

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скибы Екатерины Анатольевны  
на тему «Биотехнологическая трансформация легковозобновляемого  
целлюлозосодержащего сырья в ценные продукты»,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 1.5.6. – Биотехнология.

Общий объем биотехнологической продукции в мире измеряется в миллионах тонн в год. С точки зрения экономики, сырье в биотехнологических производствах, особенно в крупнотоннажных, занимает первое место в статьях расходов и составляет 40—65 % общей стоимости продукции. В микробиологической промышленности наибольшая доля сырья (более 90 %) идет на производство биоэтанола, причем используется крахмалсодержащее сырье, которое могло бы использоваться для получения продуктов питания или других ценных продуктов биотехнологии. В настоящее время многие эксперты считают, что главным резервом производства биотоплива второго поколения могут быть отходы деревопереработки (опилки, кора, щепа и другие отходы лесозаготовок), т.е. постоянно возобновляющихся сырьевые ресурсы — первичные продукты фотосинтеза. В качестве альтернативных источников целлюлозы рассматриваются растения с относительно низким содержанием лигнина, основная масса структурных компонентов которых представлена целлюлозой. К таким растениям относятся некоторые травянистые растения, обладающим высокой скоростью накопления целлюлозосодержащей биомассы в стеблях, оболочках и выращиваемых традиционными методами сельского хозяйства. В частности, внимание исследователей привлекают, так называемые, энергетические травы, т.е. быстрорастущие и неприхотливые к местам обитания растения, биомассу которых можно использовать для производства биотоплива, в частности, биоэтанола. Это направление является относительно новым в мире, и новые технологии находятся на стадии исследований и разработки. К таким растениям относят мискантус, некоторые виды которого неплохо адаптировались к условиям средней полосы России и Сибири. Несмотря на то, что целлюлоза — один из самых распространенных полисахаридов и может служить сырьем для биотехнологических производств, как отмечалось выше, в 21 веке активно изучаются все аспекты получения нового инновационного продукта — бактериальной целлюлозы, которая обладает рядом преимуществ (высокой чистотой, более высокая механической прочностью, высокой кристалличностью и гидрофильностью) и имеет огромный потенциал для применения, прежде всего, в медицине. Таким образом, цель диссертационного исследования Скиба Е.А. — биотехнологическая трансформация легковозобновляемого целлюлозосодержащего сырья (шелухи овса и мискантуса) в ценные продукты: биоэтанол и бактериальную наноцеллюлозу является безусловно **актуальной**.

Представленная к защите работа является комплексным исследованием в биотехнологии, хорошо продуманным и основательным. При разработке новых биотехнологий автор экономически обосновывает преимущества разработанных технологий в сравнении с имеющимися, подтверждает это технико-экономическими расчетами, продумывает направление использования отходов или побочных продуктов на всех стадиях процессов, что важно для реализации современных принципов концепции устойчивого развития мира.

Вынесенные на защиту основные положения свидетельствуют о разработке трех технологий получения ценных продуктов при переработке целлюлозосодержащего сырья, две из которых являются новыми российскими промышленными технологиями, что важно для обеспечения инновационной безопасности страны. В рамках реализации поставленных задач автор представил новые технологические решения, обладающие несомненной научной новизной и практической значимостью:

- предложен способ предобработки легковозобновляемого целлюлозосодержащего сырья разбавленной азотной кислотой, характеризующийся экономичностью, экологичностью, безотходностью и высокой технологичностью;

- предложен эффективный способ ферментативного гидролиза продукта азотнокислой обработки шелухи овса с комплексным использованием образующихся отходов (жидкая фракция используется как основа питательных сред в микробиологическом синтезе, твердый остаток – для получения аморфного диоксида кремния);

- научно обоснована и разработана технология получения биоэтанола, совмещающая биокаталитические стадии ферментативного гидролиза обработанного азотной кислотой целлюлозосодержащего сырья и спиртового брожения, и включающая подпитку субстратом, ферментными препаратами, выделение и очистку биоэтанола, при этом выход биоэтанола из мискантуса соответствует максимальному потенциальному выходу для энергетических культур (25-26 дал/т);

- научно обосновано использование в качестве продуцента бактериальной наноцеллюлозы (БНЦ) симбиотической культуры *Medusomyces gisevii* Sa-12 (чайный гриб), доказана способность продуцента эффективно работать на сложных гидролизных средах в нестерильных условиях без добавок витаминов, минеральных солей и стимуляторов биосинтеза независимо от вида сырья и способа его предварительной обработки, что позволило разработать новую технологию получения уникального продукта БНЦ с показателями, превышающими мировые аналоги (высокой степени кристалличности (86-93 %) и содержанием алломорфа I-альфа (96-98 %)).

Результаты работы широко обсуждались на научных конференциях всероссийского и международного уровня, получено 7 патентов РФ, опубликовано 72 статьи в журналах из списка ВАК, 48 – в журналах, индексируемых международными базами Web of Science и Scopus, из которых 19 – Q1 и Q2.

Автором впервые разработан способ предварительной обработки легковозобновляемого целлюлозосодержащего сырья с помощью разбавленного раствора азотной кислоты. Способ реализуется в стандартном емкостном оборудовании при атмосферном давлении и температуре 92-96 °С и позволяет получить два продукта: легкогидролизуемый субстрат для ферментативного гидролиза и комбинированное лигногуминовое удобрение. Показано, что твердый остаток, остающийся после ферментативного гидролиза может быть превращен в аморфный диоксид кремния для последующего использования. Разработаны научные основы энергоэффективных технологий получения биоэтанола и БНЦ из легковозобновляемого целлюлозосодержащего сырья, высокий выход целевого продукта. Разработана нормативная документация на технологии получения биоэтанола и БНЦ, технологии масштабированы в условиях опытно-промышленного производства.

Таким образом, в результате выполнения диссертационных исследований автором разработаны фундаментальные технологические основы комплексной переработки легковозобновляемого целлюлозосодержащего сырья в ценные продукты микробиологического синтеза. Внедрение разработанных технологий позволит не только осуществить импортозамещение, но и создать инновационные наукоёмкие производства, которые позволят динамично развивать научно-технологический комплекс России, получать продукты с высокой добавленной стоимостью, создавать новые рабочие места.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 1.5.6. Биотехнология по нескольким направлениям, таким как - 2. Исследование и разработка требований к сырью (включая вопросы его предварительной обработки), биостимуляторов и другим элементам; - 7. Новые технологические процессы микробиологического синтеза, биотрансформации, биокатализа, иммуносорбции, биодеструкции, биоокисления, биокомпостирование отходов, очистки техногенных отходов (сточных вод, газовых выбросов и др.), создание замкнутых технологических схем микробиологического производства.

При прочтении автореферата возникли некоторые вопросы и небольшие замечания.

- В автореферате диссертант не указывает, какие статистические критерии и подходы использовались для обработки экспериментальных данных. В таблицах результаты приведены с доверительными интервалами, вероятно?
- На рисунке 5 экспериментальные значения, указывающие на количество клеток микроорганизмов (точки через определенные промежутки времени) приведены без указания стандартных отклонений и соединены между собой, что не отражает реальное содержание клеток в эти промежутки времени, хотя такие зависимости часто приводят для наглядности.

– Хотелось бы видеть в электронной версии автореферата цветные фотографии сырья до и после переработки, нового продукта БНЦ.

Однако перечисленные замечания носят субъективный характер и не снижают всей ценности выполненного автором исследования.

В связи с вышеизложенным считаю, что работа Скибы Екатерины Анатольевны соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, ред. от 26.09.22), предъявляемым ВАК Министерства науки и высшего образования РФ к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.5.6. – Биотехнология.

Доктор химических наук по специальности, 03.00.23 – Биотехнология, профессор, заведующая кафедрой биотехнологии Естественнонаучного института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет»; +7 (4872) 25-79-29; [olgaponamoreva@mail.ru](mailto:olgaponamoreva@mail.ru)

« 31 » января 2023 г. \_\_\_\_\_ Понаморева Ольга Николаевна

Адрес организации: 300012, Тульская область, г. Тула, проспект Ленина, д. 92, (9 уч. корпус).

Подпись Понаморевой О.Н. удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета  
ФГБОУ ВО Тулу



\_\_\_\_\_ Л.И. Лосева