

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кузнецова Александра Евгеньевича «Высокоэффективные экологически чистые совмещенные системы микробиологического синтеза и очистки сточных вод с оксидативным стрессовым воздействием», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 03.01.06 – Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)

Настоящая диссертация выполнена в области разработки научных основ технологий и процессов биосинтеза и биоконверсии, сопровождающихся энерго- и ресурсосбережением сырья и энергии с минимизацией количества отходов, обеспечением высокой производительности, выхода целевого продукта, эффективности удаления загрязнений из сточных вод.

Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью развития представления, получения новых экспериментальных данных об использовании биологических резервов для дальнейшей интенсификации процессов биосинтеза и биоконверсии с использованием нативных и генетически модифицированных микробных культур. В условиях, в целом, освоенности инженерных подходов к повышению эффективности биотехнологических процессов актуальными стали знания, направленные на дальнейшее раскрытие микробного потенциала с учетом влияния на культивируемые микроорганизмы факторов стресса из-за дефицита питания, неоптимальных температур, pH, Eh, солености, присутствия токсичных веществ, недостатка или избытка солнечного света, УФ-излучения, кислорода и его активных форм: перекисей, радикалов и т.д. Эти факторы играют важную роль в развитии и образовании продукции природных экосистем как сами по себе, так и в сочетании с биотическими факторами.

Таким образом, следует отметить, что в перспективных биотехнологических системах должны поддерживаться не только оптимальные значения абиотических экологических факторов, но и воспроизводиться совмещенные по месту и времени абиотические и биотические процессы, определяющие необходимую жизнедеятельность, физиологическое состояние и биологическую активность используемых организмов.

Комплексный учет абиотических и биотических факторов воздействия, в том числе стрессовых и антистрессовых, на биообъекты (биоагенты) в традиционных методах культивирования, целенаправленная и контролируемая реализация совместных воздействий и процессов представляются чрезвычайно важными для полноценного управления биосинтезом и биоконверсией в различных областях биотехнологии.

Вышесказанное характеризует актуальность темы и содержания представленной диссертационной работы.

Цель работы состоит в обосновании и разработке научных основ совершенствования процессов культивирования микроорганизмов в условиях чистых культур и сообществ с созданием биотехнологических систем по принципам функционирования природных экосистем. Для достижения этой цели сформулированы задачи диссертационного исследования (стр. 14-15).

Диссертация является глубоким теоретическим и экспериментальным исследованием. Она отличается достаточно большим объемом и занимает 708 страниц машинописного текста, из которых 151 страница принадлежит списку использованных источников зарубежной и отечественной специальной литературы, включающему 1941 наименование. Структурно в диссертации представлены:

- 2 главы аналитического обзора литературы, посвященные совершенствованию процессов культивирования микроорганизмов, а также рассмотрению феномена стресса и ответных биологических реакций организма как фактора управления биотехнологическими процессами, соответственно;

- главы, характеризующие объекты исследования, а также условия проведения экспериментов, материалы и методы их анализа;

- 2 главы экспериментальных исследований, посвященных процессам получения продуктов биосинтеза с использованием чистых культур нативных и генно-модифицированных микроорганизмов, а также биологической очистки различных промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Работа содержит 23 таблицы, 114 рисунков, а также 5 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, определены факторы экологически рационального совершенствования ферментационных процессов, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

В первой главе проведен анализ исследований в области совершенствования процессов ферментации и биологической очистки сточных вод; рассмотрены совмещенные процессы культивирования микроорганизмов с селективным регулированием содержания внеклеточных продуктов в ферментационной среде с целью интенсификации биосинтеза целевого продукта, а также варианты с совмещением последовательно или по месту и времени химических, фотохимических и биологических процессов для повышения эффективности биологической деструкции органических веществ в сточных водах.

В этой главе обсуждены такие перспективные технологические приемы как рецикл постферментационных сред или их компонентов на стадию биосинтеза после выделения из них целевого продукта, в том числе с использованием мембранного реактора, лимитирование ферментационного процесса в режиме по граничным значениям отдельных параметров, высокоплотностное культивирование с дробной подпиткой субстратом, организация локальных систем биологической очистки, ведение аэробной очистки с полным рециклом активного ила,

интенсификация биологической очистки, внедрение анаэробно-аэробных методов при очистке стоков с высокой концентрацией загрязнений.

Отдельно рассмотрены варианты культивирования с совмещением химических, фотохимических и биологических реакций и использованием абиотических природных процессов самоочищения с участием активных форм кислорода (АФК) как фактора окислительного (оксидативного) стресса.

Вторая глава, собственно, посвящена рассмотрению различных стрессовых воздействий (осмотического и кислотного стресса, теплового и холодового шока, действия токсичных веществ, оксидативного стресса) и адаптации микробных популяций к стрессорам у микроорганизмов на популяционном, фенотипическом, физиологическом, клеточном, биохимическом, эпигенетическом и генетическом уровнях. В ответе на оксидативный стресс подробно рассмотрены участие веществ-антиоксидантов, ферментативная защита, ответ на генетическом уровне, системы репарации при повреждении ДНК, адаптивные изменения, перекрестные ответы на оксидативный и другие виды стресса. Отмечены сведения о положительном действии стресса на отдельные показатели биосинтеза, что может быть использовано на практике. Показано, что рассмотренные особенности ответа на стрессовое воздействие популяций и клеток микроорганизмов создают предпосылки и основу для создания перспективных систем культивирования микроорганизмов с управляемым стрессовым воздействием.

Далее, сделан вывод о преимуществах использования с методической, технологической и экологической точек зрения воздействия малых доз пероксида водорода как фактора с оксидантной активностью и низких доз видимого света как фактора с прооксидантной и антиоксидантной активностью.

В третьей главе охарактеризованы объекты исследований и особенности их изучения в рамках настоящей диссертации, в том числе микроорганизмы в составе эпифитных, почвенных, водных сообществ, развивающихся в условиях оксидативного стрессового воздействия в природной среде и имеющие практическое значение для промышленной биотехнологии.

Автором сделан вывод о том, что при выборе продуцентов молочной кислоты наиболее рациональным остается использование традиционных молочнокислых бактерий с природным геномом по причине большей стабильности процесса, возможности реализации непрерывной ферментации без потери целевой физиологической и биосинтетической активности.

Для получения кормового белка было исследовано высокоплотностное культивирование дрожжей р. *Candida* с дробной подпиткой концентрированным субстратом для организации малоотходного продуктивного процесса, позволяющего накопить не менее 100 г/л абсолютно сухой биомассы, снизить объемы сточных вод и затраты на концентрирование продукта.

Спиртовые дрожжи как продуцент этанола исследовались в аспекте получения качественного посевного материала с минимальным содержанием посторонней микрофлоры при использовании H_2O_2 не только как бактерицидного средства, но и агента, регулирующего физиологическое состояние клеток дрожжей.

Далее рассмотрены галобактерии как продуцент важнейших метаболитов кормового, лечебно-профилактического и технического назначения. Отдельное внимание уделено особенностям биосинтеза бактериородопсина (БР) - перспективного компонента материалов технического, ветеринарного и косметического назначения.

В качестве объекта с модифицированным геномом для проверки предложенного подхода контролируемого оксидативного воздействия в работе использованы рекомбинантные по рибофлавиновому оперону штаммы *Bacillus subtilis*, являющиеся сверхпродуцентами рибофлавина – одного из антиоксидантов и прооксидантов.

Отдельная группа объектов исследования в работе – микробные сообщества активного ила, биопленки и микробных гранул, культивированные на сточных водах и/или их модельных растворах: содержащих фенол, производства пивоваренной промышленности, а также хозяйственно-бытового происхождения.

Кроме того, для исследования возможности целенаправленного воздействия на антагонистические и симбиотические взаимоотношения в альгобактериальных и цианобактериальных сообществах при использовании контролируемого оксидативного воздействия были рассмотрены процессы очистки сточных вод производств пивоварения с участием микроводорослей и цианобактерий.

В четвертой главе описаны методики проведения экспериментальных исследований и методы их аналитического контроля.

Автором были использованы стандартные и модифицированные методы культивирования и оборудование в планшетах, пробирках, колбах, ферментерах для получения изолятов накопительных культур, посевного материала. Использовались стандартные и модифицированные физико-химические, химические, микробиологические методы анализа для контроля морфологии и физиолого-биохимического состояния популяций микроорганизмов и их сообществ; принятые и оригинальные экспериментальные методики исследования объектов в процессах образования гранул и биопленок для биологической очистки сточных вод с использованием методов микроскопирования, окрашивания красителями, определения дыхательной, бродильной, дегидрогеназной, каталазной активностей, фотоэлектроколориметрических и спектрофотометрических методов.

Заслуживает внимания полноценный набор режимов культивирования: периодический, непрерывный хеостатный, с частичным и полным рециклом биомассы (в случае использования азротенка в комбинации с вторичным отстойником, а также в мембранном биореакторе), с дробной подпиткой для

минерализации высококонцентрированного субстрата (фенола), циклический отъемно-доливной (для получения микробных гранул).

Методом последовательных пассажей были выделены культуры микроорганизмов, адаптированные к воздействию стрессоров и органических токсикантов, содержащихся в сточных водах. Автором была выполнена весьма объемная рутинная экспериментальная работа по ступенчатой адаптации культур под воздействием токсичного или биостойкого субстрата либо дозы стрессора, в частности, H_2O_2 и видимого света низкой интенсивности как антистрессора. Более того, исследование целенаправленного воздействия стрессора и антистрессора для получения адаптированных (преадаптированных) микробных культур было выполнено для дрожжей р. *Candida*, *S. cerevisiae*, молочнокислых бактерий р. *Lactobacillus*, рекомбинантных бактерий р. *Bacillus*.

В результате были получены:

- бактериальные и дрожжевые консорциумы, способные окислять фенол при повышенных концентрациях последнего (до 5 г/л) с высокой скоростью;
- консорциумы микроорганизмов, составляющие основу активных илов, для исследования процессов биологического окисления сточных вод;
- сообщества микроорганизмов, способные к образованию гранулированного активного ила при биологической очистке сточных вод;
- изоляты микроводорослей и цианобактерий, входящих в состав отобранных образцов альгобактериальных и цианобактериальных консорциумов;
- микроорганизмы и их консорциумы, устойчивые к повышенным дозам пероксида водорода (при изучении контролируемого оксидативного воздействия).

Пятая глава содержит обсуждение полученных результатов культивирования чистых культур микроорганизмов с получением биомассы и важнейших метаболитов в условиях определения режимных параметров культивирования и управляемого оптимального оксидативного стрессового воздействия на основе преадаптации микроорганизмов-продуцентов.

Следует также отметить, что автор решает вопросы повышения эффективности процессов биосинтеза/биоконверсии с одновременным экологическим сопровождением этих процессов.

Так, убедительно показано, что *культивирование кормовых дрожжей* в режиме высокоплотного культивирования с подпиткой субстратом по сравнению с периодическим и непрерывным хемостатным режимами характеризуется интенсификацией процесса по ряду показателей:

- максимальным накоплением биомассы до 160 г/л (по АСД);
- повышением продуктивности биореактора по продукту от 25 до 280 %;
- увеличением выхода биомассы на 5–15% и содержания белка в биомассе на 7–10%;

- повышением устойчивости к высоким концентрациям субстратов и другим стресс-факторам без появления признаков ингибирования роста и физиологической активности продуктами метаболизма;

- обеспечением 30–50%-ой экономии питательных солей, снижением количества сточных вод и концентрации остаточного субстрата в 5–10 раз, снижением энергоемкости процессов сгущения биомассы, что позволяет снизить суммарные затраты на сырье и энергию на 15–20%.

В процессе спиртового брожения на основе сформулированных подходов обеспечено повышение жизнеспособности клеток дрожжей-сахаромицетов до 95–99% и их бродильной активности на 10–40% (что очень показательно и коррелирует со снижением остаточного содержания субстрата - сахарозы), выхода этанола на 2–5%, при одновременном сокращении времени брожения в периодических условиях на 30%; при этом также улучшаются эколого-экономические показатели со снижением содержания остаточного субстрата и примесей в 1,5–3 раза и совокупных эксплуатационных затрат на 5–20%.

Использование мембранного биореактора для отъемно-доливного культивирования молочнокислых бактерий обеспечило повышение производительности до 10 раз с достижением продуктивности до 50 г/л×ч по молочной кислоте при накоплении молочной кислоты до 100 г/л, степени конверсии глюкозы в молочную кислоту 95–97%, с одновременным повышением выхода молочной кислоты из углеводного субстрата на 2–5%, снижением расхода дорогостоящих ростовых факторов в 2–3 раза, снижением содержания примесей в отводимых жидких отходах, а также количества избыточной биомассы в 10 раз по сравнению с традиционным методом периодического культивирования при полном отсутствии гипса как отхода, и, как следствие, улучшением экономических и экологических показателей процесса и достижением конкурентоспособной цены.

При культивировании мутантных штаммов галобактерий и биосинтезе бактериородопсина (БР) достигнуто повышение производительности биореакторов с подпитками до 20 раз в условиях адсорбционной поддержки культуры активированным углем, инкапсулированным в агар, для извлечения ингибиторов биосинтеза – продуктов фотоокисления питательной среды; при этом в несколько раз было обеспечено снижение объема высокоминерализованных жидких стоков, а также затрат на выделение БР при обеспечении высокого качества получаемого продукта.

Кроме того, были получены положительные результаты культивирования галобактерий в условиях стрессового воздействия пероксида водорода и использования сублетальных доз мягкого ультрафиолета.

Наконец, зафиксировано повышение устойчивости биосинтетической активности рекомбинантных штаммов *B. subtilis* за счет снижения скорости

реверсии к прототрофным вариантам из-за прооксидантного действия компонентов среды культивирования, в частности, рибофлавина.

Закономерности и эффективность управляемого стрессового воздействия активными формами кислорода на микробные сообщества в процессах биологической очистки сточных вод различного состава детально рассмотрены в **шестой главе**.

Показано, что оксидативный стресс, обусловленный порционным внесением пероксида водорода в суспензию активного ила, адаптированного к H_2O_2 , контролируемый освещением среды видимым светом низкой интенсивности, позволяет обеспечить следующие эффекты:

- перерабатывать высококонцентрированные токсичные стоки, в частности фенолсодержащие, с подпиткой субстратом (суммарно до 100 г/л и более по фенолу) с полной минерализацией органического вещества без накопления продуктов, ингибирующих биологическое разложение, с минимальным образованием избыточного активного ила, вторичных сточных вод и остаточных загрязнений;

- практически полностью удалять органические вещества (по ХПК) в процессах традиционной аэробной биологической очистки сточных вод в аэротенках, с одновременным повышением степени удаления соединений азота и фосфора;

- обеспечивать гранулообразование активного ила в аэробных условиях и отъемно-доливных реакторах (Sequencing Batch Reactor) и высокую эффективность очистки сточных вод от биогенных элементов;

- обеспечивать и поддерживать высокую агрегативную устойчивость активного ила, снижающую кольматацию мембран в системах биологической очистки на основе мембранных биореакторов (МБР), что является определяющим для стабильности работы МБР;

- основным способом борьбы с избыточным ростом микроводорослей в процессах биологической очистки модельных стоков в условиях добавления пероксида водорода может быть поддержание освещения обрабатываемой среды на уровне, достаточном лишь для протекания фоторепарации у микроорганизмов активного ила, но недостаточном для интенсивного роста микроводорослей. Следует отметить, что такого рода приемы весьма перспективны и требуют безусловной автоматизации в процессе локальной биоочистки сточных вод;

- по совокупности полученных результатов процесс аэробной биологической очистки может быть отнесен к наилучшим доступным из существующих на сегодня технологий одностадийной аэробной биологической очистки.

В качестве отдельных принципиальных результатов следует отметить практически полное биологическое удаление фосфатов из модельного раствора хозяйственно-бытовых сточных вод в отъемно-доливном режиме гранулированным

активным илом, адаптированным к внесению H_2O_2 (рис. 6.19, с. 448). Кроме того, чрезвычайно интересным наблюдением в процессе гранулирования активного ила в условиях оксидативного воздействия оказалось то, что по мере развития гранул начинают преобладать актиномицеты и грибы с доминированием нескольких видов, идентифицированных молекулярно-генетическими методами как *Agrobacterium tumefaciens*, *Fusarium nivale*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium glabrum* и *Trichosporon cutaneum*. Эти виды формируют основу, к которой прикрепляются другие микроорганизмы.

Достоверность результатов, представленных в работе, не вызывает сомнений. Экспериментальные исследования выполнены на должном уровне с использованием комплекса необходимых методов проведения экспериментов и методик их аналитического контроля. Полученные результаты апробированы в промышленном масштабе, в том числе с разработкой опытно-промышленных регламентов для микробиологического производства молочной кислоты (лактата), а также эксплуатации автоматизированного комплекса с мембранным биореактором.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научных симпозиумах, конгрессах и конференциях в России и за рубежом. Основное содержание работы изложено в более чем 100 публикациях, из них – 19 в журналах, входящих в реферативные базы ISI Web of Science и Scopus, не менее 15 статей – в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, очевидна и определяется следующим:

- предложены, научно обоснованы и апробированы подходы к совершенствованию традиционных и созданию перспективных систем культивирования нативных и генетически модифицированных микроорганизмов, направленных на реализацию биологических резервов продуцентов путем устранения неблагоприятного воздействия продуктов абиотического происхождения, образующихся в ходе фотохимических и химических реакций на клетки микроорганизмов, а также под действием управляемого оксидативного стресса для стимулирования адекватного метаболического ответа у микроорганизмов;

- экспериментально доказано, что комбинированное действие активных форм кислорода (H_2O_2 , анолита электрохимического разложения, ультрафиолета А или В диапазонов спектра) и видимого света может выступать в качестве инструмента для управления ростом гетеротрофных микроорганизмов, находящихся в состоянии стресса, характеристиками биосинтеза целевых продуктов, а также и процессов биоконверсии и биodeградации компонентов сточных вод;

- сформулирована гипотеза о механизмах и необходимости контролирования низкоэнергетических воздействий видимого света на клетки микроорганизмов, находящихся в состоянии стресса, для повышения их метаболической активности.

Значимость для науки и производства полученных результатов.

Экспериментальные результаты, полученные в диссертационном исследовании, весьма объемны, существенны по содержанию и поэтому значимы. Предложенный автором способ реализации микробиологических процессов, названный «контролируемым оксидативным стрессом» (регулируемое оксидативное воздействие, РОВ-технология) обоснованно учитывает определяющую роль совместного воздействия стрессорных (в частности, H_2O_2) и антистрессорных факторов в регулировании жизнедеятельности и жизнеспособности микробных клеток. В работе сформулированы рекомендации по поддержанию такого состояния оптимального оксидативного воздействия в высокоплотных популяциях микроорганизмов в перспективных системах культивирования и реакторного оснащения.

Значимость полученных результатов для науки и практического использования определяется выполнением исследований в рамках госконтрактов, поддержанных Минобрнаукой и Рособразованием с участием учреждений академии наук, университетов, крупных предприятий и компаний Российской Федерации, Германии, Китая.

На большинство предложенных решений получены 9 авторских свидетельств и патентов РФ.

Автором совместно с коллегами подготовлены 2 крупных издания: Научные основы экобиотехнологии (Кузнецов А. Е., Градова Н.Б. – М.: Мир, 2006. – 504 с.); Прикладная экобиотехнология (Кузнецов А.Е. и др., в 2-х т. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2010, переиздание 2012 г., электронная версия – 2015 г.; т. 1 – 629 с., т.2 – 485 с.), которые используются в исследовательской практике и в качестве основных учебников по соответствующим дисциплинам в вузах РФ.

Принципиальных замечаний к содержанию диссертации не имеется.

Тем не менее, в процессе оппонирования возникли следующие вопросы и рекомендации:

1. Первая задача диссертационного исследования сформулирована очень обще, недостаточно конкретно; можно было бы указать «на основе мембранных реакторов, управляемого оксидативного стресса».

2. Несмотря на большой объем диссертации, текст отдельных разделов недостаточно проиллюстрирован. Так, раздел 1.2.2 «Мембранный реактор» (кстати, почему в единственном числе?) не содержит ни одной иллюстрации, несмотря на то, что речь идет о конструкциях и технологических обвязках.

3. Рис. 5.4 (с. 284): требуется пояснить характер и корреляцию полученных зависимостей: почему снижение концентрации молочной кислоты для отдельных

циклов культивирования (например, 85-93) сопровождается увеличением продуктивности процесса? Была сокращена продолжительность цикла в отъемно-доливном процессе или была увеличена величина отъема культуральной жидкости?

4. Указано (с. 348), что предварительные эксперименты показали, что непосредственный контакт клеток галобактерий с углем вызывает их сорбцию в порах гранул и контакт с сорбированными углем вредными для клеток веществами, что приводит к гибели и лизису клеток. Инкапсулирование в агар предотвращает непосредственный контакт клеток с углем, но не препятствует диффузии сорбируемых веществ – потенциальных ингибиторов биосинтеза.

Тем не менее, исходя из их размеров микробные клетки занимают – макро- и мезопоры, а адсорбат – микропоры, и токсический эффект не должен проявляться. Полагаю, что токсический эффект проявляется в объеме жидкой среды из-за образования в ней продуктов окисления/фотоокисления, но не в порах адсорбента.

5. При обсуждении результатов собственных экспериментальных исследований биологической очистки сточных вод автор не оперирует показателем биологического потребления кислорода (БПК), который является весьма важной характеристикой данных процессов.

6. Как было реализовано масштабирование процессов внесения стрессора - H_2O_2 малыми дозами в опытно-промышленных экспериментах? Как определялась дозировка стрессора?

7. Требуется дополнительное изучение феномен усиления альгицидной активности бактериальных компонентов при окислительном воздействии, что может способствовать элиминированию фототрофной составляющей из состава активного ила очистного сооружения и повышению качества очистки сточной воды.

8. Недостаточно удачно сформулированы выводы, а именно 6,7 и 8 как будто иллюстрируют 1-5 выводы, но не едины с ними. При этом следует отметить, что задачи диссертационного исследования сформулированы автором в 5-ти пунктах, что предполагало аналогичное число выводов.

Указанные замечания имеют частный, рекомендательный характер и не касаются существа диссертационной работы – её основных концепций, полученных экспериментальных результатов, выводов и рекомендаций.

Автореферат отражает основные положения диссертационной работы, материалы диссертации хорошо освещены в публикациях автора.

Данные, представленные в настоящей диссертации, настоятельно рекомендуются для широкого использования на лекционных, семинарских занятиях и в лабораторных практикумах по общей, промышленной и экологической биотехнологии, а также представляют несомненный интерес для совершенствования промышленных микробиологических процессов.

Полученные в работе результаты могут с успехом использоваться в научных и университетских комплексах, в частности, в МГУ им. М.В. Ломоносова,

Политехническом университете Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Национальном исследовательском университете ИТМО, г. Санкт-Петербург, МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Казанском национальном исследовательском технологическом университете и других, а также в проектных организациях и на промышленных предприятиях соответствующего профиля.

Диссертация Кузнецова А.Е. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований фундаментального и прикладного характера изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения для получения продуктов микробиологического синтеза, биоконверсии и биodeградации отходов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие фундаментальных представлений о культивировании микроорганизмов для организации промышленных биотехнологических процессов.

Диссертационная работа, представленная к защите А.Е. Кузнецовым, удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а её автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 03.01.06 – Биотехнология (в том числе бионанотехнологии).

Официальный оппонент:

декан факультета пищевых технологий,
заведующий кафедрой промышленной биотехнологии
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»,
доктор технических наук по специальностям 03.00.23 – Биотехнология;
03.00.16 - Экология,
профессор

Сироткин Александр Семенович

420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68
тел/факс: (843) 2318919
e-mail: asirotkin66@gmail.com

Подпись



удостоверяется.

Начальник Окид ФГБОУ ВО «КНИТУ»

О.А. Перельгина

« 03 » 03 2021 г.