



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(КарНЦ РАН)

ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, 185910
тел. (8142) 76-97-10, 76-60-40, факс 76-96-00 E-mail: krcras@krc.karelia.ru
ОКПО 02700018, ОГРН 1021000531133 ИНН/КПП 1001041594/100101001

УТВЕРЖДАЮ

И. о. Генерального директора
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федеральный исследовательский
центр «Карельский научный центр Российской
академии наук»

член-корреспондент РАН,
доктор биологических наук

 О.Н. Бахмет
2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»
на диссертацию Щеглова Глеба Андреевича
«Разработка технологии очистки сточных вод горнодобывающих предприятий от
неорганических соединений азота в условиях северных широт России»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 1.5.15. Экология (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа Щеглова Г.А. посвящена решению актуальной экологической проблемы – загрязнению водных объектов соединениями неорганического азота в результате деятельности горнодобывающих предприятий. Тематика работы находится в русле приоритетных направлений государственной политики в Арктической зоне, обозначенных в Указах Президента РФ (№ 164 от

05.03.2020 г., № 645 от 26.10.2020 г.) и Стратегии экологической безопасности, и непосредственно связана с реализацией федерального проекта «Вода России».

В работе рассмотрена реальная экологическая ситуация загрязнения озерно-речной системы реки Кенти (Республика Карелия) техногенными водами АО «Карельский окатыш».

Детальный анализ диссертационного исследования

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (135 наименований) и четырех приложений. Работа изложена на 142 страницах, хорошо иллюстрирована.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, обоснована научная новизна и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту. Необходимо отметить, что во введении ссылки на источники информации полностью отсутствуют.

В первой главе представлено описание гидролого-гидрохимических условий исследуемого района, описание микроводоросли *Chlorella*, способов её хозяйственного использования и условий выращивания. Также приводится описание источников загрязнения поверхностных вод минеральными соединениями азота и способов очистки сточных вод от них. Стоит отметить достаточно подробный обзор литературы, посвященный воздействию электромагнитных полей на организмы и возможных механизмов такого воздействия.

Подраздел, посвященный гидролого-гидрохимическому описанию района исследований, выполнен хаотично, информация не структурирована. Стил написания сумбурный: абзацы построены из единичных предложений, имеются фактологические ошибки. В большей части раздела отсутствуют ссылки на источники информации. Автор постоянно путается в наименовании источника загрязнения, называя его то озером Костомукшским, то хвостохранилищем. Хотя озеро Костомукшское было преобразовано в пруд-отстойник хвостохранилища Костомукшского горно-обогатительного комбината (хвостохранилище) еще в конце 1970-х годов прошлого века путем строительства дамб и подъема уровня воды на 15.2 м. Оно используется для складирования хвостов Костомукшского горно-обогатительного комбината и называть его озером некорректно.

Что касается фактологических ошибок, например, по информации автора (без указания источника), площадь оз. Костомукшское составляет 100 км², а объем превышает 1 км³. Однако по информации отдела водных проблем Карельского Филиала Академии Наук СССР, полученных в 1975 и 1976 гг., в исходном состоянии общая

площадь озера составляла 5,44 км², его водной поверхности – 5,18 км², объем водной массы – 17,6 млн. м³. После преобразования в хвостохранилище согласно технической информации Костомукшского ГОК на момент постройки его объем составлял только 578,5 млн. м³, а общая площадь 39 км². Информация о подъеме уровня воды (23.18 м) в оз. Костомукшское в результате строительства дамбы также не соответствует действительности. Уровень озера составлял 165,5 м БС, а хвостохранилища при нормальном подпорном уровне – 180,70 м БС, т.е. подъем составил 15.2 м (или 16 м при форсированном подпорном уровне).

На стр. 16 автор указывает «В процессе своей работы ГОК выбрасывает в озёрно-речную систему техногенные воды, содержащие соединения неорганического азота (NO₂, NO₃), а также K, S, Na, Li, Ni и минеральные вещества. Это приводит к значительным изменениям в химическом составе воды и влияет на экологическое состояние водоёмов (Сямозёрский резервуар пресной воды) и водотоков (река Сяпся)». Стоит отметить, что оз. Сямозеро, вместе с истоком – р.Сяпся, расположены в другом районе Республики Карелия, примерно в 70 км от г.Петрозаводска и не имеют отношения к деятельности Костомукшского ГОКа.

На стр.16 указано, что в разное время года в разных частях водоема химический состав воды может варьировать. Что имеется в виду? На каком основании сделан данный вывод?

На стр. 18 автор относит Mg и Al к тяжелым металлам, что некорректно.

На стр. 20 требуется пояснение фразы «объем сточных вод, поступающих в систему реки Кенти, превышает ПДК для содержания многих химических элементов».

На стр. 23 автор указывает «Содержание растворённых частиц (TDS)...». Это неправильный перевод термина. TDS расшифровывается как total dissolved solids в русском варианте – общая минерализация. Выражение «растворенные частицы» не имеет физического смысла.

На стр. 26 некорректное название водоросли «микроцистит» вместо «микроцистис».

Исходя из информации, представленной в разделе, можно заключить, что соискатель плохо ориентируется в общей гидрологии, гидрохимии и гидрографии района исследований, а также ситуационной обстановке на предприятии.

Из других недостатков также следует отметить, что в разделе 1.5 использованы сокращения (БАВ, АТФ, ЦНС), которые не расшифрованы ни по тексту, ни в списке сокращений.

Из плюсов обзора литературы можно отметить неплохое владение материалом по теме культивирования микроводоросли *Chlorella* и воздействия ЭМИ на живые организмы.

Вторая глава посвящена материалам и методам исследования. Первые два подраздела частично повторяют информацию, изложенную в соответствующих разделах введения и главы 1. В разделе 2.3 описывается установка для культивирования микроводорослей, схемы экспериментов с микроводорослью *Chlorella vulgaris*, описание другого лабораторного оборудования и методик анализа химических показателей среды (содержания ионов аммония, нитратов, нитритов, хлорофилла a, b, c1, c2, каротиноидов, а также биомассы водоросли). В качестве экспериментальной среды в экспериментах использовалась вода из хвостохранилища и отстойников карьеров.

Описание методического подхода неоднозначно, например приводится два способа расчета биомассы: по градуировочному графику 2.16 и через хлорофилл-а (Ф 2.6). Неясно, какой способ использовался в работе. К корректности построения самого калибровочного графика также есть вопросы: не ясно, как были получены калибровочные значения биомассы для построения калибровочного графика. Сам график построен некорректно: по двум точкам, одна из которых сильно отнесена от первой. В этом случае наклон прямой определяется положением только одной точки (с максимальной концентрацией), которая имеет свою ошибку определения.

Также отсутствует описание методов отбора проб из хвостохранилища и карьеров, как пробы доставлялись и хранились до эксперимента. Это принципиальный момент, поскольку состав проб мог измениться. На территории предприятия эксплуатируется два карьера: Центральный и Корпангский. В работе отсутствует информация, к какому карьере относятся пробы, использованные в экспериментах.

Существенным недостатком раздела и работы в целом является то, что автор не указал с какой статистической значимостью рассчитаны доверительные интервалы и что они отражают (доверительный интервал Стьюдента, стандартную ошибку и пр.). Нет никакого описания статистической обработки данных, кроме того, что она проводилась с помощью MS Excel. В данном случае было бы логично применение стандартных статистических тестов на различие, имеющихся в свободно распространяемых статистических программах.

В формулах имеются ошибки (напр. ф. 2.2), иногда вместо научных терминов используется бытовая речь (напр. «градусник» вместо «термометр»).

Третья глава содержит результаты экспериментов по воздействию ЭМИ миллиметрового диапазона на микроводоросль *Chlorella vulgaris*. В разделе в виде рисунков приводятся результаты проведенных экспериментов. Выводы о наличии или отсутствии эффекта строятся на расхождении или перекрывании доверительных интервалов по трем параллельным измерениям. Для содержания хлорофилла *a*, *b*, *c1*, *c2*, каротиноидов в воде после обработки водоросли ЭМИ эффекта не отмечается. Однако эффект отмечен для частоты 40 ГГц для биомассы (В). С учетом неясности описания метода определения биомассы данный эффект сомнителен.

Отсюда вытекает два вопроса:

(1) если биомасса определялась по уравнению 2.6, и биомасса напрямую связана с содержанием хлорофилла *a*, то почему для биомассы отмечен эффект от частоты облучения 40 ГГц (рис.3.1), а для хлорофилла *a* – нет (рис. 3.2)? Если они математически связаны между собой, то такого быть не может.

(2) выявленный эффект от облучения ЭМИ довольно слабо отличается от контрольного эксперимента (рис.3.1) и если расчет биомассы производится по градировочному графику 2.16, погрешность которого определяется значением только одной калибровочной точки, то какова вероятность, что обнаруженный эффект от облучения ЭМИ случаен?

К сожалению, эффект от облучения водоросли ЭМИ не очевиден и в разделе 3.2, где проводится выявление оптимального времени воздействия ЭМИ, поскольку на рис. 3.6 не показан доверительный интервал для контроля, как это было сделано в предыдущем подразделе.

Также осталось неясно, что автор подразумевает под «резонансными частотами» в контексте данного исследования.

В четвертой главе описаны эксперименты по очистке реальных техногенных вод АО «Карельский окатыш» с использованием *C. vulgaris*. Автором показано, что предварительное культивирование водоросли на безазотной среде повышает ее способность к утилизации нитратов (до 96% за 11 суток) и аммония (до 93% за 4 суток). Важным результатом является также возможность частичной очистки техногенных вод от аммония (до 50%) при низких температурах (1-17°C). Автором обосновано применение микроводоросли *C. vulgaris* для биологической очистки техногенных вод АО «Карельский окатыш». Предложенный способ отличается подготовкой культуры на безазотной среде в оптимальных для водоросли условиях (26°C, аэрация) и обеспечивает снижение концентрации загрязняющих веществ до уровней ниже ПДК.

Продемонстрировано повышение эффективности очистки сточных вод от аммония и нитратов после предварительного облучения культуры ЭМИ КВЧ 40 ГГц на 10% и 4% соответственно.

Завершает главу экономическое обоснование, демонстрирующее инвестиционную привлекательность предложенной технологии. Вместе с тем в экономическом обосновании не учтено, что для сброса воды из хвостохранилища предусмотрено два коллектора диаметром 1200 мм: по одному из них воды поступает в пруды-отстойники, где возможна очистка по предлагаемой схеме. При этом сброс из второго коллектора проводится напрямую в оз.Окуновое, где предлагаемый метод очистки воспроизвести технически сложнее. Сброс из второго коллектора, как правило, проводится в период весеннего половодья и в осенние паводки при переполнении хвостохранилища. Таким образом, около 50% вод будет сброшено без очистки, что существенно уменьшит экономическую привлекательность проекта.

Также в разделе остаются вопросы к корректности расчета биомассы. Например, в эксперименте, где в воду добавлялась сухая навеска водоросли, разница концентрации между внесенной биомассой (г/л) и измеренной калориметрическим методом (г/м³) составляла около 1000 раз (см. рис. 4.10).

Новизна результатов, выводов и рекомендаций

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Установлено стимулирующее действие электромагнитного излучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ) на частоте 40 ГГц на микроводоросль *Chlorella vulgaris*, позволяющее увеличить скорость прироста биомассы в 6,8 раза. Определены оптимальные параметры облучения (частота, продолжительность экспозиции).

2. Предложен и обоснован новый технологический подход к биологической очистке сточных вод от соединений азота, заключающийся в использовании культуры *C. vulgaris*, предварительно выращенной в условиях азотного голодания. Доказано, что такой подход позволяет достичь эффективности удаления нитратов до 96% и аммония до 93% при меньшей скорости набора биомассы.

3. Экспериментально установлено, что комбинированное применение ЭМИ КВЧ (40 ГГц, 120 мин) и культуры *C. vulgaris* в загрязненной среде обеспечивает синергетический эффект, повышая эффективность утилизации аммония на 10% и нитратов на 4% по сравнению с необлученной культурой.

4. Разработано комплексное технико-экономическое обоснование внедрения технологии при условии использования сбросного тепла промышленного предприятия для поддержания оптимальных температурных условий.

Достоверность выводов и предложений

Основные положения диссертации опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК (из них 3 – в журналах, индексируемых в Chemical Abstracts и GeoRef), и многократно докладывались на международных и всероссийских конференциях, что подтверждает широкую апробацию работы.

Вместе с тем к методической части работы имеются вопросы, требующие пояснения. Во-первых, не указан источник, из которого получены образцы микроводоросли *Chlorella vulgaris*, использованные во всех экспериментах. Неясно, почему автор уверен, что им применялась именно эта водоросль. Во-вторых, в качестве основного показателя численности микроводоросли на протяжении всей работы используется биомасса (В), т.к. содержание хлорофилла не показало эффекта ЭМИ на её культивирование (раздел 4). При этом описание процесса расчета биомассы (В, г/м³) приводится двумя различными способами: через хлорофилл *a* (Ф. 2.6) и через калибровочный график (рис.2.16). Из описания непонятно, какой из способов применялся в работе.

В экономическом обосновании технологии не учтен частичный сброс техногенных вод из хвостохранилища напрямую в озеро Окуновое, что окажет существенное влияние на экономический эффект от внедрения технологии на прудах-отстойниках.

Рекомендации по использованию результатов

Результаты диссертационного исследования Щеглова Г.А. имеют практическую ценность и могут быть рекомендованы к использованию:

- В образовательном процессе высших учебных заведений при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Техносферная безопасность», «Экология и природопользование», что уже подтверждено актом внедрения в филиале МАУ в г. Апатиты.

- Промышленными предприятиями горнодобывающего комплекса, расположенными в северных регионах (в частности, АО «Карельский окатыш», ООО «Ловозерский ГОК»), для модернизации существующих или проектирования новых очистных сооружений.

- Проектными организациями при разработке разделов «Охрана окружающей среды» и технологических регламентов очистки сточных вод.

- Органами государственного экологического надзора и нормирования (в частности, Бюро НДТ, Минприроды России) при актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, а также при разработке методик расчета предотвращенного экологического ущерба.

Замечания и пожелания

Несмотря на положительные стороны исследования, к работе имеется ряд замечаний технического и содержательного характера:

1. Механизм воздействия ЭМИ продемонстрирован не убедительно. Не ясно, как мог быть показан эффект на биомассе, которая является функцией содержания хлорофилла-а (Ф 2.6), но при этом эффекта на содержание самого хлорофилла-а выявлено не было?
2. Необходимо пояснить причины выбора именно теплолюбивой культуры *S. vulgaris* для применения в условиях северных широт для очистки сточных вод, т.к. указанные автором во введении положительные экономические эффекты этой культуры в виде потенциального использования отработанной массы водоросли в хозяйстве (удобрений, корма для рыб и скота) сомнительны ввиду её загрязнения тяжелыми металлами в условиях сточных вод предприятий горно-металлургического комплекса, но при этом связано с существенными проблемами поддержания необходимой для культивирования этой водоросли температуры среды (26° С), что трудно реализуемо в северных широтах.
3. Эффективность при низких температурах. Показанная 50%-ная очистка от аммония при температурах 1-17°С является достижением для теплолюбивой культуры, но для очистки ниже нормативов ПДК в зимний период без подогрева ее недостаточно. Работа требует применения системы подогрева для круглогодичного соблюдения нормативов.
4. Не учтено, что сброс очищенных предлагаемым методом сточных вод, разогретых до 26° С, будет оказывать дополнительное воздействие на оз. Окуновое и систему р. Кенти в виде теплового загрязнения.
5. В экономическом обосновании не учтены расходы на утилизацию накопленной биомассы водорослей с учетом возможного содержания в ней тяжелых металлов.
6. При расчете экономической эффективности проекта необходимо учесть сброс воды в оз. Окуновое, минуя систему прудов-отстойников очистных сооружений.

7. Работа была выполнена на примере сточных вод АО «Карельский окатыш», имеется экономическое обоснование технологии для этого предприятия. Присутствуют акты внедрения, подтверждающие возможность использования результатов на нескольких предприятиях, однако АО «Карельский окатыш» среди них не значится.

Соответствие работы критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертация Щеглова Глеба Андреевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи – разработки и обоснования технологии очистки сточных вод горнодобывающих предприятий от неорганических соединений азота, адаптированной к условиям северных широт. По своему содержанию диссертация соответствует паспорту научной специальности 1.5.15. Экология (технические науки), в частности пунктам п. 3 (разработка методов, минимизирующих антропогенное воздействие при проведении горных работ) и п. 8 (разработка принципов и механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие и сохранение природной среды).

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях, апробированы на конференциях различного уровня, а их практическая значимость подтверждена актами о возможности внедрения на промышленных предприятиях и в учебном процессе.

Считаем, что диссертационная работа «Разработка технологии очистки сточных вод горнодобывающих предприятий от неорганических соединений азота в условиях северных широт России» соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а ее автор, Щеглов Глеб Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.15. Экология.

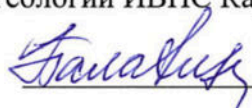
Отзыв подготовлен в Институте водных проблем Севера – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИВПС КарНЦ РАН) Зобковым Михаилом Борисовичем – старшим научным сотрудником лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН, кандидатом технических наук (специальность 25.00.35 Геоинформатика) и Галахиной Наталией Евгеньевной – старшим научным сотрудником лаборатории гидрохимии и

гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН, кандидатом химических наук (специальность 03.02.08 Экология). Отзыв обсужден и одобрен на заседании Ученого совета ИВПС КарНЦ РАН, протокол № 03 от 17.03.2026 г.

Старший научный сотрудник
лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН
кандидат технических наук

 Зобков Михаил Борисович

Старший научный сотрудник
лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН
кандидат химических наук

 Галахина Наталия Евгеньевна

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН), протокол № 04 от 19.03.2026 г.

Председатель Ученого Совета КарНЦ РАН
чл.-корр. РАН, д.б.н.

 О.Н. Бахмет

Собственноручные подписи Зобкова М.Б., Галахиной

и О.Н. удостоверяю:

Ученый секретарь КарНЦ РАН,
к.б.н.

 2026 г.

 Н.Н. Фокина



Сведения о ведущей организации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН)

Адрес: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11

Телефон: +7(8142)766040

Электронная почта: krccras@krc.karelia.ru

Web-сайт: <http://www.krc.karelia.ru>