

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.228.03
(Д 003.075.04), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН),
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 03.12.2021 № 7

О присуждении Морозову Егору Андреевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Повышение эффективности процессов глубокой минерализации отходов для фототрофного звена замкнутых экосистем космического назначения» по специальности 1.5.6. Биотехнология, принята к защите 01.10.2021 (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.1.228.03 (Д 003.075.04), созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), Министерство науки и высшего образования РФ, 660036, г. Красноярск, Академгородок д. 50, создан приказом Минобрнауки № 21/нк от 24.01.2017.

Соискатель Морозов Егор Андреевич 13.07.1989 года рождения, в 2010 году соискатель окончил бакалавриат Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ), Институт космических и информационных технологий, г. Красноярск, Минобрнауки,

присуждена степень Бакалавра техники и технологии по направлению «Автоматизация и управление»; в 2015 окончил с отличием очную магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева» г. Красноярск, Минобрнауки, по направлению 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, присуждена квалификация Магистр; в 2019 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Министерство науки и высшего образования РФ, по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, присуждена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Работает научным сотрудником в лаборатории проблем создания круговоротных процессов искусственных экосистем Института биофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИБФ СО РАН) – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), г. Красноярск, Министерство науки и высшего образования РФ. На момент подготовки диссертации работал инженером лаборатории управления биосинтезом фототрофов Института биофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИБФ СО РАН) – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), г. Красноярск, Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена в лаборатории управления биосинтезом фототрофов Института биофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИБФ СО РАН) – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), г. Красноярск, Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор, Тихомиров Александр Аполлинариевич, Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИБФ СО РАН) – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), г. Красноярск, Министерство науки и высшего образования РФ, лаборатория управления биосинтезом фототрофов, заведующий лабораторией; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Министерство науки и высшего образования РФ, кафедра замкнутых экологических систем, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Ефремов Александр Алексеевич, доктор химических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ), г. Красноярск, кафедра химии политехнического института, профессор кафедры;

Кособрюхов Анатолий Александрович, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук (ИФПБ РАН) – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (ФИЦ ПНЦБИ РАН), г. Пушкино Московской области, группа экологии и физиологии фототрофных организмов, руководитель группы, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Левинских Маргаритой Александровной, доктором биологических наук, лаборатория биологических систем жизнеобеспечения человека, ведущим научным сотрудником, ученым секретарем, указала, что решаемая соискателем научная задача актуальна для разработки методов повышения замкнутости процессов круговорота применительно к БТСЖО для длительных пилотируемых космических миссий и по объему, степени достоверности результатов исследования, теоретической значимости, новизне полученных данных, примененным методам их статистической обработки и анализа, представленная диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденному Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (с изменениями и дополнениями).

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликованы 22 работы, из них 7 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 7 входящих в базы цитирований Scopus/Web of Science, а также 9 публикаций в сборниках докладов научных конференций и 1 патент РФ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, объем научных изданий (статей) составляет 72 стр., авторский вклад – 85%.

Наиболее значимые публикации:

1. Morozov Ye.A., Trifonov S.V., Ushakova S.A., Anishchenko O.V., Tikhomirov A.A. Feasibility of incorporating all products of human waste processing into material cycling in the BTLSS. *Life Sciences in Space Research*, 2018, Vol. 18, pp. 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2018.05.002>
2. Ushakova S.A., Tikhomirova N.A., Velichko V.V., Trifonov S.V., Morozov Ye.A., Kalacheva G.S., Pavlova A.M., Tikhomirov A.A. Analysis of the gas exchange and water balance in a closed experimental model of the artificial ecosystem intended for an estimated portion of a human. *Acta Astronautica*, 2018, Vol. 152, pp. 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.07.022>
3. Tikhomirov A.A., Trifonov S.V., Morozov E.A., Kudenko Yu.A., Kalacheva G.S., Ushakova S.A. Development of human exometabolites deep mineralization method for closed ecosystems. *Doklady Akademii Nauk*, 2016, Vol. 470, No. 1, pp. 102–104. <https://dx.doi.org/10.1134/S1607672916050021>
4. Tikhomirova N.A., Trifonov S.V., Ushakova S.A., Morozov Ye.A., Anisichenko O.V., Tikhomirov A.A. Incorporation of mineralized human waste and fish waste as a source of higher plant mineral nutrition in the BTLSS mass exchange. *Life Sciences in Space Research*, 2019, Vol. 20, pp. 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2018.12.003>
5. Trifonov S.V., Velichko V.V., Tikhomirova N.A., Shikhov V.N., Morozov Ye.A., Tikhomirov A.A. Deep Physical-Chemical Purification of Gas Medium in Artificial Ecosystems. *Doklady Biochemistry & Biophysics*, 2020, Vol. 492, pp. 112–116. <https://doi.org/10.1134/S1607672920030059>
6. Morozov Ye.A., Trifonov S.V., Kudenko Yu.A., Tikhomirov A.A. The effects of the frequency and waveform of the activating current on physicochemical oxidation of organic wastes. *Life Sciences in Space Research*, 2015, Vol. 5, pp. 53-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lssr.2015.04.005>
7. Морозов Е.А, Трифонов С.В., Салтыков М.Ю., Мурыгин А.В., Тихомиров А.А. Подсистема физико-химических реакторов минерализации отходов для

биолого-технических систем жизнеобеспечения космического назначения. Сибирский журнал науки и технологии, 2017, Том 18, № 3, сс. 585-591.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные. Отзывы: кандидата биологических наук Пермитиной В.Н., ведущего научного сотрудника лаборатории геоботаники РГП на ПХВ «Института ботаники и фитоинтродукции» Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан; доктора технических наук, доцента Бронова С.А., профессора, руководителя научно-учебной лаборатории систем автоматизированного проектирования кафедры Вычислительной техники Института космических и информационных технологий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»; доктора биологических наук Головацкой И.Ф., профессора кафедры физиологии растений, биотехнологии и биоинформатики Биологического института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»; кандидата биологических наук Пендинен Г.И., старшего научного сотрудника отдела биотехнологии ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»; доктора биологических наук Табаленковой Г.Н., доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории экологической физиологии растений Института биологии ФГБУН Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»; доктора биологических наук Головки Т.К., профессора, главного научного сотрудника Института биологии ФГБУН Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» замечаний не содержат. В отзыве доктора биологических наук, профессора Минича А.С., профессора кафедры биологии, директора научно-исследовательского центра естественных наук ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет» имеется следующее замечание: из текста автореферата остается непонятным

выбор пресноводного карпа в качестве модельного дополнительного источника белка при проведении экспериментов, а не других видов рыб, в том числе широко выращиваемых в аквакультуре. В совместном отзыве доктора технических наук, профессора Берковича Ю.А., заведующего лабораторией культивирования растений в системах жизнеобеспечения в автономных обитаемых сооружениях ФГБУН Государственного научного центра Российской Федерации – Института медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН) и кандидата биологических наук Смоляниной С.О., старшего научного сотрудника ФГБУН Государственного научного центра Российской Федерации – Института медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН) в качестве недостатка отмечено, что при описании результатов экспериментов с растениями салата не представлены важные для листовых овощных культур данные о содержании нитратного азота в съедобной биомассе, выращенной на питательных средах с добавлением продуктов переработки отходов. В отзыве кандидата биологических наук Чернова В.Е., старшего научного сотрудника Научно-исследовательского центра ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства Обороны РФ указаны следующие замечания: оценка действия внешних факторов на растения на одном сорте не всегда дает однозначный результат, поэтому, если бы эксперименты по воздействию питательных растворов для гидропоники, содержащих минерализованные биоотходы, проводились не на одном сорте салата, это представило бы результат более достоверным; в таблице 5.4 автореферата не указана площадь ценоза пшеницы – при обозначении этого параметра полученный результат был бы более информативен. В отзыве кандидата химических наук, старшего научного сотрудника Титовой М.В., научного сотрудника НИО (медико-биологических исследований) Научно-исследовательского центра ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства

Обороны РФ, отмечено, что в тексте есть незначительные опечатки, которые не влияют на качество приведенных материалов исследования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью и высокой квалификацией специалистов в области биотехнологии переработки органического сырья в хозяйственно-полезные продукты, в частности удобрения, и выращивания культурных растений, а также соответствием основных направлений исследований задачам диссертационной работы Морозова Е.А. Исследовательский коллектив лаборатории биологических систем жизнеобеспечения человека Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственного научного центра Российской Федерации – Института медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН) занимается разработкой медико-биологических аспектов систем жизнеобеспечения пилотируемых космических полетов, является одной из широко известных ведущих научно-исследовательских организаций в Российской Федерации по тематике БТСЖО и имеет высокую квалификацию по теме диссертации, что подтверждается публикациями и выполняемыми проектами. Ефремов А.А. (г. Красноярск) является специалистом в области технологий химической переработки древесины, в частности антимикробной и антибактериальной активности определенных соединений, что имеет значение для культивации съедобных растений в БТСЖО, приготовления удобрений и оценки их качества для вышеназванных целей, тем самым существенно перекликается с 4 и 5 главами диссертации Морозова Е.А. Кособрюхов А.А. (г. Пущино Московской области) является руководителем научной группы и известным специалистом в области физиологии и биохимии растений. Его публикации охватывают широкий спектр биотехнологических тем, включающих фотосинтетическую активность растений в зависимости от химических параметров среды, адаптацию и толерантность растений к неблагоприятным условиям включая засоление,

метаболизм азота, антимикробную активность и т.д., что так же существенно перекликается с тематикой диссертации Морозова Е.А.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научные основы технологического процесса минерализации ранее туپиковых труднорастворимых осадков, обеспечивающего их вовлечение в технологическую схему круговоротных процессов экспериментальной модели БТСЖО космического назначения;

разработан блок питания с оптимизированными параметрами тока, позволяющий снижать затраты времени и электроэнергии процесса «мокрого сжигания» органических отходов в водном растворе H_2O_2 и обеспечивающий протекание этого биотехнологического процесса;

предложен способ биотехнологической утилизации воскообразных остатков, возникающих при ускоренном доокислении и растворения первичных осадков в ППС;

предложена технологическая схема комплекса физико-химических и биотехнологических процессов, позволяющая максимально полно вовлекать все продукты переработки экзометаболитов людей в круговоротные процессы БТСЖО космического назначения;

доказано повышение биодоступности элементов удобрений для выращивания культурных растений на гидропонике, полученных с использованием активируемого переменным электрическим током процесса «мокрого сжигания» отходов в водном растворе H_2O_2 в результате понижения его рН добавлением кислоты;

доказано, что ранее выпадавшие из круговорота при использовании метода «мокрого сжигания» двухвалентные элементы были лимитирующими для минерального питания культурных растений фототрофного звена экспериментальной модели БТСЖО, и их возвращение в круговорот позволяет резко повысить продуктивность растений и коэффициент замыкания круговоротных процессов;

проанализирован состав и объем газов, выделяющихся в ходе предложенных процессов доокисления осадков, показано, что они могут быть технологично и безопасно переработаны известными методами и вовлечены в атмосферу БТСЖО космического назначения;

введена формула интегральной массы БТСЖО, выводимой на орбиту и обеспечивающей функционирование экипажа, с уточнением дополнительных деталей и зависимостей, имеющих значение для миссий длительностью порядка десятилетий и более, предложенная в качестве минимизируемой целевой функции.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана перспективность использования предложенных методов растворения и вовлечения в круговорот БТСЖО космического назначения тупиковых продуктов, оставшихся ранее при классическом «мокром сжигании» органических отходов;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс перспективных методов переработки органических отходов в удобрения для повышения замкнутости массообмена БТСЖО космического назначения;

изложены способы повышения: эффективности процессов переработки органических отходов в удобрения, биодоступности питательных элементов для растений на гидропонике, замкнутости круговорота веществ БТСЖО космического назначения;

раскрыты причины выпадения из круговорота основных элементов минерального питания растений при приготовлении удобрений из экзометаболитов людей и рыбных отходов методом «мокрого сжигания» и их недоступности при культивировании растений в условиях гидропоники, предложены пути и методы их устранения;

изучены процессы сопряжения физико-химических и биологических методов и перспективы интеграции процессов комплексной переработки

отходов на примере экспериментальной модели БТСЖО космического назначения;

проведена модернизация комплекса методов переработки органических отходов в удобрения для повышения замкнутости круговорота БТСЖО космического назначения на основе «мокрого сжигания» и ППС.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и успешно апробированы методы вовлечения тупиковых продуктов «мокрого сжигания» в круговоротные процессы экспериментальной модели замкнутых экосистем космического назначения;

определены эффективные параметры протекания процесса «мокрого сжигания» органических отходов, включая рыбные, для переработки их в удобрения: активирующий ток 35 Гц меандр, доокисление тупиковых продуктов в малом объеме в смеси $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ в молярном соотношении 1:1 (концентрация реагентов 60 ммоль/л);

создана система компьютерного мониторинга и автоматического управления процессом «мокрого сжигания», обеспечивающая регистрацию параметров в удобном для обработки формате, и возможность дистанционного и/или автоматического управления биотехнологическим процессом;

представлены практические рекомендации по внедрению комплекса физико-химических и биотехнологических методов в БТСЖО для космических миссий большой длительности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использованы: сертифицированное современное газоаналитическое и электроизмерительное оборудование, современные методы химического анализа, автоматизированные вегетационные камеры для растений. Достоверность полученных данных подтверждается их воспроизводимостью в серии экспериментов и статистической обработкой;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными результатами по теме диссертации и в смежных областях;

идея базируется на анализе практики приготовления удобрений из отходов и обобщении передового мирового опыта аналогичных исследований;

использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное совпадение результатов автора с результатами, представленными в независимых источниках научной информации по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение являлось обоснованным;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с использованием: спектрофотометра индуктивно-связанной плазмы iCAP 6300 Duo ICP-OES, газоанализаторов Witt, Li-COR, Teledyne и др., статистически представительные выборочные совокупности растений с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в: формулировании цели и задач исследования, планировании и проведении экспериментов: предложение целевой функции, изучение способов растворения осадков, отработка технологий вовлечения ранее тупиковых продуктов в круговорот БТСЖО, модернизация экспериментальных стендов и установок, приготовление ирригационных растворов и выращивание растений, обработка и интерпретация полученных экспериментальных данных, апробация результатов исследования на научных конференциях и подготовка публикаций.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, относящихся к сути диссертации, однако был задан ряд вопросов: указаны погрешности с отклонениями от ГОСТа с лишними значащими цифрами; о рН поливных растворов; о взрывоопасности высококонцентрированных кислот и перекисей; о воспроизводимости перекиси и кислоты внутри БТСЖО; о сопоставлении метода «мокрого сжигания» с мировыми аналогами; о балансе энергопотребления процесса.

Соискатель Морозов Е.А. согласился с замечаниями и ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, в частности: рН 5-5,5 широко используются в промышленной гидропонике; описал методы воспроизводства перекисей и кислот в БТСЖО; отметил что концентрации перекисей и кислот ниже взрывоопасных; указал приблизительные пропорции энергозатрат процессов БТСЖО; привел собственную аргументацию преимуществ метода «мокрого сжигания» перед иными методами переработки биоотходов в удобрения применительно к БТСЖО.

На заседании **3 декабря 2021 года** диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, новые научно-обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития БТСЖО присудить **Морозову Е.А.** ученую степень кандидата биологических наук.


При проведении тайного голосования с использованием информационно-коммуникационных технологий диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.5.6. Биотехнология, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **18**, против – **0**.

Заместитель председателя

диссертационного совета,

д.ф-м.н.



 Барцев Сергей Игоревич

Ученый секретарь

диссертационного совета,

к.б.н.

 Дементьев Дмитрий Владимирович

06.12.2021