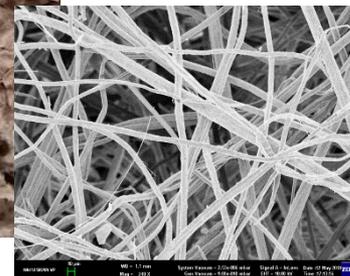
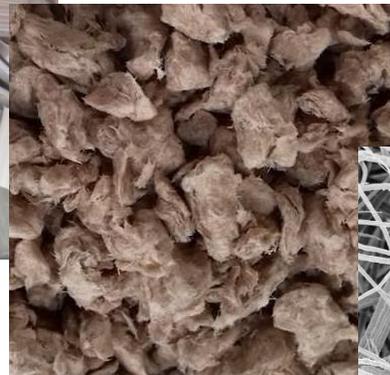


# ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТРОПИЧЕСКИХ ПОРОД

**Хоанг Минь Кхоа, аспирант**  
[hoangminhkhoa.vfu@gmail.com](mailto:hoangminhkhoa.vfu@gmail.com)

**М.И. Макаров, студент**  
**Е.О. Окулова, уч. мастер**  
**Я.В. Казаков, д-р техн. наук**

**Северный (Арктический)  
федеральный университет,  
г. Архангельск,  
Россия**



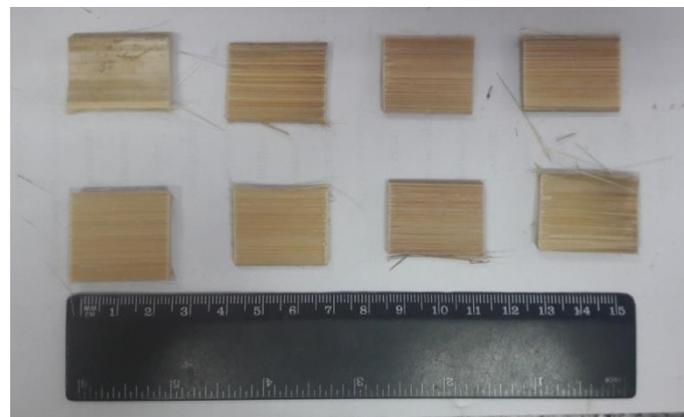
# Характеристика бамбука *Bambusa blumeana* и акации *Acacia hybrid*



Параметр	Значение
Высота, м	15–25
Диаметр, см	8–15
Происхождение	Вьетнам

# СУЛЬФАТНАЯ ВАРКА

## Автоклавная система CAS 420



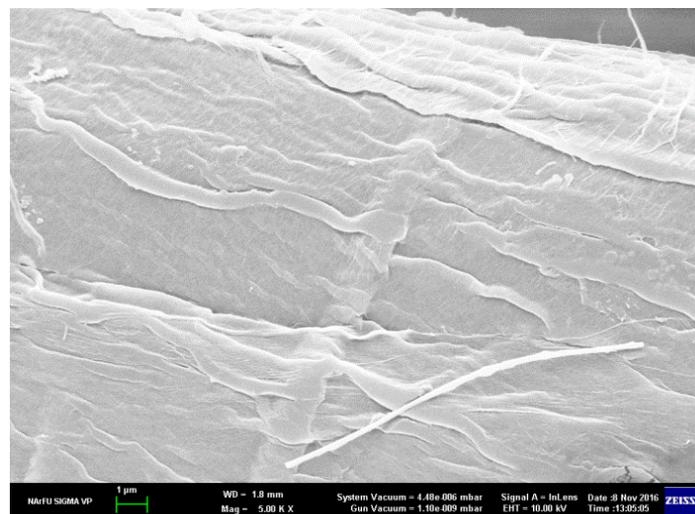
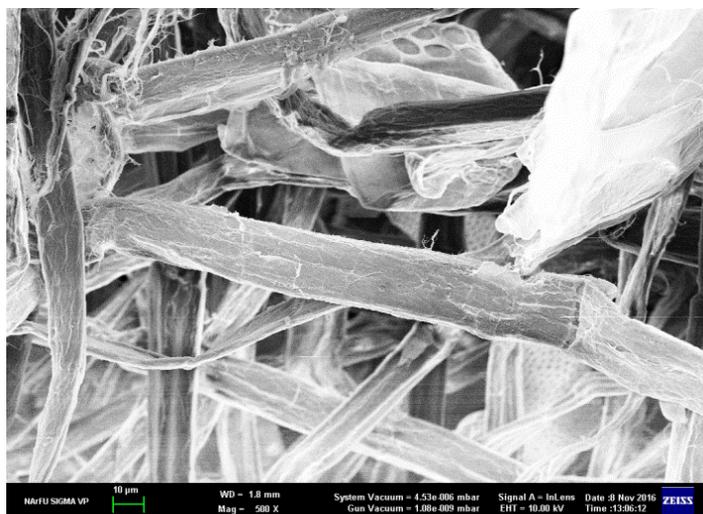
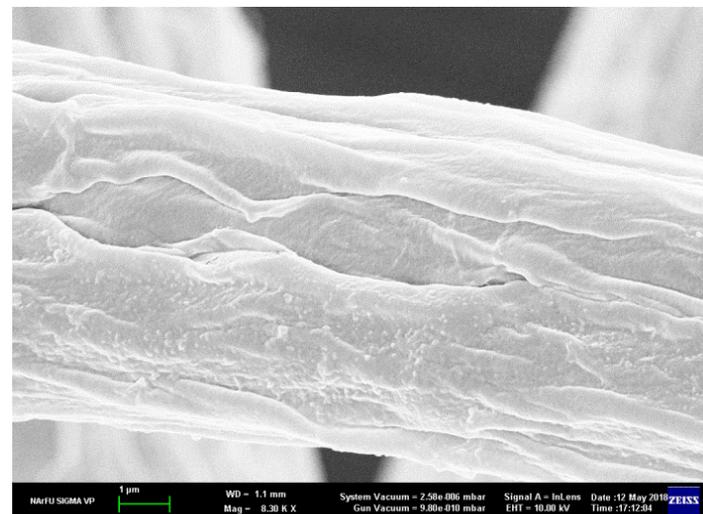
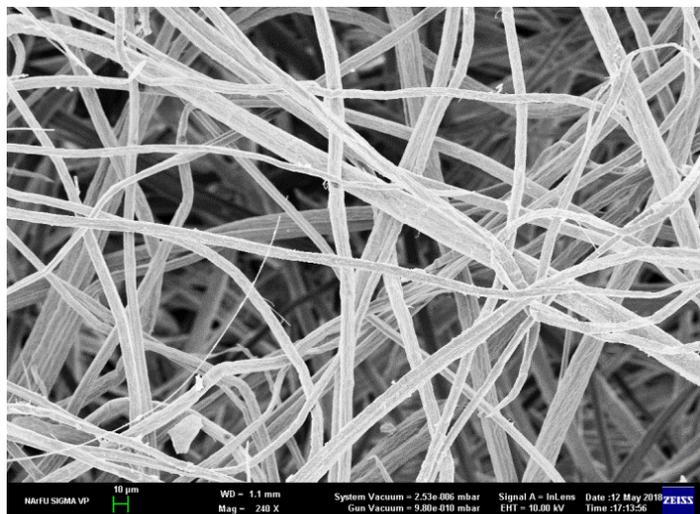
- Гидромодуль 3;
- Содержание АЩ в белом щелоке 100,5г/л;
- Расход активной щелочи на варку 17... 19 %;
- Температура варки 160 °С;
- Общая продолжительность варки достигала 5 часов;
- Подъем температуры в течение 90 мин.

# Результаты сульфатной варки целлюлозы

Параметр	Бамбук	Акация	Лиственная древесина
Выход целлюлозы, %	39,4	56,0	54,2
Количество непровара, %	2,1	1,1	0,5
Общий выход, %	41,5	57,1	54,7
Число Каппа целлюлозы	36,5	46,0	25,2
Содержание сухих веществ в черном щелоке, г/л	208	242	188
Содержание активной щелочи в черном щелоке, г/л	21,1	12,8	18,3

# Микрофотографии волокон целлюлозы Электронный микроскоп (ZEISS «SIGMA VP»)

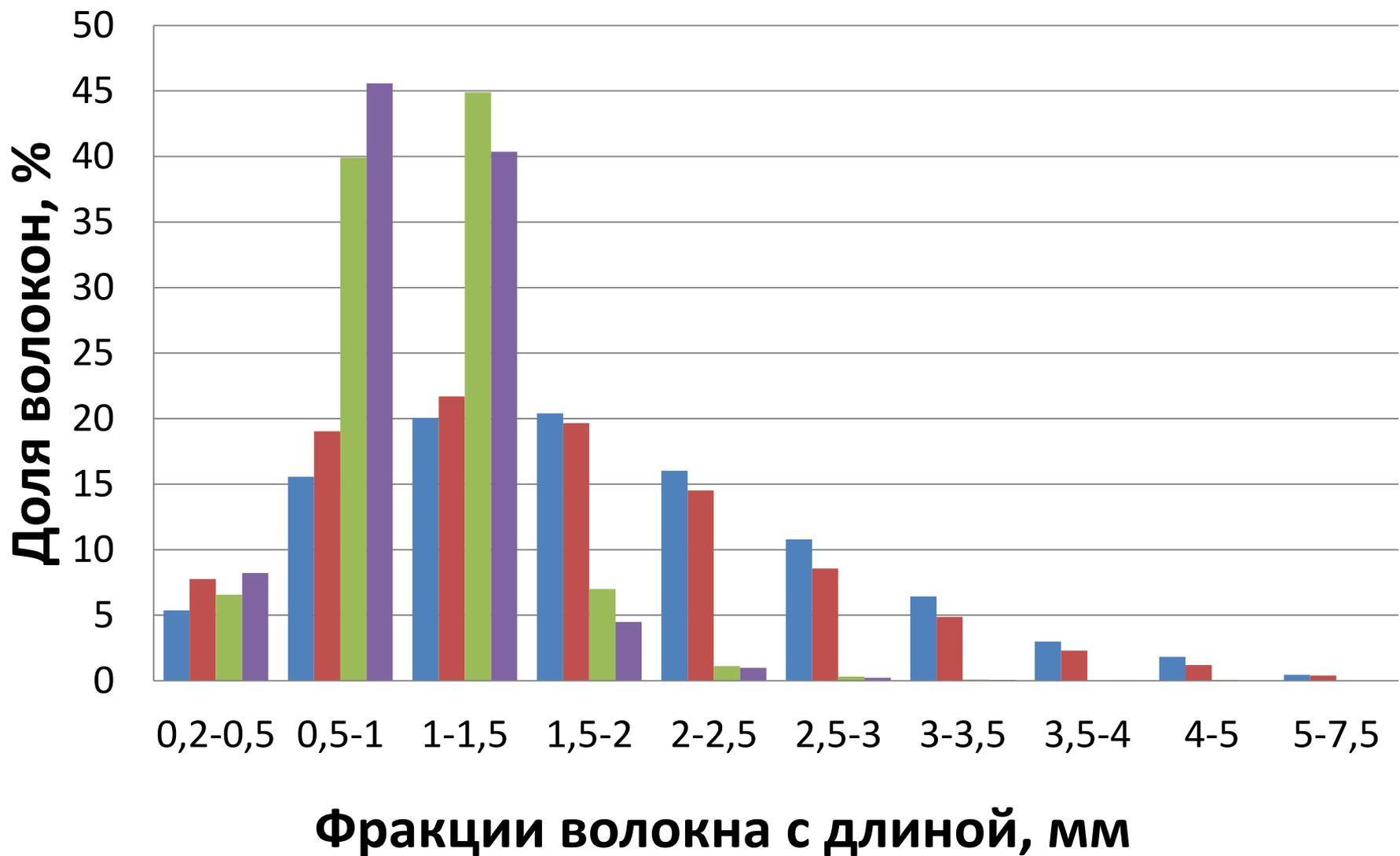
Бамбуковая  
целлюлоза



Лиственная  
целлюлоза

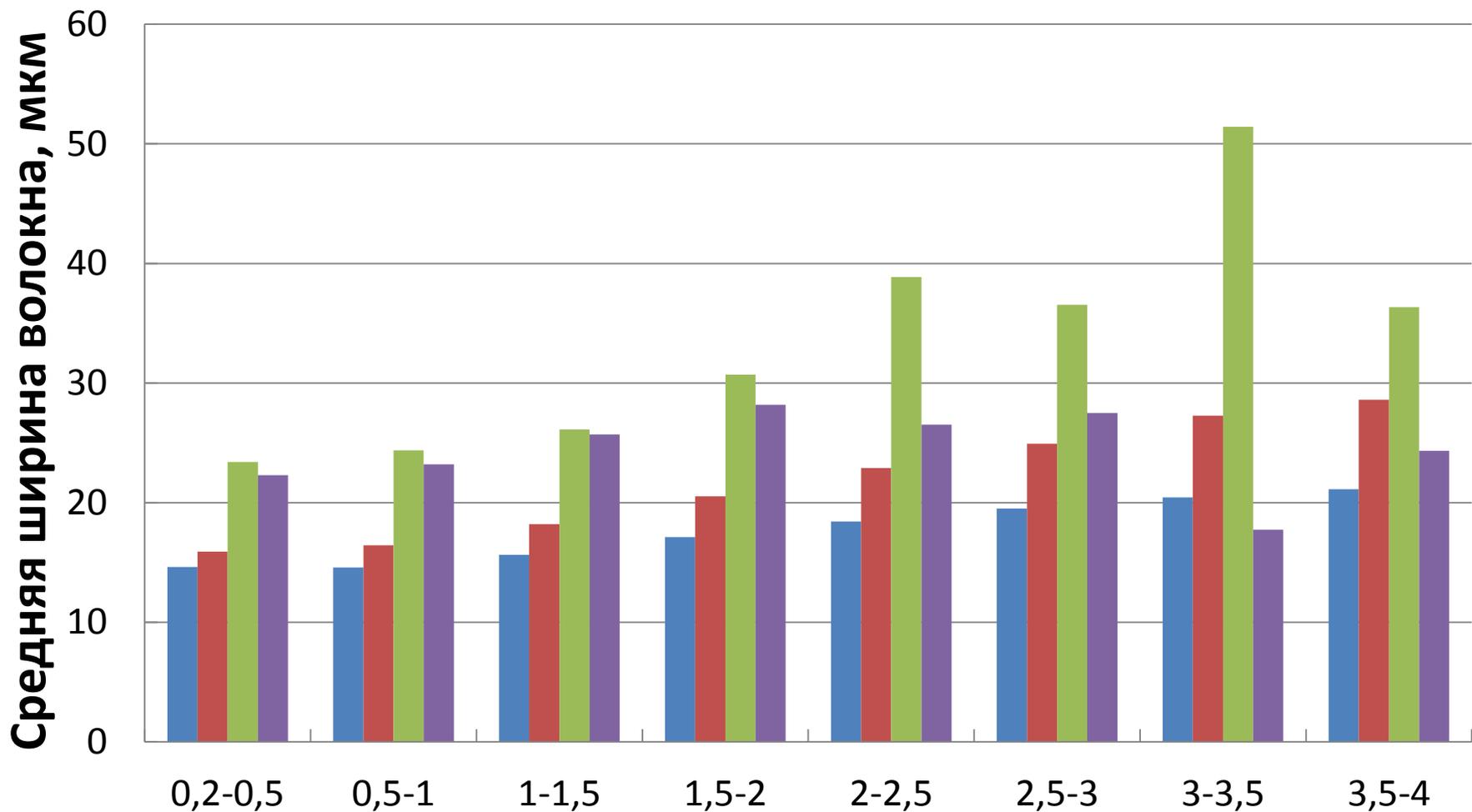
## Структурно-морфологические свойства волокон бамбуковой целлюлозы в сравнении с лиственной целлюлозой

Характеристики	Бамбуковая		Лиственная	
	без размола	30°ШР	без размола	30°ШР
Средняя длина волокон, мм	1,82	1,66	1,04	0,98
Средняя ширина волокон, мкм	17,2	20,3	25,8	24,4
Средний фактор формы, %	87,5	84,2	92,5	91,7
Грубость, мг/м	82,2	85,3	100,5	80,2
Средний угол излома	60,5	58,0	46,0	50,5
Число изломов на мм	0,42	0,62	0,29	0,10
Число больших изломов на 1 мм	0,17	0,25	0,06	0,10
Число изломов на волокно	0,59	0,80	0,27	0,31
Число больших изломов на волокно	0,25	0,32	0,06	0,09
Средний индекс излома	1,15	1,70	0,71	0,89
Средняя длина сегмента, мм	1,43	1,11	0,91	0,84
Доля мелочи, %	2,87	4,30	2,80	3,03
Число сосудов на 100000 волокон	65	42	680	470
Количество сосудов на грамм	4763	3235	64291	58816



■ Бамбуковая целлюлоза до размола  
 ■ Лиственная целлюлоза до размола

■ Бамбуковая целлюлоза после размола  
 ■ Лиственная целлюлоза после размола



## Фракции волокна с длиной, мм

■ Бамбуковая целлюлоза до размола  
■ Лиственная целлюлоза до размола

■ Бамбуковая целлюлоза после размола  
■ Лиственная целлюлоза после размола

Механические свойства образцов были исследованы для лабораторных отливок, массой 75 г/м<sup>2</sup> для образцов после размола на мельнице Йокро до степени помола 30 °ШР, для целлюлозы акации 120 г/м<sup>2</sup> и 20 °ШР.

Для каждого образца проведено 5 параллельных определений и рассчитано среднее значение.



ТЕСТСИСТЕМА 101



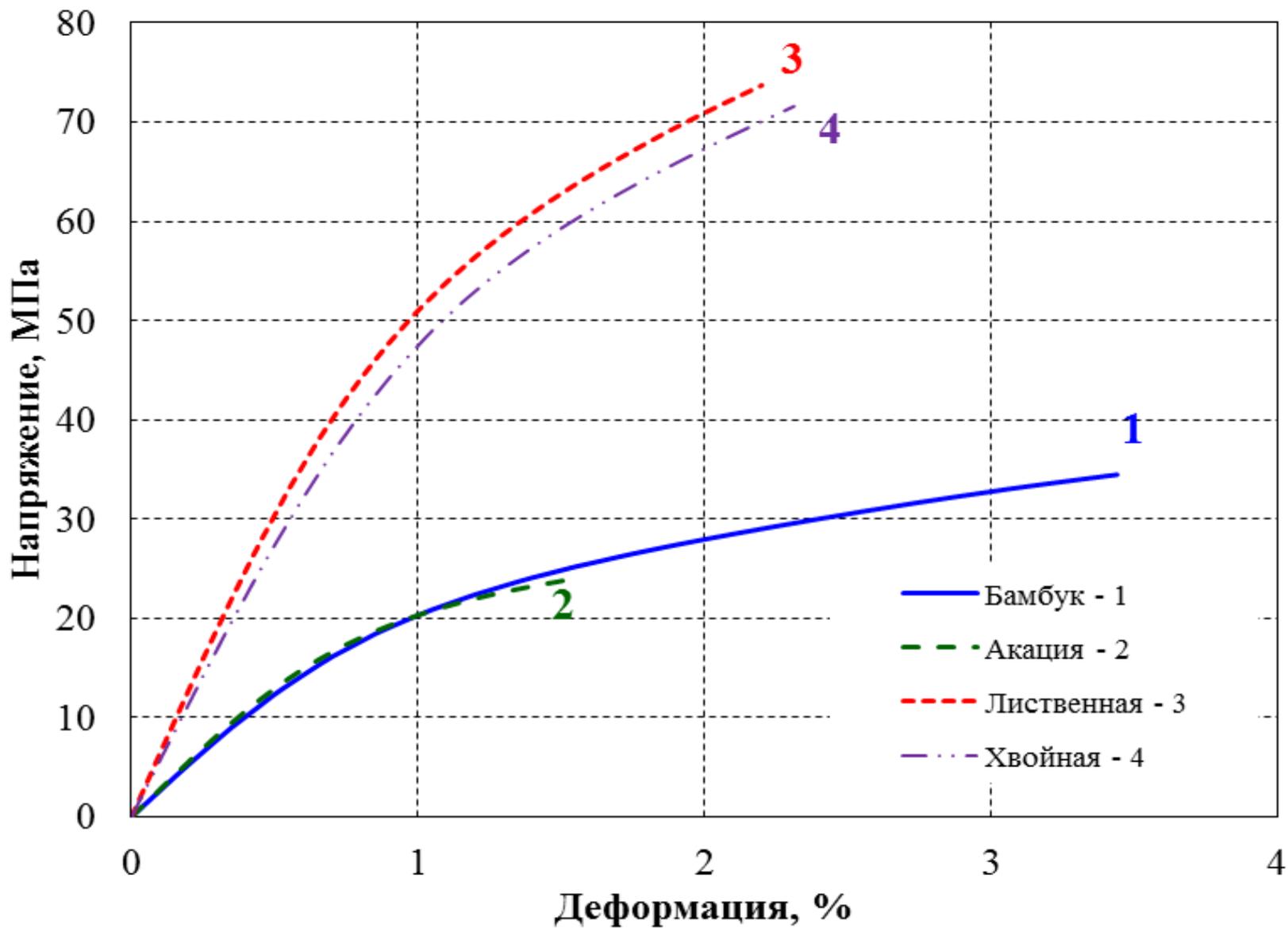
PULMAC Z-SPAN 1000



SE 180 L&W



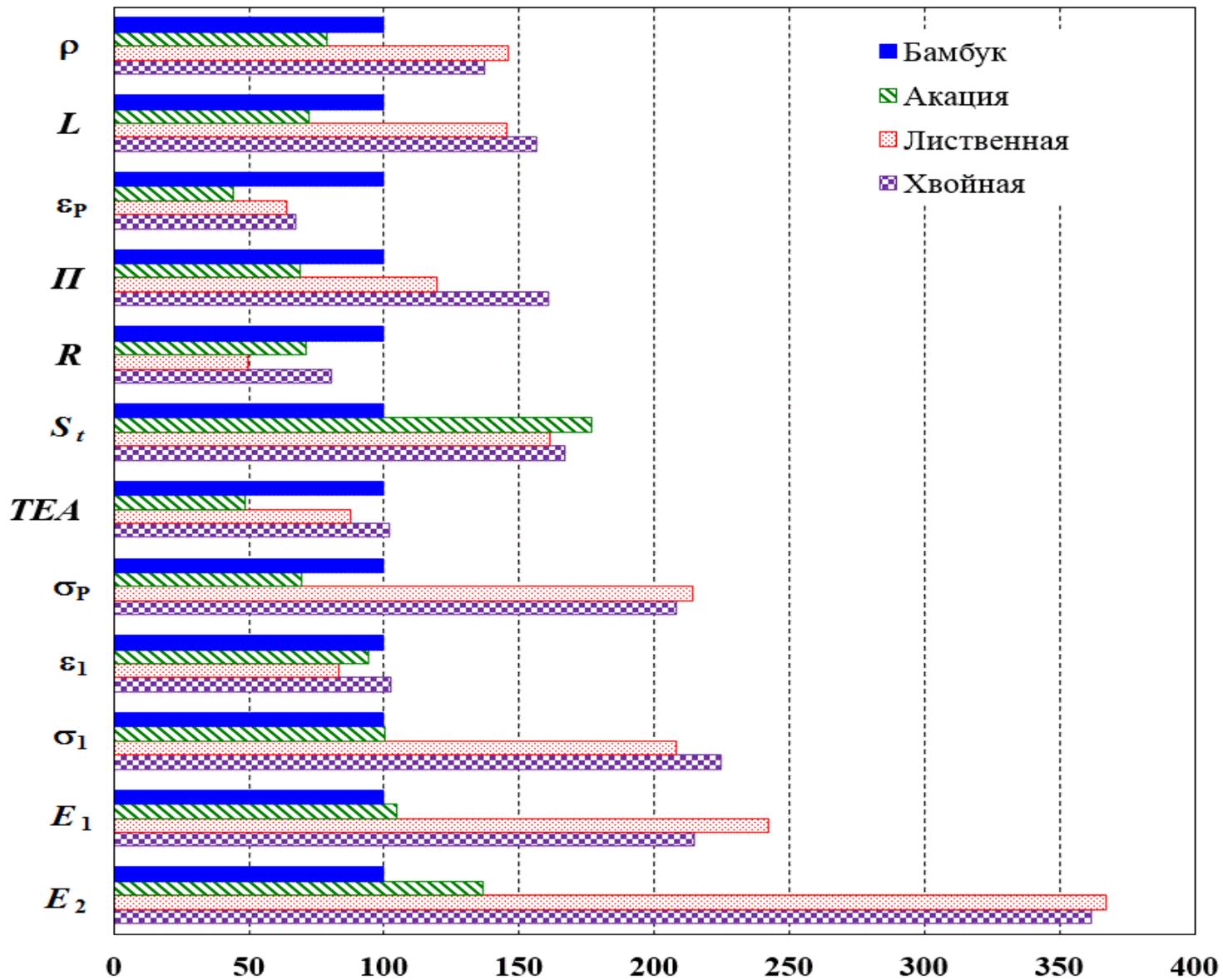
ELEMENDORF 09ED



**График зависимости «напряжение - деформация»,  
полученный при испытании на растяжение**

# Механические характеристики отливок из бамбуковой, лиственной целлюлозы и целлюлозы акации

Характеристика	бамбук	акация	лиственная	хвойная
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	75	125	75	75
Степень помола, °ШР	30	20	30	30
Средняя толщина образца $\delta$ , мкм	128	216	85,8	94
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,57	0,45	0,84	0,78
Сопротивление продавливанию, П, кПа	305	210	365	490
Разрывная длина $L$ , м	6050	4400	8800	9450
Сопротивление раздиранью, $R$ , мН	1153	821	575	930
Жесткость при растяжении, $S_r$ , кН/м	340	600	550	570
Энергия, поглощаемая при растяжении, ТЕА, Дж/м <sup>2</sup>	102,5	50,0	89,6	104,6
Предел упругости, $\sigma_1$ , МПа	9,2	9,3	19,2	20,7
Разрушающее напряжение, $\sigma_p$ , МПа	34,4	23,9	73,7	71,6
Разрушающее усилие, $F_p$ , Н	66,2	77,3	94,8	106,8
Предел упругой деформации $\varepsilon_1$ , %	0,36	0,34	0,30	0,37
Деформация разрушения $\varepsilon_p$ , %	3,44	1,52	2,20	2,31
Начальный модуль упругости, $E_1$ , МПа	2660	2800	6450	5720
Модуль упругости в области предразрушения, $E_2$ , МПа	373	510	1370	1350

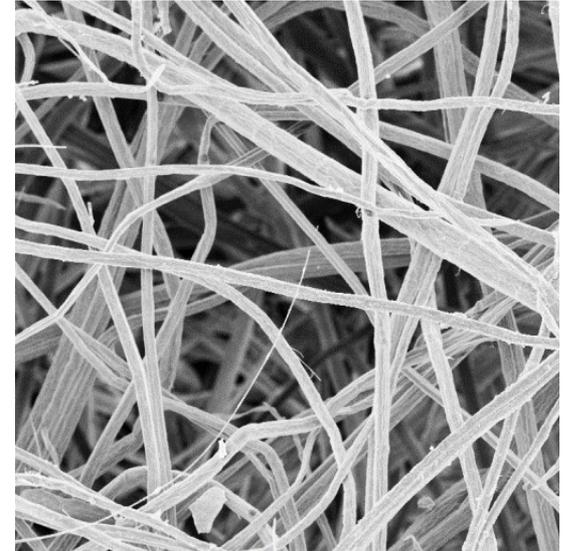


**Относительные величины прочностных и деформационных характеристик исследованных образцов**

## Выводы

- По механическим свойствам целлюлоза бамбука обладает:
  - меньшей на 45 % прочностью при растяжении,
  - большим на 50 % сопротивлением раздиранию,
  - меньшей на 62 % жесткостью при растяжении,
  - большей на 34 % деформацией разрушения.
- Целлюлоза акации обладает пониженными прочностными и деформационными свойствами.
- Таким образом, бамбуковая целлюлоза обладает меньшей прочностью и жесткостью, но большей эластичностью и растяжимостью.
- Использование небеленой целлюлозы из бамбука и акации возможно в композиции небеленых видов бумаги и картона для повышения эластичности и растяжимости.

# Спасибо за внимание!



**Хоанг Минь Кхоа, аспирант**

**[hoangminhkhoea.vfu@gmail.com](mailto:hoangminhkhoea.vfu@gmail.com)**

*Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России*