



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИХТТМ СО РАН,  
чл.-корр. РАН, д.х.н.

*А.П. Немудрый* А.П. Немудрый

«*20*» *мар* 2021 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИХТТМ СО РАН)

на диссертацию Мироновой Галины Федоровны «Повышение эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 03.01.06 – Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)

### **Актуальность темы исследований**

В последнее время экологическая повестка в России становится все более актуальной. Шелуха овса – массовый многотоннажный отход, для которого до сих пор не было найдено рационального способа утилизации. Биотехнологическая переработка шелухи овса в биоэтанол, предложенная в ИПХЭТ СО РАН (Бийск) и усовершенствованная Мироновой Г.Ф., будет способствовать экологизации промышленности страны. Продукт переработки – технический биоэтанол – интересен своей универсальностью: он может быть применен и в качестве топлива, и как растворитель, и как сырьё для многих химических веществ (биоэтилен, водород и многое другое). В настоящее время большой объем биоэтанола технического назначения получают из пищевого сырья. Ценность внедрения технологии биоэтанола из шелухи овса состоит в сохранении и косвенном повышении продовольственной безопасности страны. В связи с этим, работа Мироновой Г.Ф. является чрезвычайно актуальной.

Актуальность работы подтверждается проведением исследований при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты государственных заданий, интеграционные

проекты, стипендия Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики).

### **Научная новизна исследований**

С привлечением математических приемов планирования и обработки экспериментальных данных автором впервые была проведена оптимизация технологических решений биотрансформации субстрата из шелухи овса на стадиях ферментативного гидролиза и спиртового брожения, а именно найден эффективный состав мультиэнзимной композиции, оптимизирована продолжительность отдельной стадии ферментативного гидролиза перед совмещением ее со спиртовым брожением, оптимизирован состав питательной среды на основе ферментативного гидролизата стимуляторами биосинтеза этанола. Автором разработаны технологические режимы подпитки субстратом и ферментными препаратами, что впервые позволило преодолеть ограничения перемешивания при повышении концентрации субстрата из шелухи овса от 60 г/л до 150 г/л и позволило повысить концентрацию биоэтанола в бражке в 2,1 раза.

Новизна технических решений подтверждена патентом РФ № 2701643 «Способ получения биоэтанола из целлюлозосодержащего сырья» (первый автор Миронова Г.Ф.).

Новые научные технологические решения научно обоснованы и не вызывают сомнений.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы очевидна и заключается в повышении эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса по сравнению с базовой технологией ИПХЭТ СО РАН: концентрация биоэтанола в бражке увеличена более чем в 2 раза (от 2,3 % об. до 5,4 % об.). Оптимизированная технология прошла апробацию на опытно-промышленном производстве ИПХЭТ СО РАН. Из полученного опытного биоэтанола получен этилен в ИК СО РАН (Новосибирск).



Полученные результаты работы имеют существенное значение для развития страны и могут быть рекомендованы для практического применения при перепрофилировании предприятий, например, ООО «РУДО-НД» (Рязанская область), а также при создании производств биоэтанола, в том числе расположенных при зерноперерабатывающих предприятиях.

### **Характеристика содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа, представленная к рассмотрению, включает введение, обзор литературы, объекты и методы исследований, экспериментальную часть и обсуждение результатов, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы (180 наименований, из них 117 зарубежных), 3 приложения. Работа изложена на 119 страницах, содержит 23 рисунка и 17 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, приведены цель и задачи, отражена научная новизна и практическая значимость работы, описан личный вклад автора.

В первой главе представлен обзор литературы, в котором в логической последовательности приведена характеристика биоэтанола с основными способами и источниками для его получения, характеристика целлюлозосодержащего сырья, аналитическая характеристика сельскохозяйственных целлюлозосодержащих отходов и, в частности, шелухи овса. С примерами описаны методы трансформации целлюлозосодержащего сырья в среды для сбраживания (гидролиз кислотами, ферментативный гидролиз с предобработкой сырья различными методами); ферменты, участвующие в биоконверсии; продуценты и стимуляторы биосинтеза биоэтанола; конфигурации проведения стадий в технологии биоэтанола (раздельное проведение ферментативного гидролиза и спиртового брожения, одновременное проведение этих стадий, альтернативные конфигурации). По обзору литературы автором сделаны выводы и четко обосновано выбранное направление исследований.

Во второй главе описаны используемые объекты исследований (шелуха овса, продукты её предварительной обработки, ферментные препараты, продуценты биоэтанола) и методы анализа субстратов, ферментативных гидролизатов, бражки, биоэтанола, приведены формулы расчета выходов сахаров и биоэтанола.

В третьей главе, разделенной на 7 частей, представлена экспериментальная часть работы и обсуждение результатов, начиная с оптимизации мультиэнзимной композиции для первой стадии ферментативного гидролиза, заканчивая описанием получения биоэтанола из шелухи овса на опытно-промышленном производстве и сравнительной экономической оценкой. Все результаты исследований изложены автором достаточно подробно, проиллюстрированы или приведены таблицы, результаты подробно научно обсуждены.

В заключении автор обобщает полученные результаты. Выводы логически следуют из анализа экспериментальных данных и отражают основные положения диссертации.

Диссертационная работа построена в логичном порядке, написана грамотно, автор использует современную научную терминологию.

В автореферате, изложенном на 16 страницах, отражается основное содержание диссертации и выводы, а также приводится список публикаций, которые тоже отражают основное содержание работы.

Материалы диссертации прошли широкую апробацию на конференциях всероссийского и международного уровня. По основным результатам работы получен патент РФ, опубликовано 10 статей (10 в журналах из списка ВАК, 6 – в журналах *Web of Science* и *Scopus*).

### **Вопросы и замечания**

1. Какие еще компоненты, кроме проанализированных, присутствуют в шелухе овса, как они могут влиять на применяемые соискателем биотехнологические процессы (в таблице 2.1. нет



соответствующих данных)? Исходя из зольности, можно ли использовать шелуху овса для получения твердого биотоплива – пеллет, брикетов?

2. Почему, по мнению автора, композиция из ферментных препаратов работает лучше, чем каждый ферментный препарат отдельно, хотя ферментный препарат по своей сути является мультиэнзимной композицией? Возможно, состав мультиэнзимной композиции стоило выразить в ферментативных активностях, а не в миллиграммах; это бы значительно увеличило универсальность полученных результатов.

3. Что представляет собой остаток после ферментативного гидролиза, известен ли его химический состав, как возможно его утилизировать?

4. Зачем проводилось совмещение стадий гидролиза и спиртового брожения, если эффективность гидролиза и без совмещения весьма высока? Чем обоснован выбор штаммов микроорганизмов?

5. С чем связано, что при фермент-субстратной подпитке повышается концентрация спирта, но его выход уменьшается?

6. Не привела ли оптимизация процесса к повышению нагрузки на систему? Выдержит ли используемое технологическое оборудование?

7. Целью работы являлось повышение эффективности процесса получения биоэтанола. Что являлось главным критерием эффективности?

Стоит отметить, что возникшие вопросы и замечания не носят принципиальный характер и не снижают высокой оценки диссертационной работы.

### **Заключение**

По тематике, предмету и методам исследования диссертация Мироновой Г.Ф. соответствует паспорту специальности 03.01.06 Биотехнология (в том числе бионанотехнологии) по пунктам 2-5, 7.


Считаем, что диссертация Галины Федоровны является завершенной научно-квалифицированной работой, проведенной на высоком научном

уровне с применением современных методов исследований, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны.

Таким образом, диссертационная работа Мироновой Г.Ф. полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа Мироновой Г.Ф. и данный отзыв обсуждены и одобрены на заседании лаборатории механохимии ИХТТМ СО РАН (протокол № 2 от 29 апреля 2021 г.). Присутствовало на заседании 11 человек, в обсуждении приняло участие 11 человек. Результаты голосования: «за» – 11 (одиннадцать) человек, «против» – нет, «воздержались» – нет. Отзыв составлен д.х.н. О.И. Ломовским и д.х.н. А.Л. Бычковым.

Доктор химических наук, специальность  
02.00.21 – Химия твёрдого тела, главный научный сотрудник лаборатории механохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, профессор


  
\_\_\_\_\_ Олег Иванович Ломовский

Доктор химических наук, специальность 02.00.21 – Химия твёрдого тела, заместитель директора по научной работе, старший научный сотрудник лаборатории механохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук

  
\_\_\_\_\_ Алексей Леонидович Бычков

Подпись О.И. Ломовского и А.Л. Бычкова заверяю  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН; 630128 г. Новосибирск ул. Кутателадзе, д. 18; (383) 332-40-02; root@solid.nsc.ru



  
Заместитель директора А.В.