

ЛАВРОВА Ю. А., НОВОКУПЦЕВ Н. В., НАДЕЖИНА О. С.
СТРУКТУРА БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК И СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА
С ЛЕВАНСОДЕРЖАЩИМ БИОСВЯЗУЮЩИМ

Аннотация. Получены экологически чистые биокomпозиционные материалы с использованием смеси сосновых опилок со свекловичным жомом и левансодержащего биосвязующего, исследована их структура. Улучшенная структура является предпосылкой высоких физико-механических характеристик полученных биопластиков.

Ключевые слова: биокomпозиционные материалы, структура, древесные опилки, свекловичный жом, экзополисахарид леван.

LAVROVA YU. A., NOVOKUPTSEV N. V., NADEZHINA O. S.
STRUCTURE OF BIOCOMPOSITE MATERIALS BASED ON SUGAR BEET PULP AND
WOOD SAWDUST WITH LEVAN-CONTAINING BINDER

Abstract. By mixing of pine sawdust, sugar beet pulp and levan-containing binder environmentally friendly biocomposite materials were obtained. The advanced composite structure provides high physical and mechanical properties of the bioplastics obtained.

Keywords: biocomposite materials, structure, wood sawdust, sugar beet pulp, exopolysaccharide levan.

Леван – это внеклеточный полисахарид, который представляет собой полимер фруктозы. В химическом отношении бактериальный леван – нейтральный разветвленный полисахарид, построенный из остатков D-фруктофуранозы, которые в основной цепи соединены связями β -2 $\rightarrow$ 6, а в местах разветвлений — α -2 $\rightarrow$ 1 [1; 2; 3].

Леван обладает сильными адгезивными свойствами, поэтому одним из перспективных направлений его применения является замена им токсичных термореактивных смол, используемых при производстве композиционных материалов [4].

Одной из проблем в настоящее время является переработка отходов из растительного сырья. Жом сахарной свеклы – это отход свеклосахарного производства, представляющий собой первичную клеточную стенку, состоящую преимущественно из целлюлозы, связующих гликанов и пектиновых веществ [5].

Исходя из этого, целью нашего исследования являлось получение биокomпозиционных материалов на основе сосновых опилок и свекловичного жома с биосвязующим на основе левана, а также определение структуры полученного материала.

Материалы и методы. На первом этапе работы было получено биосвязующее на основе экзополисахарида *A. vinelandii* штамм D-08 культуру выращивали в течение 72 часов при 28° С. Состав агаризованной среды был следующим: г/л: K₂HPO₄ – 0,8; KH₂PO₄ – 0,2; CaSO₄ · 7H₂O – 0,2; MgSO₄ · 7H₂O – 0,2; Na₂MnO₄ – 0,05; FeCl₃ – 0,05; дрожжевой экстракт – 0,5; сахароза – 20,0; агар-агар – 20,0.

С целью получения инокулята выращивание *A. vinelandii* штамм D-08 проводили на жидкой сахаросодержащей среде следующего состава: г/л: K₂HPO₄ – 0,8; KH₂PO₄ – 0,2; CaSO₄ · 7H₂O – 0,2; MgSO₄ · 7H₂O – 0,2; Na₂MnO₄ – 0,05; FeCl₃ – 0,05; дрожжевой экстракт – 0,5; сахароза – 20,0. Культивирование *A. vinelandii* осуществляли в термостатируемом шейкере 72 часа при 250 об/мин и температуре 28° С.

Полученным инокулятом засеивали питательные среды, в состав которых вошли отходы пищевых производств – меласса, послеспиртовая барда и молочная сыворотка (в соотношении 1:1:1) с добавлением лигноцеллюлозных наполнителей в соотношении 1:3, 1:6 к питательной среде. Культивирование проводили в течение 72 часов (3 суток) при 250 об/мин и температуре 28° С.

Известно, что для роста бактерий *A. vinelandii* необходимы такие компоненты, как углеводы, спирты, органические кислоты, минералы в виде фосфорных и кальциевых солей [4]. Используемые нами отходы пищевых производств содержат вещества, необходимые для роста микроорганизма, так и для образования и накопления полисахарида левана.

На втором этапе работы были получены биокomпозиционные материалы на основе сосновых опилок и свекловичного жома с биосвязующим на основе левана.

Полученную нами культуральную жидкость с лигноцеллюлозным наполнителем подвергали упариванию и высушиванию в сушильном шкафу при температуре 50° С. Высушенную массу загружали в пресс-форму и подвергали горячему прессованию при температуре 140° С и давлении 19,6 МПа (15 т) в течение 5 минут.

На третьем этапе мы изучали структуру полученных биокomпозиционных материалов.

Изучение структуры биокomпозиционных материалов проводили на многофункциональном растровом электронном микроскопе с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200 i 3D (FEI Company, США).

Результаты и их обсуждение. Нами было отмечено, что вид лигноцеллюлозного наполнителя в среде культивирования не оказывал отрицательного влияния на рост и развитие бактерии *A. vinelandii* штамм D-08.

На третьи сутки полученная нами культуральная жидкость обладала густой и вязкой консистенцией, что показано на рисунке 1. Наиболее это было выражено в среде с содержанием смеси свекловичного жома и сосновых опилок в соотношении 1:1.



1 2 3 4

Рис. 1. Культуральная жидкость бактерий *A. vinelandii* штамм D-08 при росте на питательной среде с лигноцеллюлозным наполнителем: 1 – без лигноцеллюлозного наполнителя; 2 – с древесными опилками; 3 – с древесными опилками и свекловичным жомом (отношение лигноцеллюлозного наполнителя к питательной среде 1/3); 4 – с древесными опилками и свекловичным жомом (отношение лигноцеллюлозного наполнителя к питательной среде 1/6).

Электронное микроскопирование полученных нами материалов позволило получить изображение структуры образцов в высоком разрешении. На рисунке 2 можно наблюдать структуру прессованного материала, представляющего собой сосновые опилки без биосвязующего.

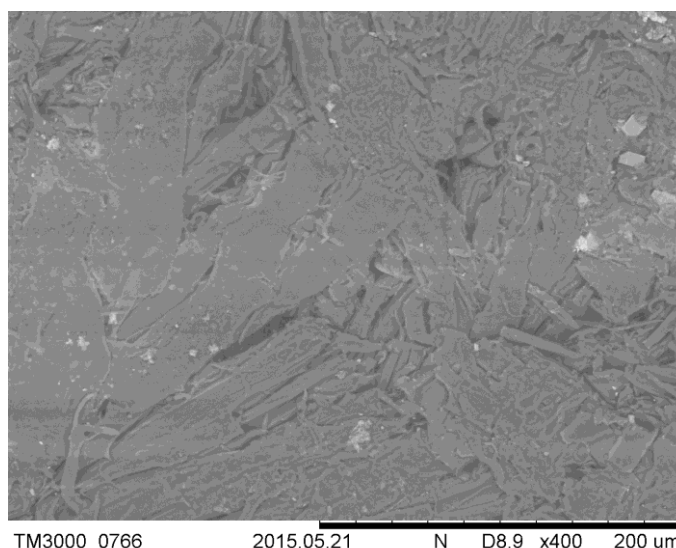


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия композиционного материала на основе сосновых опилок без биосвязующего.

Изображение демонстрирует наличие дезориентированных частиц на поверхности образца и наличие пустот (пор), следовательно, уменьшается площадь контакта частиц. Данный факт может негативно сказаться как на прочностных характеристиках материала, так и на избыточном водопоглощении.

Также нами был взят образец на основе сосновых опилок с левансодержащим биосвязующим, представленный на рисунке 3. Количество пор сравнительно снижалось. В результате, можно предполагать, что леван заполнил пространство между опилками и, следовательно, образовалась более плотная структура материала.

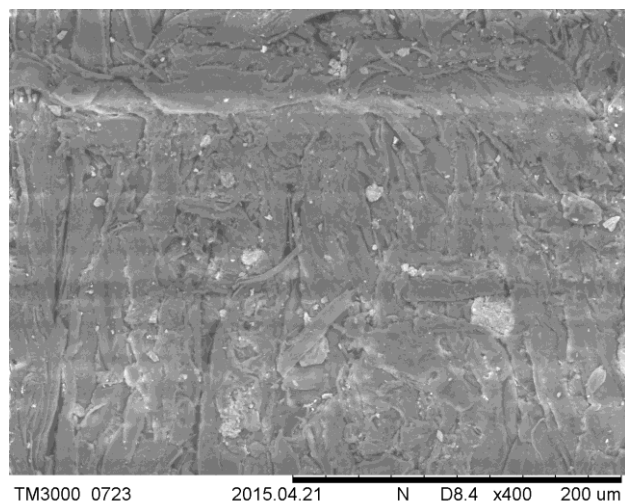


Рис. 3. Сканирующая электронная микроскопия биокomпозиционного материала на основе сосновых опилок с левансодержащим связующим.

Третий образец представлял собой смесь свекловичного жома и сосновых опилок с левансодержащим биосвязующим, представленный на рисунке 4. Поверхность образца была представлена упорядоченными параллельными волокнами, которые плотно прилегают друг другу, что исключает наличие пор между ними.

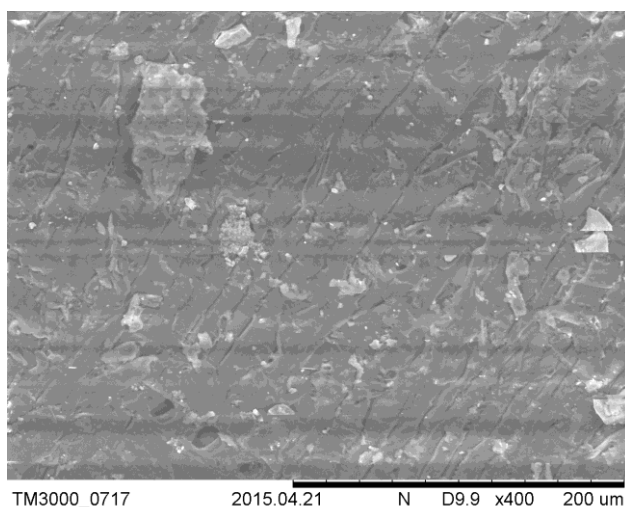


Рис. 4. Сканирующая электронная микроскопия биокomпозиционного материала на основе сосновых опилок и свекловичного жома с левансодержащим связующим.

Вероятно, что использование свекловичного жома и левансодержащего биосвязующего позволяет получить материал, в котором происходит эффективное обволакивание древесных опилок и появляются условия для создания большего числа клеевых слоев за счет адгезивных свойств левана и веществ, входящих в состав свекловичного жома. Стоит предположить, что это вызвано присутствием в свекловичном жоме пектиновых веществ и связующих гликанов (растительной целлюлозы). Такая плотная структура материала может служить предпосылкой для высоких физико-механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новокупцев Н. В. Оптимизация условий культивирования *Azotobacter vinelandii* Д-08 для увеличения выхода экзополисахарида / Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2016. – Т. 16, Вып. 2. – С. 164–168.
2. Ревин В. В., Шутова В. В., Новокупцев Н. В. Биокмпозиционные материалы на основе ультрадисперсных частиц древесины и левана, полученного путем микробного синтеза *Azotobacter vinelandii* Д-08 // Технические науки. – 2016. – № 1 – С. 53–57.
3. Srih Belghitha K., Dahecha I. et al. Microbial production of levansucrase for synthesis of fructooligosaccharides and levan // International Journal of Biological Macromolecules. – 2012. – Vol. 50. – P. 451–458.
4. Ревин В. В., Шутова В. В., Атыкян Н. А. и др. Теоретические и прикладные основы получения биокмпозиционных материалов с помощью биологических связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 280 с.
5. Дранников А. В., Дятлов В. А., Шишова Е. И. Влияние структуры свекловичного жома на энергозатраты в процессе сушки // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 8. – С. 5.