

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата биологических наук, доцента Мальцева Евгения Ивановича на диссертацию Гогонина Александра Владимировича «Консорциум микроводорослей для очистки сточных вод лесопромышленного комплекса», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология

Развитие промышленности, сельского хозяйства и транспортной отрасли зачастую сопряжено с попаданием загрязняющих веществ в окружающую среду. Одними из самых распространенных загрязнителей природных экосистем являются тяжелые металлы, соединения фенолов, аммонийный, нитритный, питратный азот и другие поллютанты. В тоже время одной из важных характеристик всех видов производств должна быть экологическая безопасность. Среди ключевых экологических проблем Республики Коми выделяется образование сточных вод промышленными предприятиями лесопромышленного комплекса, содержащих высокие количества биогенных элементов и органических веществ. Попадание таких вод в природные водные экосистемы сопряжено с их эвтрофикацией, снижением доступности кислорода и в результате может приводить к гибели живых организмов.

Большие перспективы в доочистке сточных вод, как свидетельствует анализ современных научных направлений, связывают с биотехнологией микроводорослей. Эти организмы имеют высокую скорость роста и способны синтезировать большое разнообразие ценных соединений, преобразуя широкий спектр загрязняющих веществ из сточных вод. Кроме того, микроводоросли играют важную роль в аккумулировании избытков углекислого газа из воздуха, производят ряд полезных побочных продуктов, которые могут быть использованы как кормовые добавки в рыбных хозяйствах и на животноводческих фермах, а также быть ценным сырьем для производства биотоплива 3-го поколения. В связи с этим тема диссертационного исследования Гогонина А.В. «**Консорциум микроводорослей для очистки сточных вод лесопромышленного комплекса**» соответствует перспективным направлениям развития науки Российской Федерации и согласуется с актуальными прикладными разработкам в этой области.

Актуальность работы подтверждается необходимостью поиска механизмов доочистки воды от загрязняющих веществ в целом и сточных вод лесопромышленных комплексов и целлюлозно-бумажных комбинатов, в частности.

Степень обоснованности научных положений, выводов.

Научные положения и выводы, изложенные в диссертационной работе, являются результатом целенаправленных научных исследований, выполненных Гогониным А.В. для достижения обозначенной цели и решения поставленных задач. Достоверность полученных прикладных разработок определяется использованием соответствующих методов исследования, значительным объемом работ и статистической обработкой результатов.

Представленные материалы характеризуются надлежащим уровнем оформления и обоснования результатов, основанных на значительном экспериментальном материале и большом количестве литературных данных.

Анализируя полученные результаты, представленные в диссертации, необходимо определить следующее.

В главе 1 «**Аналитический обзор литературы**» представлена информация о специфике загрязнения воды промышленными предприятиями, в том числе – целлюлозно-

бумажной промышленности. Также охарактеризованы существующие подходы к очистке сточных вод: механические, физико-химические, химические и биологические методы. Значительное внимание уделено существующему практическому опыту использования биомассы микроводорослей для доочистки сточных вод различного происхождения. При этом в обзоре литературы автор делает акцент на возможности дальнейшего использования в хозяйстве полученной биомассы микроводорослей после очистки загрязненной воды. Бесспорно, использование такого подхода будет экономически более рентабельным по сравнению с выращиванием водорослей на питательных средах. Дальнейшее использование полученной биомассы в сельском хозяйстве или для производства биотоплива будет соответствовать Стратегии научно-технологического развития РФ в контексте перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, и экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, а также одному из Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ, а именно созданию технологий мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения.

Глава 2 **«Методы и объекты»** раскрывает объем выполненной автором работы, включая ряд лабораторных и опытно-промышленных исследований. Их описание и методика проведения представлены достаточно исчерпывающе, логика построения материала понятная. Научно-методический уровень диссертационной работы не вызывает сомнений. Все использованные методики подобраны адекватно поставленным задачам. Исследования проводились общепринятыми альгологическими, химическими и биохимическими методами. Полученные результаты были проанализированы статистическими методами на достаточном уровне значимости.

В главе 3 **«Оценка и подбор наиболее эффективных микроводорослей для снижения содержания основных загрязняющих веществ в сточных водах»** проанализирована результативность использования монокультур микроводорослей для снижения содержания общего азота, фосфора, железа, алюминия, фенольных соединений в сточной воде из аэротенков станции биологической очистки лесопромышленного комплекса. Автором установлена эффективность использования культуры эустигматофитовой водоросли *Eustigmatos magnus* для снижения концентраций общего фосфора, алюминия и железа; культур зеленых водорослей для снижения концентрации общего азота (*Chlorella vulgaris*) и фенолов (*Coelastrum proboscideum*) в загрязненной воде.

В главе 4 **«Сравнительный анализ эффективности очистки сточной воды от основных загрязняющих веществ с помощью монокультур микроводорослей и их консорциумов»** представлены результаты проведенных экспериментов по снижению концентраций железа, алюминия, общего азота, аммонийного азота, нитритного азота, нитратного азота, общей серы, фенола и его производных в сточной воде аэротенков ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» посредством добавления монокультур и консорциумов микроводорослей. Для снижения концентрации поллутантов обоснована эффективность инокуляции сточных вод консорциумом из *Coelastrum proboscideum* и *Eustigmatos magnus*, выращенного на среде Люка. Также автором показано, что наиболее действенным является использование данного консорциума с концентрацией 10^4 клеток/мл по сравнению с большими концентрациями.

В главе 5 **«Оценка использования сточной воды в качестве питательной среды и для накопления биомассы»** соискателем предложено использовать сточные воды вторичных отстойников ЦБОСВ АО «Монди СЛПК» в качестве питательной среды для

культивирования микроводорослей. Данный подход позволяет получать биомассу микроводорослей, обогащенную аминокислотами, фосфатами, серой, кальцием, магнием, калием, натрием и медью с одновременным уменьшением концентраций аммонийного азота, нитритного азота и фенола в сточных водах. Также Гогонин А.В. установил, что нефилтрованную сточную воду аэротенков лесопромышленных предприятий не целесообразно использовать для выращивания проанализированных штаммов зеленых и эустигматофитовых микроводорослей ввиду отсутствия положительной динамики накопления биомассы.

В главе 6 «**Биотехнологические свойства монокультуры и консорциума микроводорослей в опытно-промышленных испытаниях в сточной воде аэротенков ЦБОСВ АО «МОНДИ СЛПК»**» представлены прикладные результаты использования культуры зеленой микроводоросли *Acutodesmus obliquus* и созданного консорциума (на основе штаммов *Acutodesmus obliquus*, *Coelastrum proboscideum*, *Chlorella vulgaris*) для увеличения эффективности доочистки воды в аэротенках ЦБОСВ АО «Монди СЛПК». Диссертантом установлено, что применение монокультуры *Acutodesmus obliquus* целесообразно для очистки сточных вод от соединений фенола. В тоже время добавление консорциума микроводорослей в загрязненные воды способствует очистке от комплекса поллютантов (алюминия, железа, фенола, нитратного азота и фосфатов).

В главе 7 «**Иммобилизация микроводорослей на цеолиты и очистка от фенолов**» освещены важные данные, иллюстрирующие практичность использования иммобилизованных форм микроводорослей для очистки сточных вод. Автором обоснована эффективность биогеосорбента, созданного распылением монокультуры *Chlorella vulgaris* на минеральный носитель (анальцимсодержащую породу), для снижения концентрации соединений фенола по сравнению с отдельным применением только биомассы микроводорослей или анальцимсодержащей породы.

Научная новизна исследования и полученных результатов.

Диссертационная работа характеризуется значительной научной новизной, подтверждающей эффективность использования биомассы монокультур и консорциумов зеленых и эустигматофитовых микроводорослей для очистки сточной воды лесопромышленного комплекса от загрязняющих веществ, в первую очередь железа, алюминия, фенолов, аммоний-иона, нитрат-иона, нитрит-иона, общего фосфора и азота. Гогонин А.В. экспериментально обосновал возможность использования сточной воды вторичных отстойников лесопромышленного комплекса в качестве питательной среды для выращивания микроводорослей, что с одной стороны способствует получению биотехнологически ценной биомассы, а с другой – доочистке сточной воды от загрязняющих веществ. Оригинальность полученных результатов подтверждена патентом РФ на изобретение № 2703499.

Значимость полученных результатов для практики.

Практическое значение полученных результатов заключается в возможности их применения для решения научных и практических задач связанных с использованием микроводорослей в биотехнологии. Гогонин А.В. обосновал эффективность нескольких консорциумов, состоящих из штаммов зеленых и эустигматофитовых микроводорослей, для очистки сточной воды предприятий лесопромышленного комплекса от биогенных и органических загрязнителей: фенола, фосфатов, общего азота, аммонийного, нитритного, нитратного азота, металлов. Заслуживает особого внимания то, что разработанные технологии доочистки сточной воды лесопромышленного комплекса с помощью

монокультур микроводорослей и культивирования микроводорослей на сточной воде уже используются в цехах биологической очистки сточной воды АО «Монди Ськтывкарский ЛПК».

В целом диссертационная работа выполнена на достаточном теоретическом и практическом уровне, содержит объемный экспериментальный материал, оставляет хорошее впечатление и заслуживает положительной оценки. Вместе с тем, следует выделить некоторые вопросы и замечания, требующие дополнительного объяснения или дискуссии.

1. К сожалению, в тексте диссертации присутствуют орфографические ошибки, опечатки и неточности. В первую очередь это названия таксономических рангов водорослей (например, Orophyta вместо Ochrophyta в главе 2); отсутствие выделения курсивом названий видов водорослей (например, в Оглавлении); пропущенное слово «отстойников» в названии пункта 5.2; отсутствие ссылок на заимствованные рисунки (например, 1.2, 1.3, 1.4); отсутствие расшифровки сокращений в таблицах (например, «орг. зап.», «с.-т.», «орг. привк.» и т.д. в Таблице 1.3); отсутствие единого алгоритма использования единиц измерения (например, литр и дм³).

2. Поскольку одним из объектов исследования являются микроводоросли, следовательно в представленных результатах диссертационной работы было необходимо использовать актуальные названия таксонов, например *Vischeria magna* вместо *Eustigmatos magnus*, *Tetradismus obliquus* вместо *Acutodesmus obliquus*.

3. В тексте диссертации отсутствует единый подход к упоминанию номеров штаммов микроводорослей. Так в положениях, выносимых на защиту, штамм *Eustigmatos magnus* имеет номер ВКПМ А1-25, в тоже время в разделах диссертации он упоминается как SYKOA E-001-09. Аналогичная ситуация и с другими штаммами: *Chlorella vulgaris* (IPPAS C-2024 и SYKOA Ch-011-10), *Coelastrum proboscideum* (IPPAS C-2055 и SYKOA Ch-033-14), *Acutodesmus obliquus* (IPPAS S-2016 и SYKOA Ch-055-12).

4. В эксперименте по снижению содержания фенольных соединений в сточных водах автором обнаружено увеличение концентрации фенолов примерно на 20 мкг/л в варианте с культурой *Chlorella vulgaris*. Способны ли микроводоросли синтезировать фенол в таких количествах? Какой может быть продуктивность синтеза микроводорослями данных соединений на единицу объема или сухой массы культуры?

5. Проводилась ли оценка выживаемости микроводорослей в конце экспериментов по доочистке сточных вод? Менялась ли выживаемость культур в консорциумах?

6. Возможно, для более объективной оценки возможности использования сточных вод для культивирования микроводорослей также было необходимо проанализировать биохимические параметры в их биомассе после выращивания на одной из используемых питательных сред (Тамия или Люка).

7. С чем может быть связано увеличение содержания фенолов в 1–4 чашках аэротенков на 7 сутки эксперимента во время опытно-промышленных испытаний при одновременном уменьшении концентраций данных соединений в чашках 5–8?

8. Могут ли отличия в эффективности микроводорослей по доочистке сточных вод быть связанными с их таксономическим положением или это особенности конкретных штаммов, обусловленные их происхождением, временем пребывания в культуре и т.д.?

Указанные замечания не носят принципиальный характер и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

Заключение о диссертационной работе.

Диссертация является завершённым научным трудом, результаты которого достаточно апробированы на Всероссийских научных конференциях с международным участием. Сформулированные и обоснованные положения дают право квалифицировать диссертационную работу как теоретическое и практическое решение проблемы использования некоторых видов микроводорослей для очистки сточных вод лесопромышленного комплекса.

По материалам диссертации опубликовано двенадцать научных работ, из которых один патент и три статьи в профильных изданиях, включенных в перечень ВАК. Одна статья опубликована в издании третьего квартала согласно базе данных Scopus. Публикации полностью отражают результаты исследований.

По содержанию, объёму и оформлению диссертация Гогопина А.В. «Консорциум микроводорослей для очистки сточных вод лесопромышленного комплекса» полностью соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (с изменениями, опубликованными в Постановлениях Правительства Российской Федерации от 30.07.2014 № 723, от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 № 1168, от 20.03.2021 № 426, от 11.09.2021 № 1539), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата биологических наук, а ее автор, Гогопин Александр Владимирович, достоин присуждения искомой ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология.

Официальный оппонент:

Кандидат биологических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник лаборатории
молекулярной систематики водных
растений Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
физиологии растений им. К.А. Тимирязева
Российской академии наук

Мальцев Евгений Иванович

Адрес: 127276, Москва, Ботаническая, 35

+7 (499) 678-54-00, <https://ippras.ru/>



Мальцева & Ч.
Мальцев
М. А. Божикова
ст. оф. доц. З.