



Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН  
\*Северный Арктический государственный университет им. М.В. Ломоносова

# Результаты фундаментального исследования переработки мискантуса в различные продукты

*Работа поддержана грантом РФФИ № 22-13-00107,  
<https://rscf.ru/project/22-13-00107/>*

Зав. лаборатории биоконверсии ИПХЭТ СО РАН, к.х.н., доцент  
Будаева В.В.

от авторов Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н., Кортусов А.Н.,  
\*Севастьянова Ю.В., \*Скорнякова А.В., Сакович Г.В.

I Международная российско-китайская  
научно-техническая конференция  
РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ И ТЕХНОЛОГИИ ЦБП

25-26 июня 2024 г., г. Архангельск

# ЗНАЧИМОСТЬ НЕДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Известно, что история бумаги началась с недревесных видов сырья.

Причины современной значимости недревесных источников сырья:

Высокая востребованность бумаги

Широкий ассортимент от упаковочной до биосенсоров

Биоразлагаемость и сокращение синтетической упаковки

Необходимость сохранения лесов

Появление новых добавок (БЦ) для создания новых композиционных бумаг.



Бактериальная целлюлоза (БЦ) – это продукт биотехнологического синтеза.

Химическая формула совпадает с растительной целлюлозой.

Отличия:

- трехмерная сетка волокон с наношириной,
- высокая частота,
- высокие значения степени полимеризации и кристалличности,
- состоит из алломорфа целлюлозы I альфа.



**ИПХЭТ СО РАН - единственный поставщик БЦ на научный рынок России.**

# ВЫРАЩИВАНИЕ МИСКАНТУСА ГИГАНТСКОГО (МГ)



Ризомы мискантуса, хранение соломы в тюках и измерение влажности в стеблях



Плантация возрастом 5 лет, Московская область, 2023 год

**Цель:** разработка экологически эффективных способов выделения целлюлозы из МГ и оценка ее собственной бумагообразующей способности и изменении свойств при добавке БЦ

**Объекты исследования:** целое растение МГ и отдельно стебли МГ (фото справа), БЦ (на фото слева отправка из ИПХЭТ СО РАН в САФУ).

## Методы:

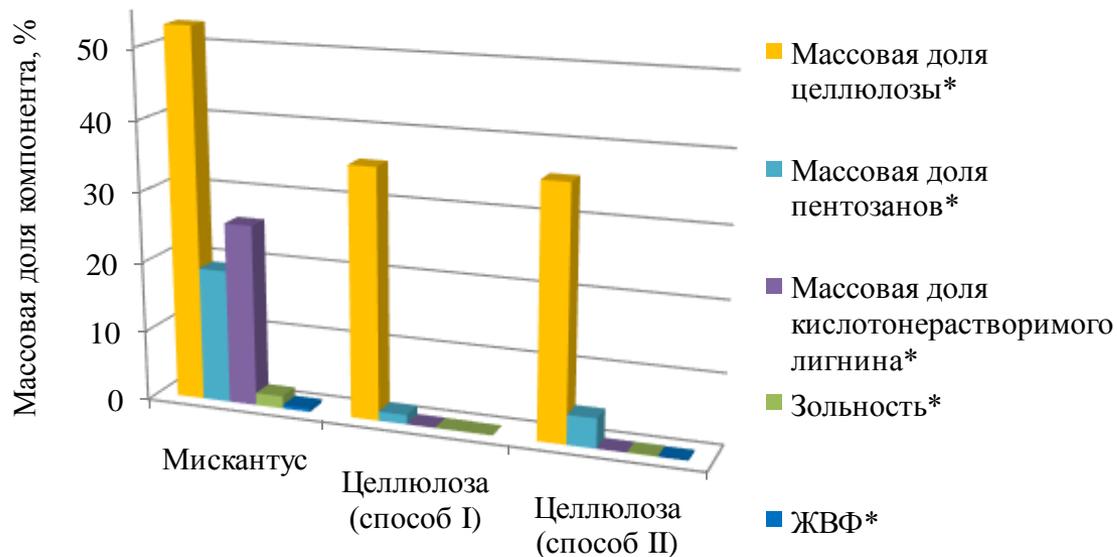
- стандартные методы определения компонентного состава сырья, готовой целлюлозы (ИПХЭТ);
- авторские способы получения целлюлозы (ИПХЭТ);
- стандартные методы измерения структурно-размерных характеристик волокон (САФУ);
- получение и исследование лабораторных образцов бумаги без БЦ и с БЦ (САФУ);
- стандартные методы определения структурно-размерных характеристик, показателей прочности и характеристик деформативности (САФУ).

**Образцы МГ сорта КАМИС:**  
целое растение, лист и стебель отдельно



**Отправка БЦ из ИПХЭТ СО РАН в САФУ**

# ДВА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ МГ



Степень извлечения целлюлозы обоими способами находится на уровне 67 %:

Выход по способу I 32-37 %,  
Выход по способу II 36-40 %.

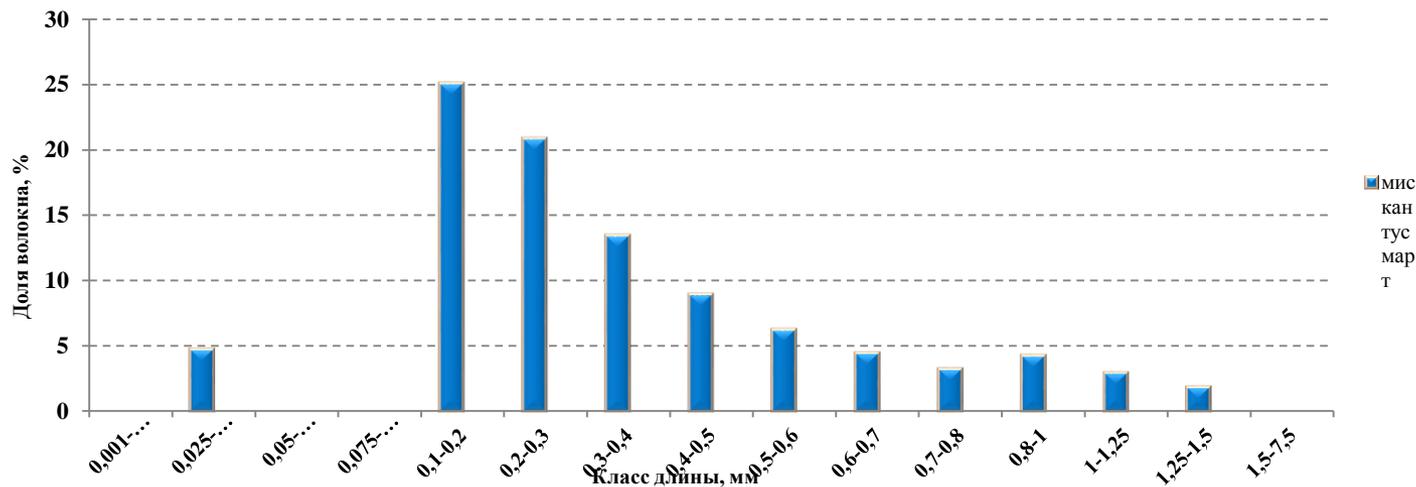
Массовая доля пентозанов:  
в целлюлозе I 1,9-3,3 %,  
в целлюлозе II 10,8-11,2 %.

Степень полимеризации:  
в целлюлозе I 700-1200,  
в целлюлозе II 1300-1650.

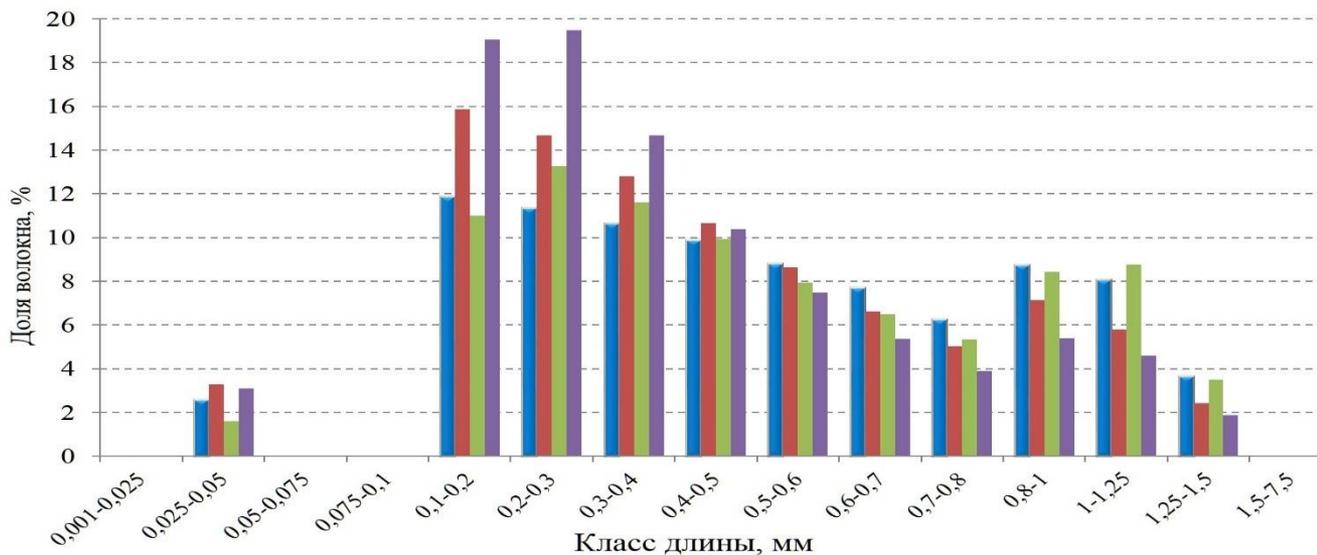


Визуализация способа I: три стадии

Способ II отличается исключением первой стадии



Средневзвешенная длина волокна образцов целлюлозы, полученных способом I (вверху), способом II (внизу)



Способ II позволяет получать целлюлозу с долей волокна с длиной 0,20-1,20 мм более 67 %

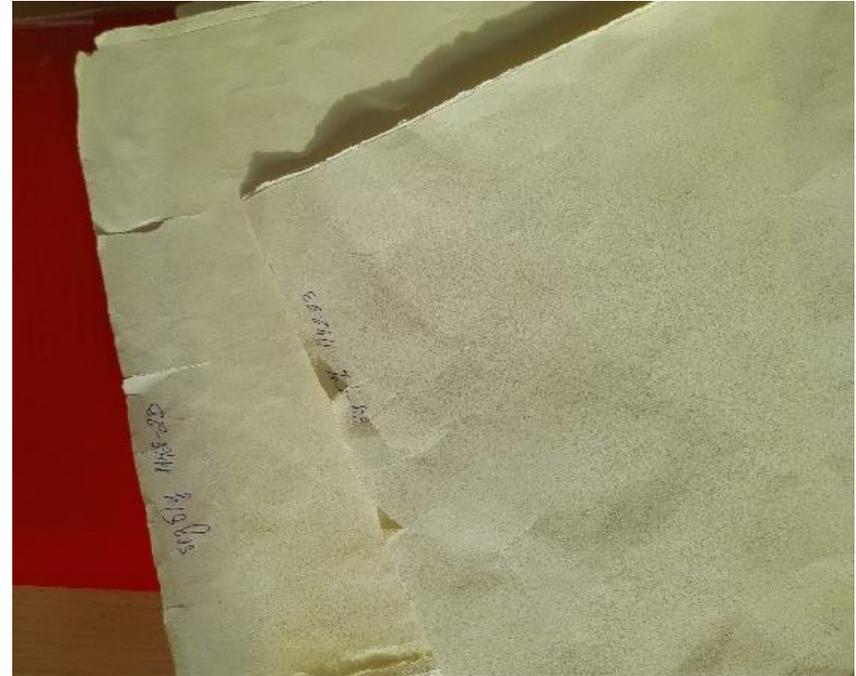
■ Целлюлоза № 3-2 (способ II) до помола  
■ Целлюлоза № 1 (способ II) до помола

■ Целлюлоза № 3-2 (способ II) после помола  
■ Целлюлоза № 1 (способ II) после помола

# ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНО-РАЗМЕРНЫЕ, ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ БУМАГИ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО СПОСОБУ I, В ТОМ ЧИСЛЕ С ДОБАВКОЙ БЦ



Показатели качества	Структурно-размерные характеристики бумаги		Показатели прочности		Характеристики деформативности				
	Средняя толщина образца, мкм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Разрывная длина, м	Сопротивление продавливанию, кПа	Жесткость при растяжении, кН/м	Работа разрушения, Дж/м <sup>2</sup>	Разрушающее напряжение, МПа	Разрушающая деформация, %	
Целлюлоза из образца МГ – № без и с добавкой БЦ	Способ получения целлюлозы I								
	№ 1	103	0,786	3100	70	362	12,74	23,59	0,91
	№ 2 ОП	Сформировать плотную структуру листа не удалось – на стадии отлива образец рассыпался							
	№ 2-1								
	№ 2-2	167	0,365	950	60	90,0	3,87	2,96	1,00
	<b>№ 2-2 ХП CD</b>	180	0,378	<b>1000</b>	60	94,1	4,10	<b>3,77</b>	1,02
	№ 2-2 ХП MD	171	0,410	1830	60	219,2	6,30	7,49	0,82
	<b>№ 2-2 5% БЦ CD</b>	151	0,444	<b>1600</b>	60	164,9	5,2	<b>7,14</b>	0,85
	№ 2-2 5% БЦ MD	150	0,489	1910	60	222,7	5,7	9,33	0,75
	<b>№ 2-2 15% БЦ CD</b>	153	0,482	<b>2370</b>	60	247,9	11,0	<b>11,41</b>	1,05
№ 2-2 15% БЦ MD	151	0,519	2520	70	282,6	11,4	13,08	0,98	



Образец бумаги из целлюлозы № 2-2 с хрупкими кромками (слева) и листы, изготовленные на динамическом листоотливном аппарате без добавления БЦ (справа)

**Добавка БЦ 5 % и 15 % способствовала повышению механической прочности. Инициативное исследование воздухопроницаемости обнаружило снижение этого показателя в 1,4 раза и 2,8 раза, соответственно.**

# ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНО-РАЗМЕРНЫЕ, ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ БУМАГИ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО СПОСОБУ II, В ТОМ ЧИСЛЕ С ДОБАВКОЙ БЦ



Показатели качества	Структурно-размерные характеристики бумаги		Показатели прочности		Характеристики деформативности				
	Средняя толщина образца, мкм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	<b>Разрывная длина, м</b>	Сопротивление продавливанию, кПа	Жесткость при растяжении, кН/м	Работа разрушения, Дж/м <sup>2</sup>	<b>Разрушающее напряжение, МПа</b>	Разрушающая деформация, %	
Целлюлоза из образца МГ – № без и с добавкой БЦ	Способ получения целлюлозы II								
	№ 3-1	95	0,748	3700	100	340,0	21,15	27,54	1,28
	<b>№ 3-2 ХП CD</b>	164	0,442	<b>1700</b>	70	181	6,56	<b>7,60</b>	0,92
	№ 3-2 ХП MD	165	0,435	4100		412	16,54	17,96	0,97
	№ 3-2 10% БЦ CD	146	0,427	<b>2700</b>	85	230	9,82	<b>11,56</b>	1,00
	№ 3-2 10% БЦ MD	147	0,438	3900		351	12,7	17,20	0,90
	№ 1 ХП CD	162	0,388	1200	60	140	2,68	4,75	0,66
	№ 1 ХП MD	165	0,375	4100		358	11,70	15,32	0,85
	№ 1 10% БЦ CD	191	0,443	1200	80	219	11,13	8,76	1,12
	№ 1 10% БЦ MD	190	0,468	3950		490	18,92	18,44	0,95

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФОРМОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ БУМАГИ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МГ С ПЕНТОЗАНАМИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПО СПОСОБУ II

Образцы лабораторной бумаги с высокими прочностными показателями



Листы бумаги, изготовленные из целлюлозы (вверху) и с добавкой БЦ (внизу)



Лабораторные образцы бумаги, изготовленные двумя различными способами: на листоотливном аппарате системы «Rapid-Köthen» (слева), на динамическом листоотливном аппарате (справа).

**Добавка БЦ 10 % не способствовала повышению механической прочности, но обеспечила снижение воздухопроницаемости в 2,0 раза.**



## ВЫВОДЫ



- Разработаны способы выделения целлюлозы из МГ, основанные на использовании разбавленных растворов NaOH и HNO<sub>3</sub>, с получением чистой целлюлозы (способ I: м.д. пентозанов менее 3,3 %) и целлюлозы с пентозанами (способ II: м.д. пентозанов в диапазоне 10,8-11,2 %).
- Основные показатели прочности образцов бумаги из чистой целлюлозы (способ I) позволяют использовать ее в качестве наполнителя в композиционных бумагах.
- Показано, что введение в состав 5 и 15 % бактериальной целлюлозы повышает разрывную длину в 1,6 и 1,4 раза и снижает воздухопроницаемость в 1,4 и 2,8 раз, соответственно. Как следствие, рекомендация использовать **для производства бумажных фильтров для биоочистки помещений.**
- Основные показатели прочности образцов бумаги из целлюлозы с пентозанами (способ II) позволяют рекомендовать данную целлюлозу в качестве **самостоятельного компонента различных сортов бумаги, включая одноразовую посуду.**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00107  
<https://rscf.ru/project/22-13-00107/> при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН.*



**Спасибо за внимание!**



**Вопросы и замечания ждем  
по адресу: [budaeva@incet.ru](mailto:budaeva@incet.ru)**



**Готовы к сотрудничеству!**

## СЛАЙД ИЗ ПРЕЗЕНТАЦИИ БУДАЕВОЙ В.В. В 2016 ГОДУ

Оборудование Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова (г. Архангельск)



Прибор Fiber Tester, центробежный размалывающий аппарат (ЦРА) Jokro Mill, листоотливной аппарат системы «Rapid-Köthen», прибор ТМБ-5-А с цифровым блоком регистрации, прибор Тест-система 105, прибор Lorentzen&Wettre Bursting Strength Tester-CODE180

Договор о творческом сотрудничестве в области науки и технологий, подписанный и.о. ректора САФУ им. М.В. Ломоносова Чичериной Н.В. и директором ИПХЭТ СО РАН Сысолятиным С.В. 28.05.2015 г.



**Отливка бумаги из мискантуса, 2014 г**



**Бумага специфического назначения, акт проведенных исследований № 61-2015**

**Свойства бумаги специфического назначения (про-во Германия) и бумаги из мискантуса**

№ образца		Структурные свойства бумаги			Показатели механической прочности и деформативности					
		масса г 1 м <sup>2</sup>	толщина, мкм	плотность, г/см <sup>3</sup>	П, кПа	L, м	S <sub>r</sub> , кН/м	TEA, Дж/м <sup>2</sup>	σ <sub>p</sub> , Н	ε <sub>p</sub> , %
Бумага специфического назначения (Германия)	№1	205	344	0,432	175	2700	444	43,82	60,07	11,65
	№2	205	345	0,417	180	3050	496	50,66	65,66	12,67
Бумага из мискантуса (ИПХЭТ СО РАН + САФУ)		200	283	0,653	90	2775	802	22,62	76,82	18,11