

УДК 631.362.3.633.1

М.Н. МОСКОВСКИЙ, Р.А. ФРИДРИХ, А.А. ГУЛЯЕВ**СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ СОЛОМЫ,
ОБРАБОТАННОЙ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Рассмотрено применение солоmistых отходов в качестве фракционированной солоmistой подстилки на птицефабриках при напольном содержании птицы. Определены оптимальные параметры переработанного солоmistого материала после обработки излучением СВЧ. Исследованы качественные изменения структурной поверхности соломы.

Ключевые слова: солоmistая подстилка, излучение СВЧ, структурная поверхность, энергия микроволн, капиллярная влага, сканирующий зондовый микроскоп.

Введение. При получении зернового материала остается значительное количество солоmistой массы, которую принято считать отходом сельскохозяйственного производства, не используемую в полном объеме.

Один из способов утилизации солоmistого вороха — использование его в животноводстве, птицеводстве в качестве подстилочного материала при технологии напольного содержания животных и птицы на глубокой подстилке. Согласно исследованиям, проведенным ВНИТИПом, солоmistая подстилка должна удовлетворять ряду требований, основными из которых являются ограничения — гигроскопичность материала, наличие микробной среды, фракционный состав, процентное содержание сорных фракций [1]. На сегодняшний день используется либо подстилка из древесных опилок, которая является более дорогостоящей, либо обыкновенная измельченная солома, которая не соответствует заданным показателям качества по адсорбционным свойствам и по наличию микробной среды.

Исследования гигроскопичности, влагоемкости материалов, а также их взаимосвязь со структурной поверхностью определена в ряде работ [2].

Постановка задачи. Цель исследований — определение изменения структурной поверхности солоmistого материала, его свойств гигроскопичности в зависимости от электромагнитного воздействия на него волнами СВЧ. В дальнейшем это позволит получать солоmistый материал с активной деформированной поверхностью, улучшенными адсорбционными свойствами и повышенной гигроскопичностью.

На основе существующей методологии [3] нами был разработан метод исследования поверхности солоmistой структуры на микро- и наноуровне пространственного разрешения с использованием сканирующей зондовой микроскопии, спектроскопии и литографии, что позволило комплексно оценить и диагностировать физические и механические характеристики не только солоmistой структуры, но и сельскохозяйственных объектов различной природы и модификаций.

В качестве исходного материала была использована солома озимой пшеницы «прикумчанка» урожая 2009 г. — выход солоmistой фракции зерноуборочного комбайна «Клас». Образцы исходного материала представляли собой обработанную солому длиной 50 мм и диаметром

2-3

мм.

В соответствии с методикой планирования эксперимента была разработана программа экспериментальных исследований [3]. Определено число повторностей опытов, обеспечивающих относительную случайную ошибку показателей.

Исследуемые образцы соломы были обработаны электромагнитными волнами СВЧ с использованием установки для излучения сверхвысоких частот и с учетом собранной априорной информации. Установка обеспечивала генерацию импульсов плоскополяризованного

электромагнитного излучения со следующими параметрами: частота излучения 2450 МГц, мощность в импульсе 1,49 МВт, длительность СВЧ импульса 60 с, частота следования импульсов 375 Гц. Размещали СВЧ установку на открытой площадке, размеры которой исключали влияние отраженного от окружающих предметов СВЧ излучения на образцы. В установку помещали исследованные образцы. Герметичность установки гарантировала защиту от воздействия внешних факторов (в первую очередь, температуры и влажности).

Обработанные образцы были исследованы на стандартизированном оборудовании, которое прошло сертифицированную поверку, и активно применялось как в учебной, так и научной деятельности.

Первоначально образцы обработанного материала были исследованы на лабораторном микроскопе с увеличением в 20 раз.



а)

Рис. 1. Образцы соломистого материала:

а — срез исходного материала; б — до обработки; в — после обработки

Для более наглядного изучения образцы были помещены друг над другом (рис. 1, б, в). Сверху — необработанная солома, а снизу — солома, прошедшая обработку в СВЧ установке. При визуальном сравнении двух образцов заметна разница в шероховатости наружной поверхности. Поверхность после обработки более шероховатая.

Для глубокого изучения структуры было решено использовать оборудование, обеспечивающее процесс исследования как на микро-, так и на наноуровне.

Для полученных образцов соломы была определена и адаптирована методика исследований на основе атомно-силового метода зондовой микроскопии. Устройством, обеспечивающим исследования, служил сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) NanoEducator. С его помощью можно реализовывать различные методы измерений туннельной и «полуконтактной» атомно-силовой микроскопии при исследованиях в области физики и технологии микро- и наноструктур, материаловедения, катализа, физики и химии полимеров, трибологии, цитологии и т. п. [4].

Использование СЗМ позволяет визуализировать, диагностировать и модифицировать вещество с нанометровым уровнем пространственного разрешения. В основе сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии лежит взаимодействие между твердотельным зондом,

приближенным к объекту исследования на некоторое малое расстояние λ , где λ — характерная длина затухания взаимодействия «зонд—объект». Образец соломы фиксируется, а игла перемещается по трем пространственным координатам: X , Y — в плоскости образца, Z — по вертикальной плоскости (перпендикулярно плоскости X — Y).

При проведении исследований нами были выделены размерные участки соломы 50×50 , 23×23 , 12×12 мкм. В результате соответствующих исследований получены следующие результаты (рис. 2, 3).

Из рис. 2 видно, что поверхность исходного соломистого материала представляет собой гладкую и относительно однородную поверхность по высоте, в то время как поверхность обработанного образца имеет «игольчатую», шероховатую поверхность и неоднородна по высоте.

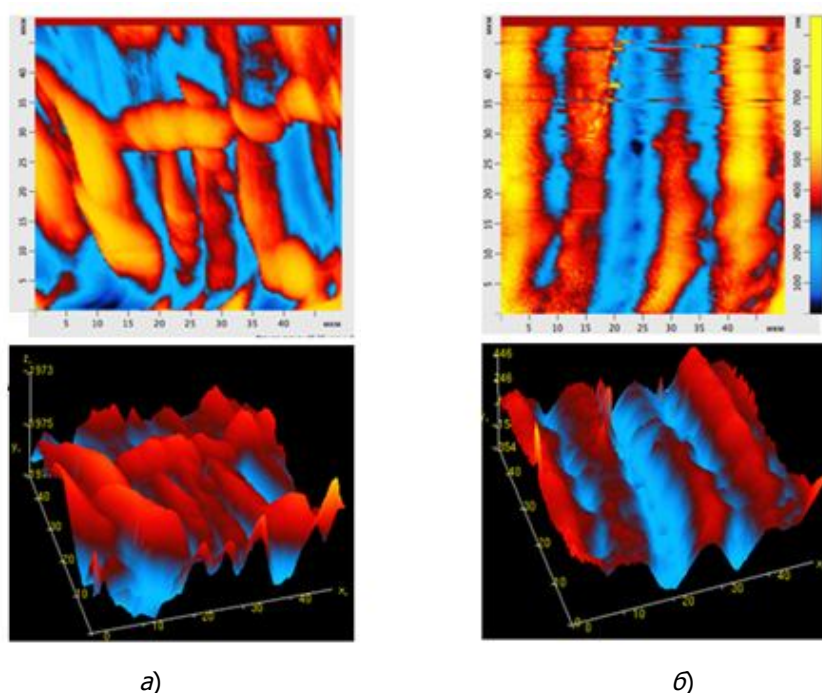


Рис. 2. 2-D и 3-D модель поверхности соломистого материала размером 50×50 мкм:
а — исходного; б — обработанного

На рис. 3 представлен участок соломы размером 23×23 мкм, где более приближенно видна однородность поверхности и ее относительная гладкость на необработанном материале, а 3-D модель показывает существенные качественные изменения на поверхности материала. Отчетливо видны неоднородные всплески по высоте.

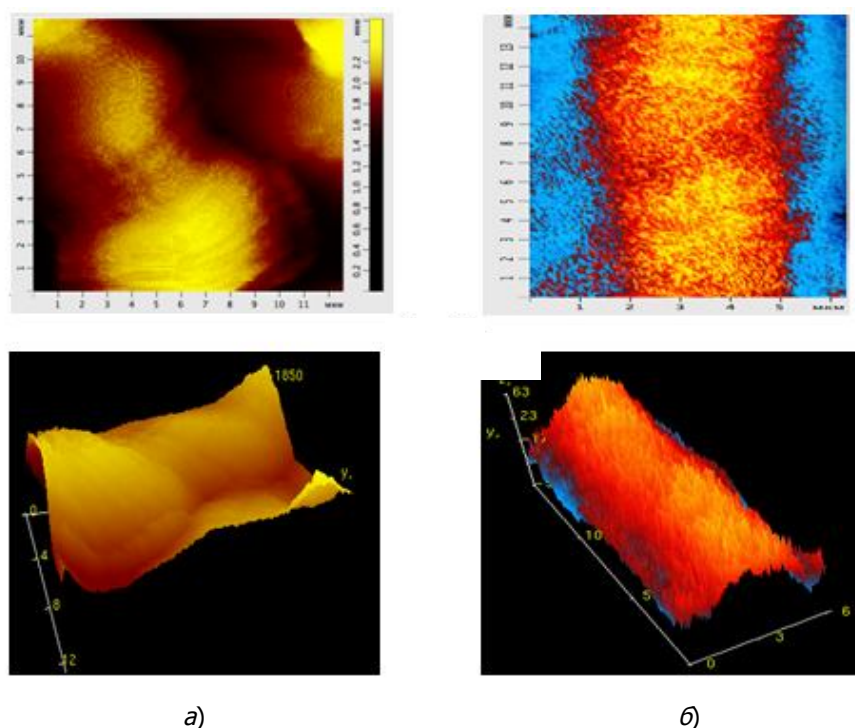


Рис. 3. 2-D и 3-D модель поверхности соломистого материала размером 23×23 мкм:
 а — исходного; б — обработанного

Нами была изучена поперечная поверхность исходных и обработанных образцов (рис. 4). На поперечном срезе необработанного материала видна пористая структура с перегородками капилляров, в то же время, после воздействия СВЧ волнами данные перегородки не наблюдаются, что свидетельствует об их разрушении вследствие нагрева материала волнами СВЧ. В результате чего поверхность образца, прошедшего СВЧ обработку, представляет «игольчатую» структуру.

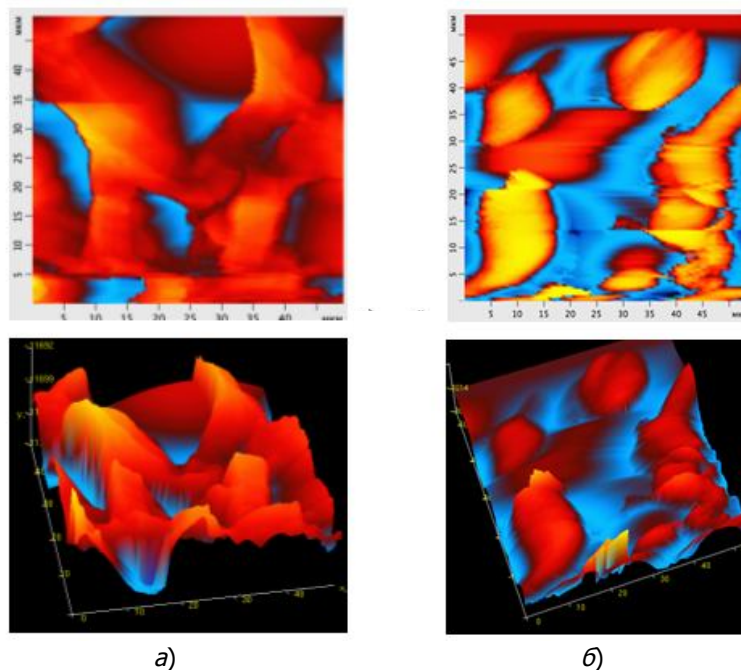


Рис. 4. 2-D и 3-D модель поперечной поверхности соломистого материала размером 12×12 мкм:
 а — исходного; б — обработанного

Нами проведен первоначальный математический анализ поверхности двух образцов на основе графического представления распределения высот по оси OZ и OX (рис. 5).

Была установлена зависимость $y = f(x)$ высоты от распределения поверхности и определены квадратичные функции распределения высот:

$$y_1 = -0,0119x^2 + 1,3622x - 3,990 \text{ (после обработки)},$$

$$y_2 = -0,004x^2 + 0,425x + 31,60 \text{ (до обработки)}.$$

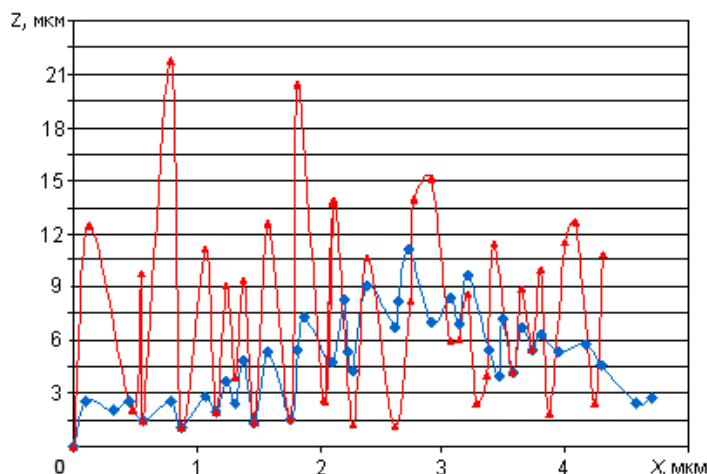


Рис. 5. Сводный график распределения высот обеих поверхностей соломистого материала размером 12×12 мкм: —▲— — после обработки; —◆— — до обработки

При интегрировании заданных уравнений на участке $0-4$ мкм

$$\int_0^4 y_1 dx = -0,0119 \int_0^4 x^2 dx + 1,3622 \int_0^4 x dx + 3,990 \int_0^4 dx,$$

$$\int_0^4 y_2 dx = -0,004 \int_0^4 x^2 dx + 0,425 \int_0^4 x dx + 31,60 \int_0^4 dx$$

была определена площадь поверхности контакта до обработки $S_{y_1} = 26,25$ мкм² и после обработки $S_{y_2} = 129,74$ мкм².

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении поверхности материала за счет расширения капилляров вследствие микровзрывов. На основе этих данных была предложена гипотеза микровзрыва капиллярных соединений внутри материала в результате проникновения электромагнитных волн СВЧ сквозь структуру соломы и дестабилизации молекулы воды.

Данное явление уже наблюдалось при обработке зерна волнами СВЧ в экспериментах, проводимых ВНИПТИМЭСХом (Зерноград) [2].

Преобразование энергии микроволн в тепло происходит непосредственно внутри материала, при этом глубина проникновения поля разрешенного диапазона (915 или 2400 МГц) на порядок выше, чем для инфракрасного излучения. В результате обеспечивается интенсивный фазовый переход капиллярной влаги в пар и, соответственно, резкий рост давления паровоздушной смеси внутри соломы. Когда давление перегретого пара превышает прочностные свойства материала, происходит своеобразный «взрыв», разламывающий поверхность. Наилучшие результаты достигаются при совмещении СВЧ нагрева с баротермической влаготепловой обработкой. Увеличение площади поверхности контакта соломистого материала с влажной средой существенно повышает гигроскопичность соломистой подстилки.

Выводы. В результате экспериментальных исследований и после обработки экспериментальных данных получены следующие результаты и выводы.

1. При воздействии на солоmistый материал лучами СВЧ наблюдается изменение его структурной поверхности на микро- и наноуровне.

2. Выявлено, что площадь поверхности контакта увеличилась с параметра $S_{y_1} = 26,25 \text{ мкм}^2$ до параметра $S_{y_2} = 129,71 \text{ мкм}^2$, что свидетельствует о появлении новых свойств соломистого материала.

Библиографический список

1. Салеева И.П. Технологические методы и приемы повышения эффективности производства мяса бройлеров : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Сергиев Посад : Издательский центр ВНИТИП, 2007. — 41 с.
2. Пахомов А.И., Парапонов А.А. Проблемы и перспективы внедрения мощных источников СВЧ-энергии в сельскохозяйственное производство : материалы междунар. науч.-практ. конф. «Состояние и перспективы современного сельхозмашиностроения». В рамках 13-й междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2010» 6—9 марта 2010 г. / Рост. гос. акад. с.-х. машиностроения, Ростов н/Д, 2010. — С. 15—19.
3. Адлер А.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М. : Наука, 1976. — 280 с.
4. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. — М. : Техносфера, 2004. — 143 с.

References

1. Saleeva I.P. Tehnologicheskie metody i priemy povysheniya effektivnosti proizvodstva myasa broilerov : avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk. — Sergiev Posad : Izdatel'skii centr VNITIP, 2007. — 41 s. — in Russian.
2. Pahomov A.I., Paraponov A.A. Problemy i perspektivy vnedreniya moschnyh istochnikov SVCh-energii v sel'skohozyaistvennoe proizvodstvo : materialy mejdunar. nauch.-prakt. konf. «Sostoyanie i perspektivy sovremennogo sel'hozmashinostroeniya». V ramkah 13-i mejdunar. agropromyshlennoi vystavki «Interagromash-2010» 6—9 marta 2010 g. / Rost. gos. akad. s.-h. mashinostroeniya, Rostov n/D, 2010. — S. 15—19. — in Russian.
3. Adler A.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovii. — M. : Nauka, 1976. — 280 s. — in Russian.
4. Mironov V.L. Osnovy skaniruyuschei zondovoi mikroskopii. — M. : Tehnosfera, 2004. — 143 s. — in Russian.

Материал поступил в редакцию 07.06.10.

M.N. MOSKOVSKIY, R.A. FRIDRIKH, A.A. GULYAYEV

STRUCTURAL ANALYSIS OF CULMIFEROUS MATERIAL SURFACE UNDER MICROWAVE RADIATION TREATMENT

Application of culmiferous waste as fractionated strawy litter in the poultry plant under floor housing is considered. Optimal parameters of the initial culmiferous material processing by microwave radiation treatment are specified. Qualitative changes of structural straw surface are investigated.

Keywords: *strawy litter, microwave radiation, structural surface, microwaves energy, capillary moisture, scanning probe microscope.*

МОСКОВСКИЙ Максим Николаевич (р. 1974), доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и оборудование» Донского государственного технического университета (2010), кандидат технических наук (2005). Окончил ДГТУ (1996).

Область научных интересов — сепарация и фракционирование материалов в сельском хозяйстве, интенсификация процессов сепарации, применение энергоэффективных технологий в современном сельхозмашиностроении.

Автор 30 научных работ.

maxmoskovsky74@mail.ru

ФРИДРИХ Рудольф Александрович (р. 1967), доцент кафедры «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» Донского государственного технического университета (2006), кандидат технических наук (2001). Окончил ДГТУ (1993).

Область научных интересов — проектирование и разработка гидросистем мобильных машин, изучение поверхности трения элементов управления.

Автор 30 научных работ.

ГУЛЯЕВ Анатолий Анатольевич (р. 1986), магистрант кафедры «Сельскохозяйственные машины и оборудование» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (2009).

Область научных интересов — утилизация и переработка техногенных отходов производства, разработка и проектирование комплексов и машин по переработке отходов производства, анализ и оценка технологических свойств материалов на микро- и наноуровне.

Опубликована одна научная работа.

tomasss1086@mail.ru

Maxim N. Moskovskiy (1974), Associate Professor of the Agricultural Machinery and Equipment Department, Don State Technical University (2010). Candidate of Science in Engineering (2005). He graduated from DSTU (1996).

Research interests — separation and fractionating of materials in agriculture, separation processes intensification, application of energy-efficient technologies in present-day agriculture.

Author of 30 scientific publications

maxmoskovsky74@mail.ru

Rudolf A. Fridrikh (1967), Associate Professor of Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes, Don State Technical University (2006). Candidate of Science in Engineering (2001). He graduated from DSTU (1993).

Research interests — hydraulic mobile machines design and development, surface friction control research.

Author of 30 scientific publications.

Anatoly A. Gulyayev (1986), Undergraduate of the Agricultural Machinery and Equipment Department, Don State Technical University. He graduated from DSTU (2009).

Research interests — technological waste utilization and recycling, development and design of systems and machines for production waste utilization, analysis and evaluation of the material properties at micro and nano levels.

Author of 1 scientific publication.

tomasss1086@mail.ru