, Е.В. Крамаренко, Е.В. Макаревич // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. – № 1/2. – С. 157–164.
28. Казакова, Е.Г. Очистка и рекуперация промышленных выбросов целлюлозно-бумажной и промышленности / Е. Г. Казакова, Т.Л. Леканова // Сыктывкар: Изд-во СЛИ. – 2013. – 192 с.
29. Карманов, А.П. Технология очистки сточных вод / А. П. Карманов, И. Н. Полина // Изд-во СЛИ. Сыктывкар, 2015. – 207 с.
30. Качалова, Г.С. Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод / Г.С. Качалова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 2 (78). – С. 32-39.
31. Киреева, Т.А. Гидрогеохимия: конспект лекций. Учебно-методическое пособие / Т.А. Киреева. – М. 2016. – 197с.
32. Комарова, Л.Ф. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности / Л. Ф.Комарова, М. А. Полетаева. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 174 с.
33. Корчевская, Ю.В. Применение псевдооживленного слоя в биологической очистке сточных вод / Ю.В. Корчевская, А.А. Кадысева, Г.А. Горелкина, А.А. Маджугина, Р.Г. Шамсутдинов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (136). – С.67-71.
34. Кульнев, В.В. Опыт альголизации питьевых водоемов нижнетагильского промышленного узла / В.В. Кульнев, В.А. Почечун // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2016. – Т. 8. – № 3. – С. 287-290.
35. Куприянова Г.А., Уточкина Е.А. Растворы. Свойства растворов: учебное пособие для студентов медицинских вузов. Благовещенск, 2020. 144с.

36. Лукьянов, В.А. Прикладные аспекты применения микроводорослей в агроценозе: монография / В.А. Лукьянов, А.И. Стифеев. – Курск: Издательство Курской гос. сельскохозяй. академии, 2014. –181 с.
37. Маркин, И.В. Интеграция процессов культивирования микроводоросли *Chlorella vulgaris* на муниципальных сточных водах и биосинтеза молочной кислоты : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.01.06 / Маркин Илья Владимирович. – Тамбов, 2020. – 16 с.
38. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (ФР.1.31.2007.03794). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2004.
39. Методика выполнения измерений биохимического потребления кислорода после  $n$  дней инкубации (БПК $_n$ ) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 (ФР.1.31.2007.03796). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2004.
40. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего углерода, общего неорганического углерода, общего органического углерода, неудаляемого органического углерода и общего азота в питьевых, природных (в том числе подземных), сточных и технологических (оборотных и рециркуляционных) водах с помощью анализатора ТОС (Shimadzu). Методика М-02-2405-13. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2013.
41. Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатков в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010 (ФР.1.31.2015.21954). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2015.
42. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. ПНД Ф 14.1:2:4.135-98. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2008.

43. Методика выполнения измерений массовых концентраций взвешенных веществ и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009(ФР.1.31.2013.13901). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2013.
44. Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов фотометрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 (ФР.1.31.2016.22975). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2016.
45. Методика выполнения измерений мутности питьевых, природных и сточных вод турбидиметрическим методом по каолину и по формазину. ПНД Ф 14.1:2:4.213-05 (ФР.1.31.2007.03808). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2007.
46. Методика выполнения измерений цветности питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:4.207-04 (ФР.1.31.2007.03807). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2007.
47. Методика измерений бихроматной окисляемости (химического потребления кислорода) в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом с применением анализатора жидкости «Флюорат-02». ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003 (ФР.1.31.2012.12706). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2012.
48. Методика измерений массовой концентрации сульфат-иона в питьевых, поверхностных и сточных водах методом турбидиметрией, РД 52.24.405-2005. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2005.
49. Методика измерений массовой концентрации аммиака и аммоний-ионов в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013, (ФР.1.31.2013.16660). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2013.
50. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 (ФР.1.31.2013.16009). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2013.

51. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса. ПНД Ф 14.1:2:4.3-95. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2011.
52. Методика измерений массовой концентрации фенола методом капиллярной газовой хроматографии. Методика измерений № 88-17641-006-2013 (ФР.1.31.2013.15054). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2013.
53. Методика измерений массовой концентрации хлорид-иона в питьевых, поверхностных и сточных водах методом АЭС ИСП № 88-17641-002-2016 (ФР.1.31.2016.23501). – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2016.
54. Михайлов, В. Н. Гидрология : учебник для вузов / В. Н. Михайлов, С. А. Добролюбов. – М.: Директ-Медиа, 2017 – 752 с.
55. Михайлова, А. М. Реагентная обработка сточных вод целлюлозно-бумажного производства от лигнин- и серосодержащих соединений / А. М. Михайлова, И. С. Глушанкова, А. А. Сафиулина // Химия. Экология. Урбанистика. – 2019. – Т. 1. – С. 167 – 171.
56. Мичукова М.В. Изучение токсичности сточных вод целлюлозно-бумажного производства методом биотестирования на *Daphnia magna* STR / М.В. Мичукова, А.В. Канарский, З.А. Канарская // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – С. 95-102.
57. Монди СЛПК-50. Монди СЛПК сделал прорыв в очистке сточных вод. [Электронный ресурс] – 2019. – Режим доступа: <https://www.bnkomi.ru/data/news/91979/>
58. Монди СЛПК. Информация о компании Монди СЛПК. [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: <https://alestech.ru/factory/9-mondi-slpk>
59. Наилучшие доступные технологии. Предотвращение и контроль промышленного загрязнения. Этап 4: Руководство по определению НДТ и установлению уровней экологической эффективности для выполнения условий получения экологических разрешений на основе НДТ. [Электронный ресурс] / Управление по окружающей среде, здоровью и безопасности Дирекции по окружающей среде ОЭСР. Перевод с английского. – Москва, 2020. – 81 с. –

Режим доступа: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/guidance-document-on-determining-best-available-techniques.pdf>

60. Никитина, И.Н. Обеспечение санитарной надежности территорий при использовании вывозной системы водоотведения / И.Н. Никитина, А.М. Смирновская // Строительство: наука и образование. – 2015. – № 4. – С. 4
61. Никифоров, А.Ф. Физико-химические основы процессов очистки воды: учебное пособие / А.Ф. Никифоров, А.С. Кутергин, И.Н. Липунов, И.Г. Первова, В.С. Семенищев. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 164 с.
62. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. – М.: Минприроды РФ: АНО «Центр международных проектов», 2019. – 473 с.
63. Орлова, Т.Н. Химия природных и промышленных вод: учебное пособие / Т.Н. Орлова, Д.А. Базлов, В.Ю. Орлов. – Ярославль : ЯрГУ, 2013. – 120 с.
64. **Пат. 2525905 Российская Федерация, МПК В01D 25/00, В01D 29/56, С02F 1/62.** Устройство для очистки природных и сточных вод от механических примесей [Текст] / Хайлов О.В., Соловьев Н.М., Годлевская Е.В., Пташкина-Гирина О.С., Старших В.В., Максимов Е.А. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия". – № 2013112443/05 ; заявл. 19.03.2013 ; опубл. 20.08.2014, Бюл. №23. – 7 с. ; ил.
65. **Пат. 2716126 Российская Федерация, МПК С02F 9/14, С02F 1/52, С02F 1/46, С02F 3/06, С02F 3/32, В01D 21/02, В01J 19/08.** Система водного хозяйства населённого пункта [Текст] / Назаров В.Д., Назаров М.В., Райзер Ю.С. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – № 2019124055 ; заявл. 23.07.2019 ; опубл. 05.03.2020, Бюл. № 7. – 10. ; ил.
66. **Пат. № 2749105 Российская Федерация, МПК С02F 9/00, С02F 1/42, С02F 1/78, С02F 101/16, С02F 103/34.** Способ комплексной очистки



промышленных сточных вод (варианты) [Текст] / Азин В.А., Абизгильдина Р.Р., Васильев С.В., Занозина В.Ф., Федосеева Е.Н. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Салаватский химический завод". – № 2020129383 ; заявл. 07.09.2020 ; опубл. 04.06.2021, Бюл. № 16. – 20 с. : ил.

67. Пат. 2015156742 Российская Федерация, МПК C02F 1/28. Способ снижения содержания общего органического углерода в сточных водах [Текст] / Бер Хольгер, Гольтц Харлан Р., Линднер Йорг, Ленц Астрид ; заявитель БАСФ SE (DE), Глобал Текнолоджис ЛЛСи (US). – № 2015156742 ; заявл. 04.06.2014 ; опубл. 07.09.2018, Бюл. № 25. – 5 с. ; ил.

68. Пат. 2019124578 Российская Федерация, МПК C02F 11/00. Автоматизированное устройство для очистки бытовых сточных вод [Текст] / Ковалев Р.А., Панарин В.М., Рылеева Е.М., Шейнкман Л.Э., Болотов Г.С., Дергунов Д.В., Рерих В.А. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тульский государственный университет". – № 2019124578 ; заявл. 30.07.2019 ; опубл. 17.01.2020, Бюл. №2. – 11 с. ил.

69. Пат. 2272792 Российская Федерация, МПК C02F 3/32, C02F 103/20. Способ очистки сточных вод животноводческих комплексов [Текст] / Мелихов В.В., Дронова Т.Н., Московец М.В., Каренгина Т.В. ; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия. – № 2004134307/15 ; заявл. 24.11.2004 ; опубл. 27.03.2006, Бюл. № 9. ; ил.

70. Пат. 2513401 Российская Федерация, МПК C02F 3/00, B05B 1/14. Капельный биофильтр [Текст] / Кочетов О.С., Стареева М.О., Стареева М.М. ; заявитель и патентообладатель Кочетов О.С., Стареева М.О., Стареева М.М. – № 2012140198/05 ; заявл. 20.09.2012 ; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11. – 8 с. ; ил.

71. Пат. 2555519 Российская Федерация, МПК C12N 1/12, C12R 1/89. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris*, предназначенный для очистки сточных вод сельскохозяйственных и спиртовых производств [Текст] / Лобакова Е.С., Соловченко А.Е., Селях И.О., Семенова Л.Р., Лукьянов А.А., Кирпичников М.П.,

Щербаков П.Н. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова". – № ; заявл. 12.08.2013 ; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19.

72. **Пат. 2556126 Российская Федерация, МПК С12N 1/12.** Питательная среда Люка для культивирования микроводорослей [Текст] / Михайлюк А.В., Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. – № 2014100232/10 ; заявл. 09.01.2014 ; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. – 7 с. ; ил.

73. **Пат. 2597082 Российская Федерация, МПК С02F 3/12, С02F 3/30, С02F 3/34, С02F 101/16, С02F 101/30.** Установка для биологической очистки сточных вод [Текст] / Бушев Д.С., Дремов О.В. ; заявитель и патентообладатель Бушев Д.С., Дремов О.В. – № 2015136763/05 ; заявл. 31.08.2015 ; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25. – 10 с. ; ил.

74. **Пат. 2599639 Российская Федерация, МПК С12N 1/12, С12R 1/89.** Способ очистки химических соединений сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов [Текст] / Майлстоун К.Б., МакЛатчи Д. Л., Хьюитт Л. М. ; патентообладатель ЕЕ ВЕЛИЧЕСТВО КОРОЛЕВА КАНАДЫ ПО ПРАВУ, В ЛИЦЕ МИНИСТЕРСТВА ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, Майлстоун К. Б., МакЛАТЧИ Д. Л. – № 2013137672/10 ; заявл. 07.04.2011 ; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28. – 43 с. ; ил.

75. **Пат. 2602566 Российская Федерация, МПК С02F 1/48, С02F 1/40.** Способ очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости и устройство его реализации [Текст] / Страдомский Ю.И., Морозов Н.А. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". – № 2015112535/05 ; заявл. 06.04.2015 ; опубл. 20.11.2016, Бюл. № 32. – 11 с. ; ил.

76. Пат. **2636708** Российская Федерация, МПК **C02F 9/14, C02F 3/30, C02F 3/12, B01D 21/02**. Ким, В.С. Способ и установка для биологической очистки сточных вод / Ким В.С., Большаков Н.Ю., Павлов Г.А. ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Джи-Эс-Пи Прожект". – № 2016146362 ; заявл. 25.11.2016 ; опубл. 27.11.2017, Бюл. № 33. – 20 с. ил.
77. Пат. **2644904** Российская Федерация, МПК **C02F 3/30, C02F 9/14, C02F 11/02, C02F 101/10, C02F 101/30, C02F 103/20**. Способ биологической очистки сточных вод от азотно-фосфорных и органических соединений [Текст] / Марков Н.Б., Попов П.Г. ; заявитель и патентообладатель Марков Николай Борисович, Попов Павел Геннадьевич. – № 2017108545 ; заявл. 14.03.2017 ; опубл. 14.02.2018, Бюл. № 5. – 16 с. ил.
78. Пат. **2650909** Российская Федерация, МПК **E03F 5/14**. Траковая грабельная решетка устройства для механической очистки сточных вод и трак грабельной решетки [Текст] / Мурашев С.В., Ильичев С.В., Басанец С.П. ; патентообладатель Государственное унитарное предприятие "Водоканал Санкт-Петербурга". – № 2016143136 ; заявл. 02.11.2016 . опубл. 18.04.2018, Бюл. №11. – 15 с. ; ил.
79. Пат. **2683522** Российская Федерация, МПК **C02F 3/02, C02F 3/32, C02F 9/12, C02F 9/14, C02F 101/30, C02F 101/38**. Способ биологической очистки сточных вод [Текст] / Ченский И.А., Серпокрылов Н.С. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет". – № 2018120895 ; заявл. 06.06.2018 ; опубл. 23.03.2019, Бюл. № 10. – 8 с. ; ил.
80. Пат. **2698694** Российская Федерация, МПК **C02F 3/02, C02F 3/12**. Способ аэробной биологической очистки сточных вод взвешенным активным илом с гидроавтоматическим режимом регулирования скорости рециркуляции в зависимости от единовременных объемов неравномерно подаваемых сточных вод частных домов и специальным ночным режимом денитрификации и устройство для его осуществления [Текст] / Бобылев Ю.О. ; заявитель и патентообладатель

Бобылев Ю.О. – № 2019102946 ; заявл. 04.02.2019 ; опубл. 28.08.2019, Бюл. № 25. – 28 с. ; ил.

**81. Пат. 2701827 Российская Федерация, МПК C02F9/14, C02F3/12, C02F3/06, C02F1/74, C02F1/78, B01D21/00, C02F1/44, C02F1/28.**

Способ очистки сточных вод с получением очищенной воды и обеззараженных отходов [Текст] / Анпилов С.М., Анпилов М.С., Елисеев Д.С., Сорочайкин А.Н., Китайкин А.Н. ; заявитель и патентообладатель Анпилов С. М. – № 2018142124 ; заявл. 28.11.2018 ; опубл. 01.10.2019, Бюл. № 28. – 12 с. ; ил.

**82. Пат. 2701932 Российская Федерация, МПК C02F 9/04, C02F 1/52, C02F 1/72, C02F 1/50, B01D 24/46, B01D 24/18.** Способ очистки природных и сточных вод [Текст] / Балаев И.С. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "МИРРИКО". – № 2019113558 ; заявл. 29.04.2019 ; опубл. 02.10.2019, Бюл. № 28. – 33 с. ; ил.

**83. Пат. 2703499 Российская Федерация, (51) МПК C12N 1/12, C02F 3/34, C12R 1/89.** Штамм микроводорослей *Chlorella vulgaris* Beijer. f. *globosa* V. Andr. для очистки природных водоемов и сточных вод промышленных предприятий [Текст] / Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М., Гогонин А.В., Тарабукин Д.В., Шапенков Д.М. ; заявитель и патентообладатель Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М., Гогонин А.В., Тарабукин Д.В., Шапенков Д.М. – № 2018120704 ; заявл. 05.06.2018 ; опубл. 17.10.2019. Бюл. № 29. – 9 с. : ил.

**84. Пат. 2704438 Российская Федерация, МПК E02B 15/00, C02F 1/28, C02F 1/50, B01J 20/12.** Способ адсорбционной очистки вод поверхностных источников [Текст] / Атаева А.А., Кошелев А.В., Абубакарова Ж.С., Тихомирова Е.А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования " Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова". – № 2018129385 ; заявл. 10.08.2018, опубл. 28.10.2019, Бюл. № 31. – 10 с. ; ил.

**85. Пат. 2708595 Российская Федерация, МПК B09B 3/00.** Способ комплексной переработки осадков сточных вод [Текст] / Хрипач Н.П., Камнев

Е.Г., Жегулин С.Н. ; заявитель и патентообладатель Хрипач Н.П., Камнев Е.Г., Жегулин С.Н. – № 2019111170 ; заявл. 12.04.2019 ; опубл. 09.12.2019, Бюл. № 34. – 11 с. ; ил.

**86. Пат. 2724252 Российская Федерация, МПК В01J 20/30, В01J 20/20.** Способ получения углеродсодержащего адсорбента для удаления ароматических соединений (варианты) [Текст] / Цодиков М.В., Чистяков А.В., Николаев С.А., Бухтенко О.В. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева ИНХС РАН, зав. группой патентных Российской академии наук (ИНХС РАН). – № 2019132938 ; заявл. 17.10.2019 ; опубл. 22.06.2020, Бюл. № 18. – 12 с. ; ил.

**87. Пат. 2736187 Российская Федерация, МПК С02F 9/14, С02F 3/30, С02F 1/74, С02F 3/06, С02F 3/22.** Способ и устройство для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод / Галай С.А., Горкуценко А.В. ; заявитель и патентообладатель Галай Станислав Анатольевич, Общество с ограниченной ответственностью "КОЛО ВЕСИ". – № 2019117388 ; заявл. 30.07.2019. ; опубл. 12.11.2020, Бюл. № 32. – 12 с. ; ил.

**88. Пат. 2743531 Российская Федерация, МПК С02F 3/30, С02F 9/14.** Способ биологической очистки жидких фракций, содержащих дезинфицирующее вещество ЧАМС и аналогичные ему совместно с хозяйственно-бытовыми и/или близкими к ним по составу производственными сточными водами [Текст] / Зубов М.Г., Вильсон Е.В., Обухов Д.И., Щербаков С.А. ; заявитель и патентообладатель Зубов М.Г. – № 2020116400 ; заявл. 19.05.2020 ; опубл. 19.02.2021, Бюл. № 5. – 14 с. ; ил.

**89. Пат. 2747663 Российская Федерация, МПК С02F 1/465, С02F 9/00, С02F 1/467, С02F 11/12.** Система и способ очистки сточных вод с помощью усовершенствованной электрофлотации [Текст] / Касбиэр Д., Бария Р., Патель С., Матусек Р., Ривз Т. ; патентообладатель ИНДУСТРИ ДЕ НОРА С.П.А. – № 2019116804 ; заявл. 31.10.2017 ; опубл. 11.05.2021, Бюл. №14. – 30 с. ; ил.

90. Пат. 2748672 Российская Федерация, МПК C02F 1/28, C02F 1/48, C02F 1/52, C02F 1/62, C01G 49/06, C01G 49/08, H01F 1/11. Способ очистки промышленных сточных вод от тяжелых металлов [Текст] / Волков Д.А., Чириков А.Ю., Буравлев И.Ю., Юдаков А.А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН). – № 2020118763 ; заявл. 29.05.2020 ; опубл. 28.05.2021, Бюл. № 16. – 10 с. ; ил.
91. Пат. 2749370 Российская Федерация, МПК C02F 1/28, C02F 9/12, C02F 1/32, B01J 20/02. Многоступенчатая станция очистки серых сточных вод / Кадревич А.А., Щербакова Ю.А., Зубов М.Г. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-исследовательский центр "ЭКОТЕХ" (ООО "НИЦ "ЭКОТЕХ"). – № 2020127538 ; заявл. 18.08.2020 ; опубл. 09.06.2021, Бюл. №16. – 8 с. ; ил.
92. Пат. 2749856 Российская Федерация, МПК C02F 3/30, C02F 101/32. Способ биологической очистки сточных вод от легких углеводородов / Вильсон Е.В., Литвиненко В.А., Кадревич А.А., Зубов М.Г. ; заявитель и патентообладатель Зубов М.Г. ; – № 2020128959 ; заявл. 1.09.2020 ; опубл. 17.06.2021, Бюл. № 17. – 13 с. ; ил.
93. Пат. 2753906 Российская Федерация, МПК C02F 9/06, C02F 11/15. Способ очистки многокомпонентных сточных вод / Игнаткина Д.О., Войтюк А.А., Москвичева А.В. ; заявитель и патентообладатель Игнаткина Д.О. – № 2020112689 ; заявл. 28.03.2020 ; опубл. 24.08.2021, Бюл. № 24. – 9 с.; ил.
94. Пинаев, В.Е. Рекультивация - водные объекты и суша [Электронный ресурс] / В.Е. Пинаев, Д.В. Касимов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2017. – Том 9. – №2. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/13EVN217>.
95. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона : информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – М.: Бюро НДТ, 2015. – 465с.

96. Пупырев, Е.И. Сбор и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод: критический обзор достигнутых результатов / Е.И. Пупырев // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. Вып. 11. – С. 1365–1407.
97. Рефераты: Экология / Биосфера. Экологические проблемы биосферы. [Электронный ресурс] – 2021. – Режим доступа: <https://ecoportal.su/public/bio/view/1089.html>
98. Роговская, П.И. Рекомендации по методам производства анализов на сооружениях биохимической очистки промышленных сточных вод / П.И. Роговская, Ф.Е. Оргианская. – Москва: Стройиздат, 1970. – 104 с.
99. Салтыкова, А.Ю. Состояние и пути решения проблемы биологической очистки сточных вод лечебно-исправительного учреждения / А.Ю. Салтыкова, Э.А. Сиротюк // Экологические проблемы современности: мат. науч.-практ. семинара. – Майкоп, 2009. – С. 207-213.
100. Самойлова, К.И. Проблемы водоснабжения и водоотведения в Российской Федерации и пути их решения / К.И. Самойлова, А.А. Тратникова // Colloquium-journal. – 2019. – № 2–2 (26). – С. 58–59.
101. Сафиуллина, Л.М. Толерантность почвенных водорослей *Eustigmatos magnus* (В.Petersen) Hibberd (*Eustigmatophyta*) и *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve et Grunow (*Bacillariophyta*) к воздействию тяжелых металлов / Л.М. Сафиуллина, А.И. Фазлутдинова, Г.Р. Бакиева // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург, 2009. – С. 42-44.
102. Седова, Е.Л. Коагуляционно-адсорбционная очистка лигнинсодержащих сточных вод [Электронный ресурс] / Е.Л. Седова, К.Б. Воронцов // Nauka-rastudent.ru. – 2014. – № 7. – Режим доступа URL: <http://nauka-rastudent.ru/7/1946/> (дата обращения: 03.02.2020).
103. Сидорова, Л.П. Очистка сточных и промышленных вод. Часть II. Биологическая очистка. Активный ил. Оборудование: учебно-электронное текстовое издание / Л.П. Сидорова, А.Н. Снигирева Екатеринбург, 2017. – 127с.

104. Сидорова, Л.П. Подземные воды – важнейший регулятор пресной воды: учебный электронный текстовый ресурс / Л.П. Сидорова, А.Ф. Низамова. – Екатеринбург. – 2016. – 146с.
105. Системы очистки воды. [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: <http://www.kaufmanntec.ru/publics/20/>
106. Смирнов, А.Ю. Определение концентрации восстановленных соединений серы в жидких средах по величине окислительно-восстановительного потенциала среды [Электронный ресурс] / А.Ю. Смирнов, Е.В. Вильсон, А.Ф. Майер // НАУКОВЕДЕНИЕ. – 2017. – Том 9. – №3. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN317.pdf>.
107. Смятская, Ю. Очистка сточных вод от ионов железа (III) остаточной биомассой микроводорослей *Chlorella sorokiniana* / Ю. Смятская, А. Фазуллина, Н. Политаева, А. Чусов, А. Безбородов // Экология и промышленность России. – 2019. – № 23(6). – С. 22-27.
108. Соловьева Е.А. Технология очистки сточных вод и обработки осадков при глубоком удалении азота и фосфора из сточных вод // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. № 1. С. 93–99.
109. Ставров, О.А. Промышленная экология: учебное пособие / О.А. Ставров. – Москва. – 2013. – 105с.
110. Студопедия. Предисловие. Глава 1. Сточные воды, их загрязнители, методы очистки. [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/11\\_98078\\_ih-naznachenie-i-kratkaya-harakteristika.html](https://studopedia.ru/11_98078_ih-naznachenie-i-kratkaya-harakteristika.html)
111. ТАСС. [Электронный ресурс] – 2019. – Режим доступа: <https://tass.ru/obschestvo/6527931>
112. Топачевский, А.В. Пресноводные водоросли Украинской ССР: учеб. пособие / А.В. Топачевский, Н.П. Масюк. – К.: Вища школа, 1984. – 336 с.
113. Трифонов, В.Ю. Технология, способная решать проблемы "парникового эффекта" / В.Ю. Трифонов // Экологический вестник России. – 2010. – № 3. – С. 2–4.



114. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев; отв. ред. Г. С. Куликов. – Москва: Наука, 2005. – 252 с.
115. Хенце, М. Очистка сточных вод: биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]; пер. с англ. Т. П. Мосоловой; под ред. С. В. Калюжного. – М.: Мир, 2006. – 480 с.
116. Царенко, П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР: учеб. пособие / П.М. Царенко. – Киев: Изд-во Наукова Думка, 1990. – 208 с.
117. Чаптарова, Е.А. Интенсификация удаления ионов никеля из модельных вод при использовании микроводоросли *Chlorella vulgaris* / Е.А. Чаптарова, А.А. Фазуллина, С.В. Фридланд, И.Г. Шайхиев // Издательство БГТУ. – 2019. – С. 271 - 274.
118. Ченцова, Л.И. Очистка и переработка промышленных выбросов и отходов: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию для студентов направлений 280200.62 Защита окружающей среды, 241000.62 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии очной и заочной форм обучения / Л.И. Ченцова, Е.В. Игнатова, С.В.Соболева, В.М. Воронин. – Красноярск: СибГТУ, 2012 – 250 с.
119. Шишкин, А.И. Повышение уровня экологичности целлюлозного природно-производственного комплекса для обеспечения норм допустимых сбросов / А.И. Шишкин, М.С. Строганова, И.В. Антонов, А.Ж. Адылова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Вып. 232. – С. 208-232.
120. Шкундина, Ф.Б. К вопросу о разработке онтологии биологической очистки сточных вод / Ф.Б. Шкундина, Р.А. Шкундина, Г.Ф. Габидуллина // Вестник Башкирского университета. – 2008. –Т. 13. – № 2. – С. 277–278.
121. Шушков, Д.А. Аналицимсодержащие породы Тимана как перспективный вид полезных ископаемых. Научные рекомендации – народному хозяйству / Коми научный центр УрО РАН. Вып. 123 / Д.А Шушков, О.Б. Котова, В.М. Капитанов, А.Н. Игнатъев. – Сыктывкар, 2006. – 40 с.

122. Щемелинина, Т.Н. Новые тренды в механизмах повышения производительности материалов на минеральной основе / Т.Н. Щемелинина, О.Б. Котова, М. Харжа, Е.М. Анчугова, И. Пеловский, И. Кретеску // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2017. – № 6. – С. 40-42.
123. Щемелинина, Т.Н. Очистка сточных вод лесопромышленного комплекса с использованием микроводорослей / Т.Н. Щемелинина, Е.Н. Патова, Д.В. Тарабукин, Е.М. Анчугова, Д.П. Очеретенко, В.В. Володин // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 7. – С. 44-47.
124. Щетинин, А.И. Сыктывкарский ЛПК: решение проблем очистки сточных вод / А.И. Щетинин, Ю.В. Костин, Е.Л. Андреев и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – М.: Издательство ВСТ, 2010. – С 34-38.
125. Ягов, Г.В. Контроль содержания соединений азота при очистке сточных вод / Г.В. Ягов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 7. – С. 45-49.
126. Abe, K. Development of laboratory-scale photobioreactor for water purification by use of a biofilter composed of the aerial microalga *Trentepohlia aurea* (Chlorophyta) / K. Abe, E. Takahashi, M. Hirano // J. Appl. Phycol. – 2008. – Vol. 20. – P. 283-288.
127. Adholeya, A. Potential uses of immobilized Bacteria, Fungi, algae, and their aggregates for treatment of organic and inorganic pollutants in wastewater, water challenges and solutions on a global scale / A. Adholeya, M. Das // ACS symposium series. Am. Chem. Soc. 1206. – 2015. – P. 319–337.
128. Ahmad, F. The potential of *Chlorella vulgaris* for wastewater treatment and biodiesel production / F. Ahmad, A.U. Khan, A. Yaşar // Pak. J. Bot. 45(S1). – 2013. – P. 461–465.
129. Aishvarya, V. Microalgae: cultivation and application / V. Aishvarya, J. Jena, N. Pradhan, P.K. Panda, L.B. Sukla // Environmental microbial biotechnology. Springer, Cham. – 2015. – P. 289–312.
130. Ajayan, K.V. Phycoremediation of tannery wastewater using microalgae *Scenedesmus* species / K.V. Ajayan, M. Selvaraju, P. Unnikannan, P. Sruthi // Int. J. Phytoremediation. – 2015. – P. 907–916.

131. Alaswad, A. Technologies and developments of third generation biofuel production / A. Alaswad, M. Dassisti, T. Prescott, A.G. Olabi // *Renew. Sust. Energ. Rev.* – 2015. – P. 1446–1460
132. An, J.Y. Hydrocarbon production from secondarily treated piggery wastewater by the green alga *Botryococcus braunii* / J.Y. An, S.J. Sim, J.S. Lee, B.W. Kim // *J. Appl. Phycol.* – 2003. – P. 185-191
133. Arias-Peñaranda, M.T. *Scenedesmus incrassatulus* CLHE-Si01: a potential source of renewable lipid for high quality biodiesel production / M.T. Arias-Peñaranda, E. Cristiani-Urbina, C. Montes-Horcasitas, F. Esparza-García, G. Torzillo, R.O. Cañizares-Villanueva // *Bioresour. Technol.* – 2013. – P. 158-164.
134. Bajhaiya, A.K. Recent advances in improving ecophysiology of microalgae for biofuels / A.K. Bajhaiya, S.K. Mandotra, A. Ansolia, A. Barsana // In: *Algal biofuels*. Springer International Publishing. – 2017. – P. 141-162.
135. Bani, A. Influence of photobioreactor set-up on the survival of microalgae inoculum / A. Bani, F. G. Acién Fernandez, G.D'Imporzano, K.Parati, F. Adani // *Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 320. – Part B, 124408.
136. Barinova, S.S. Bioraznoobrazie vodoroslei – indikatorov okruzhayushchei sredy / S.S. Barinova, L.A. Medvedeva, O.V. Anisimova // Tel'Aviv. – 2006. – 498pp.
137. Barinova, S.S. Kriticheskii podkhod k floristicheskomu analizu presnovodnykh al'goflor na primere Yuzhno-Tadzhikskoi depressii / S.S. Barinova, M.T. Boboev // *Byul. MOIP. Otd. Biol.* – 2015. – T. 120, № 1. – P. 40-48.
138. Baunillo, K.E. Investigations on microalgal oil production from *Arthrospira platensis*: towards more sustainable biodiesel production / K.E. Baunillo, R.S. Tan, H.R. Barros, R. Luque // *RSC Adv.* – 2012. – P. 11267-11272.
139. Beacham, T.A. Large scale cultivation of genetically modified microalgae: a new era for environmental risk assessment / T.A. Beacham, J.B. Sweet, M.J.Allen // *Algal Res.* – 2017. – P. 90-100.
140. Beaulieu, L. Characterization of antibacterial activity from protein hydrolysates of the macroalga *Saccharina longicruris* and identification of peptides implied in

bioactivity/ L. Beaulieu, S. Bondu, K. Doiron [et al.] // J. Funct. Foods. – 2015. – P. 685-697.

141. Behl, K. One-time cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in aqueous dye solution supplemented with biochar for microalgal growth, dye decolorization and lipid production / K. Behl, S. Sinha, M. Sharma, R. Singh, M. Joshi, A. Bhatnagar, S. Nigam // Chem. Eng. J. – 2019. – P. 552-561.

142. Besednova, N.N. Review: prospects for the use of extracts and polysaccharides from marine algae to prevent and treat the diseases caused by *Helicobacter pylori* / N.N. Besednova, T.S. Zaporozhets, L.M. Somova [et al.] // Helicobacter. – 2015. – P. 89-97.

143. Bharagava, R.N. Progresses in bioremediation technologies for industrial waste treatment and management: challenges and future prospects / R.N. Bharagava, G. Saxena // In: Bioremediation of industrial waste for environmental safety. Springer, Singapore, 2020. – P. 531-538.

144. Boelee, N.C. The effect of harvesting on biomass production and nutrient removal in phototrophic biofilm reactors for effluent polishing / N.C. Boelee, M. Janssen, H. Temmink, L. Taparaviciute, R. Khiewwijit, A. Janoska, C.J.N. Buisman, R.H. Wijffels // J. Appl. Phycol. – 2014. – Vol. 26(3). – P. 1439-1452.

145. Čermák, L. Effect of green alga *Planktochlorella nurekis* on selected bacteria revealed antibacterial activity in vitro. / L. Čermák, Š. Pražáková, M. Marounek [et al.] // Czech J. Anim. Sci – 2015. – Vol. 60. – P. 427-435.

146. Cabrera, M.N. Pulp mill wastewater: characteristics and treatment. In: Biological wastewater treatment and resource recovery / M.N. Cabrera // Intechopen, New York, 2017. – P. 119-139.

147. Chen, L. Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion / L. Chen, T. Liu, W. Zhang, X. Chen, J. Wang // Bioresour. Technol. – 2012. – Vol. 111. – P. 208-214.

148. Chen, T. Comparative Metabolomic Analysis of the Green Microalga *Chlorella sorokiniana* Cultivated in the Single Culture and a Consortium with Bacteria for Wastewater Remediation / T. Chen, Q. Zhao, L. Wang [et al.] // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2017. – Vol. 183. – P. 1062-1075.

149. Chinnasamy, S. Ecobiological aspects of algae cultivation in wastewaters for recycling of nutrients and biofuel applications / S. Chinnasamy, A. Sood, N. Renuka, R. Prasanna, S.K. Ratha, S. Bhaskar, R. Rengasamy, D.M. Lewis // *Biofuels*. – 2015. – Vol. 5. – P.141-158.
150. Chisti, Y. Constrains to commercialization of algal fuels / Y. Chisti // *J. Biotechnol.* – 2013. – Vol. 167. – P. 201-214.
151. Cho, S. Reuse of effluent water from municipal wastewater treatment plant in microalgae cultivation for biofuel production / S. Cho, T.T. Luong, D. Lee, Y. Oh, T. Lee // *Bioresour. Technol.* – 2011. – Vol. 102. – P. 8639-8645.
152. Choi, H-J. Parametric study of brewery wastewater effluent treatment using *Chlorella vulgaris* microalgae / H-J. Choi // *Environ. Eng. Res.* – 2016. – Vol. 21(4). – P. 401-408.
153. Chowdhury, S. Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries / S. Chowdhury, M.A.J. Mazumder, O. Al-Attas, T. Husain // *Sci. Total. Environ.* – 2016. – P. 476-488.
154. Craggs, R.J. Wastewater treatment and algal biofuel production. In: Borowitzka MA, Moheimani NR (eds) / R.J. Craggs, T.J. Lundquist, J.R. Benemann // *Algae for biofuels and energy developments in applied phycology*. – 2013. – Vol. 5. – P. 153-163.
155. Dal Corso, G. Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation / G. Dal Corso, E. Fasani, A. Manara, G. Visioli, A. Furini // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019. – Vol. 20(14):3412.
156. Das, C. Bioremediation of tannery wastewater by a salt-tolerant strain of *Chlorella vulgaris* / C. Das, K. Naseera, A. Ram [et al.] // *J. Appl. Phycol.* – 2017. – Vol. 29. – P. 235–243.
157. Dasgupta, C.N. Dual uses of microalgal biomass: an integrative approach for biohydrogen and biodiesel production / C.N. Dasgupta, M.R. Suseela, S.K. Mandotra, P. Kumar, M.K. Pandey, K. Toppo, J.A. Lone // *Appl. Energy*. – 2015. – Vol. 146. – P. 202-208.

158. De Morais, M.G. Biologically active metabolites synthesized by microalgae / M.G. De Morais, B.D.S. Vaz, E.G. De Morais, J.A.V. Costa // *BioMed Research International*. – 2015. – Vol. 2015. – P. 15.
159. Ding, Y. Statistical analysis and optimization of ammonia removal from aqueous solution by zeolite using factorial design and response surface methodology / Y. Ding, M. Sartaj // *J. Environ. Chem. Eng.* – 2015. – Vol. 3. – P. 807-814.
160. Dongbo, W. Critical review of the influences of nanoparticles on biological wastewater treatment and sludge digestion / W. Dongbo, Ch. Yinguang // *Critical Reviews in Biotechnology*. – 2016. – P. 1-13.
161. Dutta, P. Analysis of Growth and Biochemical Contents of Microalgae Grown with Wastewater Effluent of Emami Paper Mill, Balasore / P. Dutta, · E. Sahu, · P. Bhuyan, · A.K. Bastia // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2019. – P. 153-168.
162. Dvoretzky, D. Experimental research into the antibiotic properties of *Chlorella vulgaris* algal exometabolites / D. Dvoretzky, S. Dvoretzky, M. Temnov, I. Markin, E. Akulinin, O. Golubyatnikov, Y. Ustinskaya, M. Eskova // *Chemical Engineering Transactions*. – 2019. – Vol. 74. – P. 1429-1434.
163. Eerkes-Medrano, D. Microplastics in drinking water: a review and assessment / D. Eerkes-Medrano, H.A. Leslie, B. Quinn // *Curr Opin Environ Sci Heal.* – 2019. – Vol. 7. – P. 69-75.
164. Eio, E.J. Biodegradation of bisphenol A by an algalbacterial system / E.J. Eio, M. Kawai, C. Niwa [et al.] // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2015. – Vol. 22(19). – P. 15145-15153.
165. El Shafay, S.M. Antimicrobial activity of some seaweeds species from Red sea, against multidrug resistant bacteria / S.M. El Shafay, S.S. Ali, M.M. El-Sheekh // *Egypt J. Aquat. Res.* – 2015. – Vol. 42. – P. 65-74.
166. Eloka-Eboka, A.C. Effects of CO<sup>2</sup> sequestration on lipid and biomass productivity in microalgal biomass production / A.C. Eloka-Eboka, F.L. Inambao // *Appl. Energy*. – 2017. – Vol. 195. – P. 1100-1111.

167. Feng, Y. Lipid production of *Chlorella vulgaris* cultured in artificial wastewater medium / Y. Feng, C. Li, D. Zhang // *Bioresour. Technol.* – 2011. – Vol. 102. – P. 101-105.
168. Gao, F. A novel algal biofilm membrane photobioreactor for attached microalgae growth and nutrients removal from secondary effluent / F. Gao, Z. Yang, C. Li, G. Zeng, D. Ma, L. Zhou // *Bioresour. Technol.* – 2015. – Vol. 179. – P. 8-12.
169. Girela, I.M. Flashing light effects on CO<sub>2</sub> absorption by microalgae grown on a biofilm photobioreactor / I.M. Girela, M.D. Curt, J. Fernández // *Algal Res.* – 2017. – Vol. 25. – P. 421-430. <http://news.algaeworld.org/2017/02/phyco2-msu-make-wastewater-reusable-pure-algae-growth/>
170. Gong, G. Enhanced biomass and lipid production by light exposure with mixed culture of *Rhodotorula glutinis* and *Chlorella vulgaris* using acetate as sole carbon source / G. Gong, B. Wu, L. Liu, J. Li, M. He, G. Hu // *Bioresour. Technol.* – 2022. – Vol. 364. – P. 1-8.
171. González-Garcinuño, Á. Effect of nitrogen source on growth and lipid accumulation in *Scenedesmus abundans* and *Chlorella ellipsoidea* / Á. González-Garcinuño, A. Taberner, J.M. Sánchez-Álvarez, E.M.M. del Valle, M.A. Galán // *Bioresour. Technol.* – 2014. – Vol. 173. – P. 334-341.
172. Haq, I. Endocrine-disrupting pollutants in industrial wastewater and their degradation and detoxification approaches / I. Haq, A. Raj // In: Bharagava RN, Chowdhary P (eds) *Emerging and eco-friendly approaches for waste management*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2018. – P. 121-142.
173. Haq, I. Recent advances in removal of lignin from paper industry wastewater and its industrial applications – a review / I. Haq, P. Mazumder, AS. Kalamdhad // *Bioresour. Technol.* – 2020a. – Vol. 312.
174. Hassan, S. Identification and characterization of the novel bioactive compounds from microalgae and cyanobacteria for pharmaceutical and nutraceutical applications / R. Meenatchi, K. Pachillu, S. Bansal, P. Brindangnanam, J. Arockiaraj, G.S. Kiran, J. Selvin // *Journal of Basic Microbiology.* – 2022. – Vol. 62. – P. 999-1029.

175. Hodges, A. Nutrient and suspended solids removal from petrochemical wastewater via microalgal biofilm cultivation / A. Hodges, Z. Fica, J. Wanlass, J. VanDarlin, R. Sims // *Chemosphere*. – 2018. – Vol. 174. – P. 46-48.
176. Ibañez, E. Benefits of using algae as natural sources of functional ingredients / E. Ibañez, A. Cifuentes // *J. Sci. Food Agric.* – 2013. – Vol. 93. – P. 703-709.
177. Jena, J. Microalgae: An Untapped Resource for Natural Antimicrobials / J. Jena, E. Subudhi // In: Sukla L., Subudhi E., Pradhan D. (eds) *The Role of Microalgae in Wastewater Treatment*. Springer, Singapore. – 2019. P. 99-114.
178. Kaparapu, J. Microalgal Immobilization Techniques / J. Kaparapu // *J. Algal Biomass Utiln.* – 2017. – Vol. 8. – P. 64-70.
179. Karels, A. Effects of pulp and paper mill effluents on reproduction, bile conjugates and liver MFO (mixed function oxygenase) activity in fish at Southern Lake Saimaa, Finland / A. Karels, M. Soimasuo, A. Oikari // *Water Science and Technology, Issues 11–12.* – 1999. Vol. 40. – P. 109-114.
180. Khan, S.A. Potential of wastewater treating *Chlorella minutissima* for methane enrichment and CO<sub>2</sub> sequestration of biogas and producing lipids / S.A. Khan, F.A. Malla, Rashmi, [et al.] // *Energy*. – 2018. – Vol. 150. – P. 153-163.
181. Komarek, J. *Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous genera* / J. Komarek // Berlin, Heidelberg: Springer-Spektrum. – 2013. – 1130 p.
182. Kothari, R. Experimental study for growth potential of unicellular alga *Chlorella pyrenoidosa* on dairy waste water: an integrated approach for treatment and biofuel production / R. Kothari, V.V. Pathak, V. Kumar, D.P. Singh // *Bioresour. Technol.* – 2012. – Vol. 116. – P. 466-470.
183. Kothari, R. Production of biodiesel from microalgae *Chlamydomonas polypyrenoides* grown on dairy industry wastewater / R. Kothari, R. Prasad, V. Kumar, D.P. Singh // *Bioresour. Technol.* – 2013. – Vol. 144. P. 499-503.
184. Kumar, A. Recent Advances in Physicochemical and Biological Approaches for Degradation and Detoxification of Industrial Wastewater / A. Kumar, A.K. Singh, R. Chandra // In: Haq I., Kalamdhad A.S. (eds) *Emerging Treatment Technologies for Waste Management*. Springer, Singapore. – 2021. – P. 1-28.



185. Kumar, A.K. Cultivation of *Ascochloris* sp. ADW007-enriched microalga in raw dairy wastewater for enhanced biomass and lipid productivity / A.K. Kumar, S. Sharma, E. Shah [et al.] // *Int. J. Environ. Sci. Technol.* – 2019. – Vol. 16. – P. 943-954.
186. Kumar A. Biodegradation and toxicity reduction of pulp paper mill wastewater by isolated laccase producing *Bacillus cereus* AKRC03 / A. Kumar, R. Chandra // *Cleaner Engineering and Technology.* – 2021. – Vol. 4. – P. 1-10.
187. Kumar, K. Recent developments on biofuels production from microalgae and macroalgae / K. Kumar, S. Ghosh, I. Angelidaki, S.L. Holdt, D.B. Karakashev, MA. Morales, D. Das // *Renew Sust Energ Rev.* – 2016a. – Vol. 65. – P. 235-249.
188. Li, T. Continuous removal of zinc from wastewater and mine dump leachate by a microalgal biofilm PSBR / T. Li, G.Y. Lin, B. Podola, M. Melkonian // *J. Hazard. Mater.* – 2015. – Vol. 297. – P. 112-118.
189. Li, X.L. A novel growth method for diatom algae in aquaculture wastewater for natural food development and nutrient removal / X.L. Li, T.K. Marella, L. Tao, L. Peng, C.F. Song, L. Dai, A. Tiwari, G. Li // *Water Sci. Technol.* – 2017. – Vol. 75. – P. 2777-2783.
190. Liang, Z. Efficiency assessment and pH effect in removing nitrogen and phosphorus by algae-bacteria combined system of *Chlorella vulgaris* and *Bacillus licheniformis* / Z. Liang, Y. Liu, F. Ge [et al.] // *Chemosphere.* – 2013. – Vol. 92. – P. 1383-1389.
191. Lim, Yi An. Analysis of direct and indirect quantification methods of CO<sub>2</sub> fixation via microalgae cultivation in photobioreactors: A critical review / Yi An Lim, Meng Nan Chong, Su Chern Foo, I.M.S.K. Ilankoon // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2021. – Vol. 137. – P. 1-17.
192. Lobakova, E.S. Immobilization of cyanobacteria and microalgae on polyethylenimine-based sorbents / E.S. Lobakova, S.G. Vasilieva, K.A. Shibzukhova, A.S. Morozov, A.E. Solovchenko, A.A. Orlova, I.V. Bessonov, A.A. Lukyanov, M.P. Kirpichnikov // *Microbiology.* – Vol. 86. – 2017. – P. 629–639.

193. Lodi, A. Nitrate and phosphate removal by *Spirulina platensis* / A. Lodi, L. Binaghi, C. Solisio, A. Converti, M. Del Borghi // J. Ind. Microbiol. Biotechnol. – 2003. – Vol. 30. – P. 656-660.
194. Luo, Y. Simultaneous microalgae cultivation and wastewater treatment in submerged membrane photobioreactors: a review / Y. Luo, P. Le-Clech, R.K. Henderson // Algal Res. – 2017. – Vol. 24. – P. 425-437.
195. Maity, J.P. Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and wastewater treatment: present and future perspectives—a mini review / J.P. Maity, J. Bundschuh, C.Y. Chen, P. Bhattacharya // Energy. – 2014. – Vol. 78. – P. 104-113.
196. Mandotra, S. K. Production of High-Quality Biodiesel by *Scenedesmus abundans* / S. K. Mandotra, · A.S. Ahluwalia // Springer Nature Singapore Pte Ltd. The Role of Microalgae in Wastewater Treatment. – 2019. – P. 189-198.
197. Mandotra, S.K. Evaluation of fatty acid profile and biodiesel properties of microalga *Scenedesmus abundans* under the influence of phosphorus, pH and light intensities / S.K. Mandotra, P. Kumar, M.R. Suseela, S. Nayaka, P.W. Ramteke // Bioresour. Technol. – 2016. – Vol. 201. – P. 222-229.
198. Martins, T.H. Ammonium removal from landfill leachate by clinoptilolite adsorption followed by bioregeneration / T.H. Martins, T.S.O. Souza, E. Foresti // J. Environ. Chem. Eng. – 2017. – Vol. 5. – P. 63-68.
199. Mata, TM. Parametric study of a brewery effluent treatment by microalgae *Scenedesmus obliquus* / TM. Mata, AC. Melo, M. Simões, NS. Caetano // Bioresour. Technol. – 2012. – Vol. 107. – P. 151-158.
200. Mehrotra, T. Electrochemical evaluation of bacillus species for rapid biosynthesis of silver nanoparticles: application in domestic wastewater treatment. In: 6th international conference on signal processing and integrated networks (SPIN) / T. Mehrotra, S. Nagabooshanam, R. Singh / IEEE. – 2019a. – P. 456-460.
201. Mehrotra, T. In vitro toxicological evaluation of domestic effluent treated by formulated synthetic autochthonous bacterial consortium / T. Mehrotra, A. Shukla, R. Singh // World J. Microbiol. Biotechnol. – 2019b. – 35(12):184.

202. Melin, T. Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse / T. Melin, B. Jefferson, D. Bixio, C. Thoeye, W. De Wilde, J. De Koning [et al.] // *Desalination*. – 2006. – Vol. 187. – № 1–3. – P. 271-282.
203. Miranda, A.F. Applications of microalgal biofilms for wastewater treatment and bioenergy production / A.F. Miranda, N. Ramkumar, C. Andriotis, T. Höltkemeier, A. Yasmin, S. Rochfort, D. Wlodkowic [et al.] // *Biotechnol. Biofuels*. – 2017. – Vol. 10(1). – P. 115-120.
204. Monica, M.S. de Cano. Inhibition of *Candida albicans* and *Staphylococcus aureus* by phenolic compounds from the terrestrial cyanobacterium *Nostoc muscorum* / Monica, M. Cristina Z. de Mule, Gloria Z. de Caire & Delia R. de Halperin // *Journal of Applied Phycology*. – 1990. – Vol. 2. – P. 79-81.
205. Muthuraman, R.M. Highly effective removal of presence of toxic metal concentrations in the wastewater using microalgae and pre-treatment processing / R.M. Muthuraman, A. Murugappan, B. Soundharajan. Highly // *Appl. Nanosci*. – 2021.
206. Najdenski, H.M. Antibacterial and antifungal activities of selected microalgae and cyanobacteria / H.M Najdenski, L.G. Gigova, I.I. Iliev [et al.] // *Int. J. Food Sci. Technol*. – 2013. – Vol. 48. – P.1533-1540.
207. Narala, R.R. Comparison of microalgae cultivation in Photobioreactor, open raceway pond, and a two-stage hybrid system / R.R. Narala, S. Garg, K.K. Sharma, S.R. Thomas-Hall, M. Deme, Y. Li, P.M. Schenk // *Frontiers in Energy Research*. – 2016. – 4:29.
208. Olsson, J. Codigestion of Cultivated Microalgae and Sewage Sludge from Municipal Wastewater Treatment / J. Olsson, Xin Mei Feng, J. Ascue, F.G. Gentili, M.A. Shabiimam, E. Nehrenheim, E. Thorin // *Bioresource Technology*. – 2014. – Vol. 171. – P. 203–210.
209. Oswald, W. Golueke, C. Harvesting and processing of waste-grown microalgae / W. Oswald, C. Golueke // *Algae, Man and Environment*. – 1968 – P. 371-389.

210. Otto, B. First description of a laccase-like enzyme in soil algae / B. Otto, D. Schlosser, W/ Reisser // Arch. Microbiol. – 2010. – Vol. 192(9). – P. 759-68.
211. Paladino, O. Airlift photo-bioreactors for *Chlorella vulgaris* cultivation in closed-loop zero waste biorefineries / O. Paladino, M. Nevian // Biomass and Bioenergy. – 2021. – 105926. – P. 1-12.
212. Pavlik, D. Flashing light effects on CO<sub>2</sub> absorption by microalgae grown on a biofilm photobioreactor / D. Pavlik, Y. Zhong, C. Daiek, W. Liao, R. Morgan, W. Clary, Y. Liu // Algal. Res. – 2017. – Vol. 25. – P.413-420.
213. Popowich, A. Removal of nanoparticles by coagulation / A. Popowich, Q. Zhang, X.C. Le // Journal of Environmental Sciences. – 2015. – Vol. 38. – P. 168-171.
214. Pradhan, D. Microalgae for carbon sequestration vis-à-vis bio-fuels production / D. Pradhan, S. Singh, L.B. Sukla // Inglo Mayor. – 2017a. – Vol.13. –P. 56-67.
215. Pradhan, D. Microalgae for future biotechnology industries / D. Pradhan, LB. Sukla, R. Acevedo // Inglo Mayor. – 2017b. – Vol. 13. – P. 40-55.
216. Pradhan, D. Recent bioreduction of hexavalent chromium in wastewater treatment: a review / D. Pradhan, L.B. Sukla, M. Sawyer, P.K.S.M. Rahman // J Ind Eng Chem. – 2017. – Vol. 55. – P. 1-20.
217. Puay, N.Q. Effect of Zinc oxide nanoparticles on biological wastewater treatment in a sequencing batch reactor / N.-Q. Puay // Journal of Cleaner Production. – 2015. – P. 139–145.
218. Qu, X. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment / X. Qu, P.J.J. Alvarez, Q. Li // Water Research. – 2013. – Vol. 47. Issue 12. – P. 3931–3946.
219. Rajalakshmi, M. Small scale photo bioreactor treatment of tannery wastewater, heavy metal biosorption and CO<sub>2</sub> sequestration using microalga *Chlorella sp.*: a biodegradation approach / M. Rajalakshmi, T. Silambarasan, R. Dhandapani. // Applied Water Science. – 2021. – Vol. 11:108.
220. Ravichandran, A. Phyto-mediated synthesis of silver nanoparticles using fucoidan isolated from *Spatoglossum asperum* and assessment of antibacterial activities / A. Ravichandran, P. Subramanian, V. Manoharan, T. Muthu, R. Periyannan, M.

- Thangapandi, K. Ponnuchamy, B. Pandi, P.N. Marimuthu // J. Photochem. Photobio. – 2018. – Vol. 185. – P. 117-125.
221. Renuka, N. Evaluation of microalgal consortia for treatment of primary treated sewage effluent and biomass production / N. Renuka, A. Sood, S.K. Ratha, R. Prasanna, A.S. Ahluwalia // J. Appl. Phycol. – 2013. – Vol. 25. – P. 1529-1537.
222. Roudsari, F.P. Effect of Microalgae /Activated Sludge Ratio on Cooperative Treatment of Anaerobic Effluent of Municipal Wastewater / F.P. Roudsari, M.R. Mehrnia, A. Asadim, [et al.] // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2014. – Vol. 172. – P. 131-140.
223. Sahu, A. Arsenite S-Adenosylmethionine Producing *Spirulina platensis*: A New Trump Card on the Face of Global Arsenic Poisoning / A. Sahu, A. Pattanayak, R.K. Sahoo, M. Gaur, K. Sahoo, E. Subudhi // The Role of Microalgae in Wastewater Treatment. Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2019. – P. 29-55.
224. Sahoo, · K. Algal-Bacterial System: A Novel Low-Cost Biotechnological Initiative in Wastewater Treatment / K. Sahoo, · R. K. Sahoo, M. Gaur, · E. Subudhi. // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2019. P. – 115.
225. Sarker, N.K. Indoor and outdoor cultivation of *Chlorella vulgaris* and its application in wastewater treatment in a tropical city / N.K. Sarker, P.A. Salam, // SN Appl. Sci. 1645. – 2019.
226. Schmidt, C. Retention of high thermal tolerance in the invasive foraminifera *Amphistegina lobifera* from the Eastern Mediterranean and the Gulf of Aqaba / C. Schmidt, R. Morard, M. Prazeres, H. Barak, M. Kucera // Marine Biology. – 2016. – 163(11), 163:228.
227. Selvan, S.T. Exploration of green integrated approach for effluent treatment through mass culture and biofuel production from unicellular alga, *Acutodesmus obliquus* RDS01 / S.T. Selvan, B. Govindasamy, S. Muthusamy, D. Ramamurthy // Int. J. Phytoremediation. – 2019. – Vol. 21(13). – P. 1305-1322.
228. Shamsutdinova Z.R., Khafizov I. I. Analysis of the aerotanks efficiency in wastewater treatment system / Z.R. Shamsutdinova, I.I. Khafizov // Vestnik VSUET [Proceedings of VSUET]. – 2016, №. 4. – P. 245-249. (in Russian).

229. Sharma, P. Highly efficient phytoremediation potential of metal and metalloids from the pulp paper industry waste employing *Eclipta alba* (L) and *Alternanthera philoxeroides* (L): biosorption and pollution reduction / P. Sharma, S. Tripathi, R. Chandra // *Bioresour. Technol.* – 2020c. – Vol. 319:124147.
230. Sharma, P. In-situ toxicity assessment of pulp and paper industry wastewater on *Trigonella foenum-graecum* L: potential source of cytotoxicity and chromosomal damage / P. Sharma, S. Tripathi, N. Vadakedath, R. Chandra // *Environ. Technol. Innovation.* – 2020a. – Vol. 21:101251.
231. Sharma, P. Newly isolated *Bacillus* sp. PS-6 assisted phytoremediation of heavy metals using *Phragmites communis*: potential application in wastewater treatment P. Sharma, S. Tripathi S, P. Chaturvedi, D. Chaurasia, R. Chandra // *Bioresour. Technol.* – 2020b. – Vol. 320:124353.
232. Sharma, P. Phytoremediation potential of heavy metal accumulator plants for waste management in the pulp and paper industry / P. Sharma, S. Tripathi, R. Chandra // *Heliyon.* – 2020d. – Vol. 6(7):e04559.
233. Sharma, P. Pollutants Characterization and Toxicity Assessment of Pulp and Paper Industry Sludge for Safe Environmental Disposal. In: Haq I., Kalamdhad A.S. (eds) / P. Sharma, S.P. Singh // *Emerging Treatment Technologies for Waste Management.* Springer, Singapore. – 2021. – P. 207-223.
234. Shi, J. Application of a prototype-scale twin-layer photobioreactor for effective N and P removal from different process stages of municipal wastewater by immobilized microalgae / J. Shi, B. Podola, M. Melkonian // *Bioresour. Technol.* – 2014. – Vol. 154. – P. 260-266.
235. Siddiqi, K.S. Fabrication of metal and metal oxide nanoparticles by algae and their toxic effects / K.S. Siddiqi, A. Husen // *Nanoscale Res. Lett.* – 2016. – Vol. 11:363.
236. Singh, A.K. Bioremediation of Municipal Wastewater and Biodiesel Production by Cultivation of *Parachlorella kessleri*-I /A.K. Singh, H. Farooqi, M.Z. Abdin, S. Kumar // *The Role of Microalgae in Wastewater Treatment.* Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2019. – P. 15-28.

237. Singh, A.K. Phycoremediation of municipal wastewater by microalgae to produce biofuel / A.K. Singh, N. Sharma, H. Farooqi, M.Z. Abdin, T. Mock, S. Kumar // *Internat. J. Phytoremed.* – 2017. – P. 805-812.
238. Singh, A.K. Pollutants released from the pulp paper industry: aquatic toxicity and their health hazards / A.K. Singh, R. Chandra // *Aquat. Toxicol.* – 2019. – Vol. 1 211. – P. 202-216.
239. Singh, S. Microalgae: Gizmo to Heavy Metals Removal / S. Singh. // Springer Nature Singapore Pte Ltd. *The Role of Microalgae in Wastewater Treatment.* – 2019. – P. 221-228.
240. Sinha, S. Integration of Nanotechnologies for Sustainable Remediation of Environmental Pollutants. In: Haq I., Kalamdhad A.S. (eds) / S. Sinha, T. Mehrotra, P. Chugh, R. Singh // *Emerging Treatment Technologies for Waste Management.* Springer, Singapore. – 2021. – P. 53-71.
241. Sinha, S. Self-sustainable *Chlorella pyrenoidosa* strain NCIM 2738 based photobioreactor for removal of direct Red-31 dye along with other industrial pollutants to improve the water-quality / S. Sinha, R. Singh, A.K. Chaurasia, S. Nigam // *J. Hazard. Mater.* – 2016. – Vol. 306. – P. 386-394.
242. Sivasubramanian, V. Phycoremediation and business prospects / V. Sivasubramanian // In: Prasad MNV (ed) *Bioremediation and bioeconomy.* Elsevier Inc. – 2016. – P. 421-456.
243. Sivasubramanian, V. Phycoremediation: Can It Address Major Issues in Conventional Systems? / V. Sivasubramanian // Springer Nature Singapore *The Role of Microalgae in Wastewater Treatment.* Pte Ltd. – 2019. – P. 267-274.
244. Sousa, J.C.G. A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines / J.C.G. Sousa, A.R. Ribeiro, M.O. Barbosa [et al.] // *J. Hazard Mater.* – 2018. – Vol. 344. – P. 146-162.
245. Souza, M.M. Assesment of the antifungal activity of *Spirulina platensis* phenolic extract against *Aspergillus flavus* / M.M. Souza, L. Prieto, A.C. Ribeiro, T.D. Souza, E. Badiale-Furlong // *Ciência e Agrotecnologia*, 35. – 2011. – P. 1050-1058.

246. Su, Y. Coupled nutrient removal and biomass production with mixed algal culture: impact of biotic and abiotic factors / Y. Su, A. Mennerich, B. Urban // *Bioresour. Technol.* – 2012. – Vol. 118. – P. 469-476.
247. Sukla, L.B. Future Prospects of Microalgae in Wastewater Treatment / L.B. Sukla, D. Pradhan, T. Subbaiah. // *The Role of Microalgae in Wastewater Treatment*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2019.
248. Tiron, O. Microalgae bacteria system for biological Wastewater treatment / O. Tiron, C. Bumbac, C. Postolache // *J. Environ. Prot. Ecol.* – 2014. – Vol. 15. – P. 268-276.
249. Tsiptsias, C. Enhancement of the performance of a combined microalgae-activated sludge system for the treatment of high strength molasses wastewater / C. Tsiptsias, G. Lionta, A. Deligiannis, P. Samaras // *J. Environ. Manag.* – 2016. – Vol. 183. – P. 126-132.
250. Vasilieva S. Bio-inspired materials for nutrient biocapture from wastewater: Microalgal cells immobilized on chitosan-based carriers / S. Vasilieva, E. Lobakova, T. Grigoriev, I. Selyakh, L. Semenova, O. Chivkunova, P. Gotovtsev, C. Antipova, Y. Zagoskin, P. Scherbakov, A. Lukyanov, K. Lukanina, A. Solovchenko / *Journal of Water Process Engineering.* – 2021. – Vol. 40. – P. 1-11.
251. Wang, M. Zeolite-amended microalgal-bacterial system in a membrane photobioreactor for promoting system stability, biomass production, and wastewater treatment efficiency to realize Environmental-Enhancing Energy paradigm / M. Wang, L. Schideman, H. Lu, Y. Zhang, B. Li, W. Cao // *Journal of Applied Phycology.* – 2019. – Vol. 31. – P. 335-344.
252. Wang, Q. Technologies for reducing sludge production in wastewater treatment plants: State of the art / Q. Wang, W. Wei, Y. Gong, Q. Yu, Q. Li, J. Sun [et al.] // *Science of The Total Environment.* – 2017. – Vol. 587–588. – P. 510-521.
253. Wang, S. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment / S. Wang, Y. Peng // *Chem. Eng. J.* – 2010. – Vol. 156. – P. 11–24.



254. Wang, Y. Cultivation of *Chlorella vulgaris* JSC-6 with swine wastewater for simultaneous nutrient/COD removal and carbohydrate production / Y. Wang, W. Guo, H-W. Yen [et al.] // *Biores. Technol.* – 2015. – Vol. 198. – P. 619–625.
255. Westerhoff, P.K. Nanomaterial removal and transformation during biological wastewater treatment / P.K. Westerhoff, M.A. Kiser, K. Hristovski // *Environmental Engineering Science.* – 2013. – P. 109-117.
256. Wollmann, F. Microalgae wastewater treatment: biological and technological approaches / F. Wollmann, S. Dietze, J.U. Ackermann, T. Bley, T. Walther, J. Steingroewer, F. Krujatz // *Eng. Life Sci.* – 2019. – Vol. 19 (12). – P. 860–871.
257. Wu, Y. Isolation, Identification and Characterization of an Electrogenic Microalgae Strain / Y. Wu, K. Guan, Z. Wang, B. Xu, F. Zhao // *PLoS ONE.* – 2013. – Vol. 8: e73442.
258. Wu, G. Functional amino acids in nutrition and health / G. Wu // *Amino Acids.* – 2013. – Vol. 45. – P. 407-411.
259. Wu, Y.H. Microalgal species for sustainable biomass/lipid production using wastewater as resource: a review / Y.H. Wu, H.Y. Hu, Y. Yu, T.Y. Zhang, S.F. Zhu [et al.] // *Renew. Sust. Energ. Rev.* – 2014. – Vol. 33. – P. 675–688.
260. Wastewater, The Untapped Resource. The United Nations World Water Development Report [Text]. - Paris: UNESCO World Water Assessment Programme, 2017. - 182 p. - URL: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153\\_eng](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153_eng)
261. Xixi, C. Identification of nitrogen-incorporating bacteria in a sequencing batch reactor: A combining cultivation-dependent and cultivation-independent method / C. Xixi, W. Ping, Y. Yong, T. Jiahuan, Y. Zhen, Z. Shungui // *Bioresource Technology.* – 2020. – Vol. 316. – P. 1-7.
262. Yadav, K.K. A review of nano bioremediation technologies for environmental clean-up: a novel biological approach / K.K. Yadav, J.K. Singh, N. Gupta, V. Kumar // *JMES.* – 2017. – Vol. 8(2). – P. 740–757.
263. Yadavalli, R. Dairy effluent treatment and lipids production by *Chlorella pyrenoidosa* and *Euglena gracilis*: Study on open and closed systems / R. Yadavalli,

C.S. Rao, R.S. Rao, R. Potumarthi // *Asia-Pacifc. J. Chem. Eng.* – 2014. – Vol. 9. – P. 368–373.

264. Yang, J.S. Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341 / J.S. Yang, J. Cao, G.L. Xing, H.L. Yuan // *Bioresour. Technol.* – 2015. – Vol. 175. – P. 537–544.

265. Zabed, H.M. Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production / H.M. Zabed, S. Akter, J. Yun, G. Zhang, F.N. Awad, X. Qi, J.N. Sahu // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2019. – Vol. 105. – P. 105–128.

266. Zhang, L. Cultivation of microalgae using anaerobically digested effluent from kitchen waste as a nutrient source for biodiesel production / L. Zhang, J. Cheng, H. Peia, J. Pan, L. Jiang, Q. Hou, F. Han // *Renewable Energy.* – 2018. – Vol. 115. – P. 276–287.

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2703499

**Штамм микроводорослей *Chlorella vulgaris* Beijer. f. *globosa* V. Andr. для очистки природных водоемов и сточных вод промышленных предприятий**

Патентообладатели: *Щемелинина Татьяна Николаевна (RU), Анчугова Елена Михайловна (RU), Гогонин Александр Владимирович (RU), Тарабукин Дмитрий Валерьянович (RU), Шапенков Данила Михайлович (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2018120704

Приоритет изобретения 05 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 17 октября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 05 июня 2038 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ившин







Акционерное общество  
«Монди Сыктывкарский ЛПК»  
(АО «Монди СЛПК»)  
167026, Республика Коми,  
г. Сыктывкар, пр. Бумажников, 2  
тел.: +7(8212) 69-95-55  
факс: +7(8212) 62-02-82  
[www.mondigroup.com](http://www.mondigroup.com)  
e-mail: [MondiSyktyvkar.Service@mondigroup.com](mailto:MondiSyktyvkar.Service@mondigroup.com)

**СПРАВКА**  
**о внедрении результатов диссертационного**  
**исследования Гогонина Александр Владимирович**  
**«Консорциум микроводорослей для очистки сточных вод**  
**лесопромышленного комплекса»**

Результаты диссертационного исследования А.В. Гогонина были апробированы в рамках проведения опытных выработок в цехе биологической очистки сточных вод АО «Монди СЛПК»:

1. В период с 3 по 10 марта 2014 г. осуществлялось проведение опытной выработки по увеличению эффективности очистки фенолов в ЦБОСВ с добавлением штамма микроводорослей *Acutodesmus obliquus*. Подача штамма микроводорослей *Acutodesmus obliquus* осуществлялась в преаэрактор II ступени. Расход микроводорослей составил 19 л/сутки. Титр клеток  $10^5$ - $10^6$  кл. Отбор проб и анализ осуществлялся специалистами отдела охраны окружающей среды. В период проведения выработки, эффективность очистки по фенолам в среднем, составила 85,9% (max 92,4%). После окончания выработки, эффективность составила 72,9%, при этом были зафиксированы минимальные концентрации фенолов в поступающих сточных водах.

2. В период с 19 мая по 26 мая 2017 г. осуществлялось проведение опытной выработки по увеличению эффективности очистки  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Al, фенолов в ЦБОСВ с добавлением консорциума микроводорослей (*Acutodesmus obliquus*, *Coelastrum proboscideum*, *Chlorella globosa*) Расход микроводорослей составил 100 л/сутки. Титр клеток  $10^5$ - $10^6$  кл. Отбор проб осуществлялся аспирантом А.В. Гогониным. Анализ проб проводился на базе экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. После введения микроводорослей в сточной воде азотенков наблюдалось снижение содержания алюминия (19-33%), железа (3-17%). Снижение фенола происходило в первые сутки (8-25%), на 7 сутки происходило снижение нитратного азота (24-38%) и фосфат-ионов (17%).

Главный эколог  
АО «Монди СЛПК»

Д.А. Каравеев

10.03.2022

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ГАУДО РК «РЦДО»

  
Арабова Н.В.«10» марта 2022 г.  
**СПРАВКА**

**о внедрении в учебном процессе диссертационного  
исследования Гогонина Александр Владимирович  
«Консорциум микроводорослей для очистки сточных вод  
лесопромышленного комплекса»**

Результаты диссертационной работы А.В. Гогонина внедрены в рабочую программу обучения школьников «Биология с основами биотехнологии» ГАУ ДО Республиканский центр дополнительного образования, Технопарк «Кванториум».

Руководитель технопарка Кванториум

  
Ребров Ю.Ю.

«\_\_» марта 2022 г.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в рецензируемых журналах, индексируемых Web of Science, Scopus и ВАК*

**Гогонин А. В.** Оценка использования сточной воды в качестве питательной среды для накопления биомассы микроводорослей / **А. В. Гогонин**, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Анчугова // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – С. 68-74. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-109-115 (**Web of Science, Scopus Q3, ВАК**)

**Гогонин А.В.** Применение микроводорослей в очистке сточных вод, содержащих отходы целлюлозно-бумажного производства и коммунальные стоки / **А.В. Гогонин**, Т.Н. Щемелинина, И.В. Новаковская, Е.Н. Патова, Е.М. Анчугова, В.А. Лукьянов, Т.Н. Гаева, В.В. Володин // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2021. – Т. 17(4). – С. 24–33 (**ВАК**).

Shchemelinina T.N. Why mineral carriers are needed for microalgae / T.N. Shchemelinina, E.M. Anchugova, O.B. Kotova, S. SUN, D.A. Shushkov, **A.V. Gogonin**, N.V. Likhanova, O.M. Zueva, Yu.S. Korchagina // Vestnik of Geosciences. – 2020. – No. 2. – P. 25–29 (**ВАК**).

### *Патенты*

**Патент РФ 2703499**, (51) МПК C12N 1/12, C02F 3/34, C12R 1/89, (52) СПК C12N 1/12, C02F 3/34, C12R 1/89. Штамм MB *Chlorella vulgaris* Beijer. f. *globosa* V. Andr. для очистки природных водоемов и сточных вод промышленных предприятий [Текст] / Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М., **Гогонин А.В.**, Тарабукин Д.В., Шапенков Д.М. ; заявитель и патентообладатель Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М., Гогонин А.В., Тарабукин Д.В., Шапенков Д.М. – № 2018120704 ; опубл. 17.10.2019. Бюл. № 29. – 9 с.

### *Другие публикации*

**Гогонин А.В.**, Щемелинина Т.Н., Лукьянов В.А. Очистка сточных вод лесопромышленного комплекса микроводорослями *Chlorella vulgaris* // В сборнике: Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XV

Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Киров. – 2020. – С. 87–90.

**Гогонин А.В.**, Анчугова Е.М. Влияние консорциума микроводорослей на изменение содержания общего азота, алюминия и железа в сточной воде аэротенков // Материалы докладов XXVI Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), посвященной 75-летию А.И. Таскаева «Актуальные проблемы биологии и экологии». – Сыктывкар. – 2019. – С. 148–151.

**Гогонин А.В.**, Щемелинина Т.Н. Сравнительная оценка экологобиотехнологических свойств микроводорослей *Chlorella vulgaris*, выращенных на разных питательных средах // Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». – Киров. – 2019. – С. 271–275.

**Гогонин А.В.**, Новаковская И.В. Создание консорциума микроводорослей с оптимальным составом и титром клеток // Материалы докладов III Всероссийской (XVIII) молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Молодежь и наука на Севере». – Сыктывкар. – 2018. – С. 80–81.

**Гогонин А.В.**, Щемелинина Т.Н., Володин В.В. Сравнительная оценка эффективности очистки сточных вод при внесении монокультур и консорциумов микроводорослей // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». – Киров. – 2018. – С. 200–203.

**Гогонин А.В.**, Новаковская И.В. Использование микроводорослей для очистки сточных вод // Материалы докладов: XXIV Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы), посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Актуальные проблемы биологии и экологии». – Сыктывкар. – 2017. – С. 171–174.

**Гогонин А.В.**, Щемелинина Т.Н., Володин В.В., Патова Е.Н., Новаковская И.В. Использование микроводорослей в процессе очистки сточных вод

целлюлозно-бумажного предприятия // Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». – Киров. – 2017. – С. 13–16.

**Гогонин А.В., Щемелинина Т.Н., Патова Е.Н., Новаковская И.В.** Микроводоросли в очистке сточных вод // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». – Киров. – 2016. – С. 379–381.