

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ/FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ОЛЬХИ СЕРОЙ
И ИВЫ ДРЕВОВИДНОЙ

Научная статья

Карабан А.А.^{1,*}, Парамонов А.А.², Севастьянова Ю.В.³, Медведев В.В.⁴, Скорнякова А.В.⁵, Третьяков С.В.⁶,
Цветков И.В.⁷, Коптев С.В.⁸, Богданов А.П.⁹

¹ ORCID : 0000-0002-2934-0303;

² ORCID : 0000-0002-0961-221X;

³ ORCID : 0000-0002-1806-9052;

⁴ ORCID : 0000-0002-9877-5829;

⁵ ORCID : 0009-0003-8947-1617;

⁶ ORCID : 0000-0001-5982-3114;

⁷ ORCID : 0000-0002-1559-3254;

⁸ ORCID : 0000-0002-5402-1953;

⁹ ORCID : 0000-0002-1655-7212;

^{1, 2, 6, 7, 8, 9} Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск, Российская Федерация

^{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (karaban[at]sevniilh-arh.ru)

Аннотация

Ольха серая и ива древовидная входят в число лесообразующих пород Архангельской области. Для рационального и комплексного использования древесины данных пород необходимы исследования о бумагообразующих свойствах целлюлозы. В статье приведены результаты изучения сульфатной варки щепы ручного изготовления, полученной из ольхи серой и ивы древовидной.

Цель работы – сравнительная характеристика бумагообразующих свойств целлюлозы, полученной из древесины лиственных пород, таких как ольха серая и ива древовидная. В лабораторных условиях проведено промышленное моделирование сульфатной варки на производственном белом щелоке щепы ольхи серой и ивы древовидной, подготовленной вручную из предоставленных образцов. Проведя физико-механические испытания на отливках из целлюлозы предоставленных образцов древесины, были получены результаты, проанализированы и соотнесены с аналогичными показателями целлюлозы из смеси берёзы и осины. Установлено, что бумага из ольхи серой образцов 2021 года, ольхи серой 2023 и ивы древовидной 2021 года обладает несколько более низкими, но близкими по значениям показателей физико-механическими свойствами к бумаге из смеси целлюлозы берёзы и осины. Обоснован вывод о перспективности лиственных пород в качестве сырья для отдельных видов бумаги в целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: целлюлоза, древесина, ольха серая, ива древовидная.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF CELLULOSE OBTAINED FROM GRAY ALDER AND
WILLOW WOOD

Research article

Karaban A.A.^{1,*}, Paramonov A.A.², Sevastyanova Y.V.³, Medvedev V.V.⁴, Skorniyakova A.V.⁵, Tretyakov S.V.⁶, Tsvetkov
I.V.⁷, Koptev S.V.⁸, Bogdanov A.P.⁹

¹ ORCID : 0000-0002-2934-0303;

² ORCID : 0000-0002-0961-221X;

³ ORCID : 0000-0002-1806-9052;

⁴ ORCID : 0000-0002-9877-5829;

⁵ ORCID : 0009-0003-8947-1617;

⁶ ORCID : 0000-0001-5982-3114;

⁷ ORCID : 0000-0002-1559-3254;

⁸ ORCID : 0000-0002-5402-1953;

⁹ ORCID : 0000-0002-1655-7212;

^{1, 2, 6, 7, 8, 9} Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russian Federation

^{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

* Corresponding author (karaban[at]sevniilh-arh.ru)

Abstract

Grey alder and arborescent willow are among the forest-forming species of the Arkhangelsk region. For the rational and comprehensive use of wood of these species, research on the paper-forming properties of cellulose is necessary. The article presents the results of a study of sulphate cooking of hand-made chips obtained from grey alder and arborescent willow.

The purpose of the work is a comparative characteristic of the paper-forming properties of cellulose obtained from deciduous wood such as grey alder and arborescent willow. In laboratory conditions, industrial modeling of sulphate cooking on industrial white liquor of grey alder and arborescent willow chips prepared manually from the provided samples was carried out. After conducting physical and mechanical tests on castings from cellulose of the provided wood samples, the results were obtained, analyzed and correlated with similar indicators of cellulose from a mixture of birch and aspen. It was found that paper made from grey alder of 2021, grey alder of 2023 and willow of 2021 samples has slightly lower, but similar in terms of indicator values, physical and mechanical properties to paper made from a mixture of birch and aspen cellulose. The conclusion about the prospects of hardwoods as raw materials for certain types of paper in the pulp and paper industry is substantiated.

Keywords: cellulose, wood, gray alder, tree willow.

Введение

В настоящее время запасы древесины хвойных пород имеют тенденцию к сокращению в связи с широкой областью применения. Особый интерес вызывает древесина мягколиственных пород, которая значительно дешевле хвойных и имеет сравнительно узкую область применения в химической переработке древесины.

Древесина лиственных пород может быть альтернативой дорогостоящей и дефицитной хвойной. Она более чем на 30% дешевле хвойной и широко произрастает, при этом сравнительно мало используется в деревообработке и других отраслях промышленного производства. К таким лиственным породам относятся ольха серая, ива древовидная и др.

Ольха серая и ива древовидная – мелколиственные быстрорастущие породы, способные к регенерации из пней и корневищ, хорошо адаптированные к различным условиям произрастания, засухоустойчивые. На территории Архангельской области произрастают, как правило, вдоль водных объектов и на территории бывших сельскохозяйственных земель. В Архангельской области ольха серая произрастает на площади 46,6 тыс. га, а ива древовидная – 5,3 тыс. га [1].

В литературе представлена крайне ограниченная информация об использовании древесины ольхи серой для производства целлюлозных материалов. Согласно данным, ольха серая вместе с другими породами оказалась пригодной для получения сульфатной целлюлозы и полуцеллюлозы – при выработке различных видов бумаги и картона. Американские исследователи считают ольху наиболее приемлемой из лиственных пород при производстве целлюлозы. Благодаря быстрому росту в молодом возрасте её плантации имеют короткие обороты рубок. В Западной Грузии исследователи установили возможность применения ольхи, в том числе тонкомерной, как сырья при различных вариантах сульфитного способа варки. Авторы отмечают высокие механические показатели опытных видов бумаги [2].

Исследования, проведённые в ряде европейских стран, показали целесообразность использования древесины ивы древовидной в качестве сырья для целлюлозно-бумажной промышленности. В этом отношении древесина ив не уступает древесине тополей. Основными показателями для сравнения в этом случае служат содержание в древесине целлюлозы и длина древесных волокон. У древовидных ив, как и тополей, длина древесного волокна колеблется в пределах от 0,7 до 1,6 мм, толщина – от 0,020 до 0,044 мм. Такая малая толщина древесных волокон – положительный фактор при переработке древесины. Волокна тополя и ивы при этом отличаются той же пластичностью, что и у хвойных пород, чего нельзя сказать о других лиственных породах, например о буке, который широко используется целлюлозно-бумажной промышленностью западных стран [3].

Исследовательские работы проводились в инновационном технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов» САФУ имени М.В. Ломоносова.

Методы и принципы исследования

Для проведения исследований брали образцы из ствола деревьев ольхи серой (*Alnus incana*) и ивы древовидной (*Salix*), собранные в Архангельской области.

Состав щелоков для проведения варки анализировали согласно общепринятым методикам [4]. Определение Числа Каппа в исследуемых образцах целлюлозы проводилось в соответствии с ГОСТ 10070–74 [5], влажности – по ГОСТ 16932–93 [6], содержания золы в целлюлозе – по ГОСТ 18461–93 [7], содержания экстрактивных веществ – по ГОСТ 6841–77 [8].

В лабораторных условиях проведено промышленное моделирование сульфатной варки на производственном белом щелоке щепы ольхи серой и ивы, подготовленной вручную из предоставленных образцов.

Варки целлюлозы проводились на автоматической варочной установке CRS 420, имеющей 8 вращающихся автоклавов вместимостью 1200 мл (рисунок 1, рисунок 2). Установка оснащена системой контроля и регулирования температуры с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$, системой регулирования давления с точностью $\pm 0,3$ МПа и системой расчета Н-фактора. Имеет общий датчик температуры и внутренние термодатчики у автоклавов. Предусмотрено представление данных на дисплее и возможность получения графических данных. По окончании варки производится быстрое охлаждение автоклавов водопроводной водой.

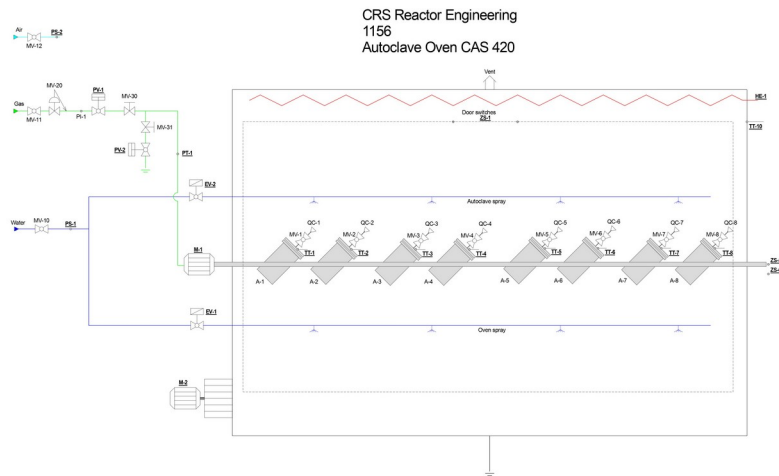


Рисунок 1 - Схема устройства варочной установки
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.1>



Рисунок 2 - Фото устройства варочной установки
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.2>

Навеска щепы для одной варки составляла 60 г. абсолютно сухого сырья в один автоклав. Для каждого вида сырья варка проводилась в трех параллельных автоклавах, данные представлены в экспериментальной части являются усредненными. Основные условия варки представлены в таблице 1. Промывку сваренных образцов для отделения отработанного щелока проводили в лабораторной ссече. Верхняя ссеча имеет сетку с отверстиями диаметром 4 мм и служит для задержания непровара, нижняя ссеча с сеткой № 40 служит для сбора готового полуфабриката. Целлюлозу, задержанную на сетке второй ссечи, отжимают и выгружают вручную. Непровар с верхнего сита собирают отдельно.

Таблица 1 - Режим варки целлюлозы для производства целлюлозы для отбелки

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.3>

Параметры	Режим варки
Продолжительность пропитки при 115 °С, мин	60
Верхняя варочная зона 154 °С, мин	60
Нижняя варочная зона 160 °С, мин	90
Гидромодуль варки	3
Расход щелочи, ед. Na ₂ O	21,0

Для измерения и анализа структурно-морфологических характеристик волокон, полученных образцов целлюлозы использовали анализатор свойств волокна системы *Fiber Tester*, разработанный компанией *Lorentzen & Wettre* и позволяющий оперативно проводить оценку характеристик отдельных волокон, формирование массивов данных и их обработку. Прибор состоит из устройства для анализа, совмещенного с персональным компьютером, программное обеспечение которого автоматически управляет тестированием образца, обрабатывает данные и генерирует отчет по показаниям.

Анализатор волокна *Fiber Tester* позволяет получить значения следующих основных структурно-морфологических характеристик:

- средняя длина волокон в образце, мм;
- средняя ширина волокон в образце, мкм;
- средний фактор формы волокон в образце – частное от деления проекции длины на фактическую длину;
- доля волокон в классах длины (в мм), %;
- доля мелочи (по длине) в образце – относительное количество волокон короче 0,2 мм относительно числа волокон длиннее 0,2 мм, %;
- грубость, то есть масса волокна на единицу длины, мкг/100 м;
- средний угол излома, ° (рисунок 4);
- среднее число изломов на 1 мм длины волокна, шт;
- среднее число изломов на волокно, шт;
- средняя длина сегмента, мм (рисунок 4).

Для определения стандартных показателей механической прочности в лабораторных условиях изготавливались образцы массой 75 г/м². Размол образцов целлюлозы проводился в центробежном размалывающем аппарате (ЦРА) *Jokro Mill*. Изготовление лабораторных образцов производилось на листоотливном аппарате системы «*Rapid-Köthen*» согласно ГОСТ 14363.4–89 [9], процесс размола контролировали путем определения степени помола массы. Показатели качества лабораторных образцов определяли по стандартным методам: толщину образца по ГОСТ 27015–86 [10] на приборе ТМБ-5-А с цифровым блоком регистрации; прочность на разрыв и удлинение при растяжении по ГОСТ 13525.1–79 [11] на приборе Тест-система 105; сопротивление продавливанию по ГОСТ 13525.8–86 [12] на приборе *Lorentzen&Wettre Bursting*. Все образцы перед испытаниями были кондиционированы согласно ГОСТ 13523–78 [13].

Основные результаты

Предоставленные образцы ольхи серой и ивы были вручную окорены и порублены на щепки (рисунок 3). Полученная щепа высушивалась в лаборатории до воздушно-сухого состояния. После этого проводилась сульфатная варка образцов.

При выполнении данной работы была отобрана щепа из свежесрубленной древесины ольхи серой (2023 г.) и ивы древовидной (2024 г.). Помимо этого были отобраны образцы щепы из данных пород, заготовленных в 2021 году, для сравнения качества образцов целлюлозы из свежезаготовленной древесины с лежалой древесиной.



Рисунок 3 - Щепа ручной рубки образцов
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.4>

В результате проведения сульфатных варок получены образцы целлюлозы. Результаты анализов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты варки щепы ручного изготовления, полученной из ольхи серой и ивы

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.5>

Проба	Выход, %	Число Каппа, ед.	Экстрактивные е вещества, %	Минеральные вещества, %	Вязкость целлюлозы, мг/мл
Ольха серая образец 2023	46,36	27,4	0,72	4,27	880

Проба	Выход, %	Число Каппа, ед.	Экстрактивные вещества, %	Минеральные вещества, %	Вязкость целлюлозы, мг/мл
г.					
Ольха серая образец 2021 г.	50,48	26,3	0,50	4,02	850
Ива образец 2024 г.	49,48	11,8	0,89	0,87	1079
Ива образец 2021 г.	63,15	17,7	0,52	1,40	800
Смесь осины и берёзы	53,20	18,81	0,40	1,96	1080

Образец свежей ольхи 2023 года имеет более низкий выход и более высокие показатели по числу Каппа и содержанию экстрактивных веществ, чем образец ольхи 2021 года. Меньший выход целлюлозы свежей ольхи обосновывается тем, что в ней содержится большее количество не целлюлозных компонентов, которые во время варки перешли в раствор черного щелока, чем в ольхе 2021 года. Образец ивы 2024 года при прочих равных условиях имеет наилучшие показатели среди всех образцов.

Основные показатели механической прочности лабораторных образцов из небеленой сульфатной целлюлозы, полученной в соответствии с промышленным режимом производства целлюлозы для отбеливания из щепы ручного изготовления (масса 1 м² 75 г, степень помола массы – 30 ШР) представлены в таблице 4.

Таблица 3 - Сравнение показателей целлюлозы из древесины ольхи серой и ивы

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.6>

Показатель	Ольха серая образец 2023 г.	Ольха серая образец 2021 г.	Ива образец 2024 г.	Ива образец 2021 г.	Смесь осины и берёзы
Плотность, г/см ³	0,762	0,756	0,746	0,751	0,784
Толщина, мкм	90,0	91,2	101,0	93,4	89,8
Разрывная длина, м	7250	7500	4688	8320	8050
Жесткость при растяжении, кН/м	350	470	352	480	545
Тea, Дж/м ²	260,21	64,66	53,35	99,35	84,36
Напряжение деформации, МПа	69,06	56,59	34,97	62,50	69,14
Деформация, %	2,44	1,97	2,25	2,60	2,25
Соппротивление продавливанию, кПа	310	275	378	350	385
Соппротивление излому, ч. дв. п.	450	320	412	540	760

Кроме физико-механических испытаний, были измерены структурно-размерные показатели волокна образцов с помощью прибора *Fiber Tester* (таблица 4). Фракционный состав по волокну сохраняется даже после размолота до 30 °ШР. Количество мелкого волокна несколько выше у ольхи 2023 года, в то время как между ольхой 2021 и ивой 2021 года не наблюдается значительной разницы (рисунок 4).

Таблица 4 - Фракционный состав и результаты анализа волокон на приборе Файбер-тестер после варки и после размола в мельнице ЦРА

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.7>

Образец	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Средний фактор формы, %	Грубость	Средний угол излома	Число изломов на мм	Число больших изломов на мм	Число изломов на волокно	Число больших изломов на волокно	Средний индекс излома	Средняя длина сегмента	Доля мелочи %
<i>После варки</i>												
Ольха серая 2021 г.	0,760	23,1	90,5	94	45,833	0,519	0,115	0,362	0,080	1,231	0,624	2,1
Ольха серая 2023 г.	0,682	21,6	88,7	73	47,300	0,669	0,164	0,427	0,105	1,602	0,544	2,9

Образец	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Средний фактор формы, %	Грубость	Средний угол излома	Число изломов на мм	Число больших изломов на мм	Число изломов на волокно	Число больших изломов на волокно	Средний индекс излома	Средняя длина сегмента	Доля мелочи %
Ива 2021 г.	0,810	19,8	92,5	92	50,067	0,330	0,080	0,246	0,059	0,821	0,702	2,8
Ива 2024 г.	0,577	19,6	90,2	71	45,867	0,520	0,122	0,293	0,069	1,213	0,502	2,0
<i>После размола до 30 °ШП</i>												
Ольха серая 2021 г.	0,761	20,6	92,2	79	49,633	0,331	0,083	0,233	0,058	0,82	0,669	2,7

Образец	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Средний фактор формы, %	Грубость	Средний угол излома	Число изломов на мм	Число больших изломов на мм	Число изломов на волокно	Число больших изломов на волокно	Средний индекс излома	Средняя длина сегмента	Доля мелочи %
Ольха серая 2023 г.	0,674	19,0	91,2	57	47,900	0,474	0,114	0,303	0,072	1,146	0,577	3,1
Ива 2021 г.	0,778	20,2	90,6	88	46,667	0,565	0,130	0,406	0,093	1,354	0,626	2,1
Ива 2024 г.	0,572	18,1	91,4	52	43,5	0,533	0,100	0,297	0,056	1,218	0,488	3,2



Рисунок 4 - Фракционный состав после варки по волокну целлюлозы, полученной из щепы ручного изготовления из ольховой и ивовой древесины
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.8>

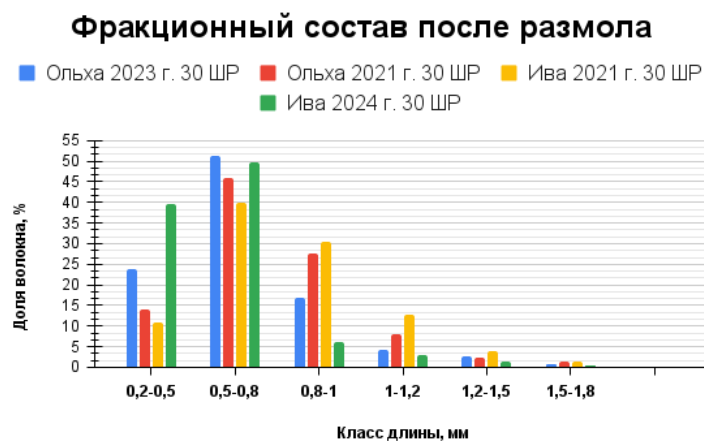


Рисунок 5 - Фракционный состав после размола по волокну целлюлозы, полученной из щепы ручного изготовления из ольховой и ивовой древесины
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.9>

На микрофотографиях представлены образцы волокон ольхи серой и ивы после варки (рисунок 6–9).

Ольха серая 2021 г.

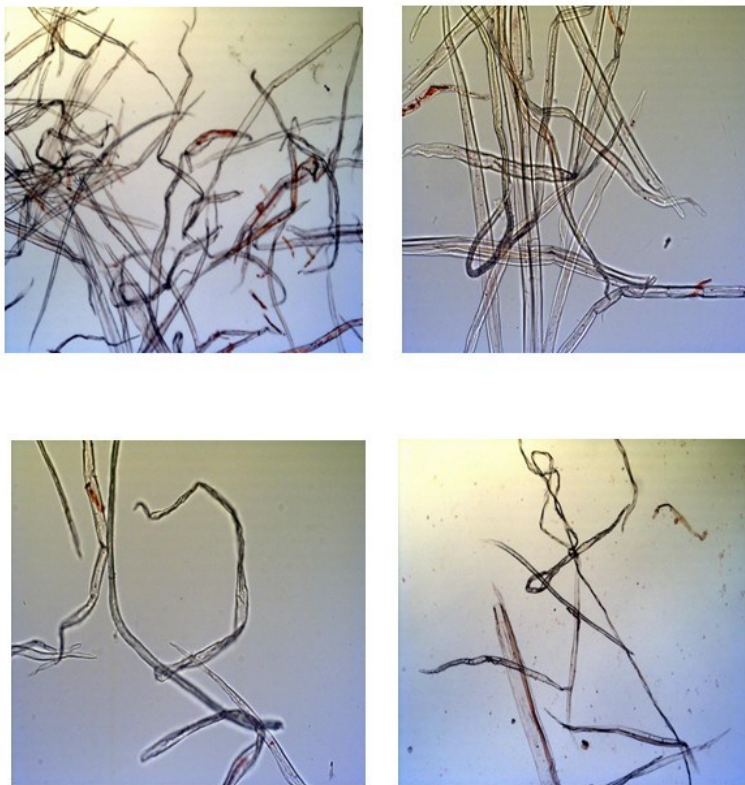


Рисунок 6 - Результаты микроскопического анализа целлюлозы (Ольха серая, 2021 г.)
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.10>

Ольха серая 2023 г.

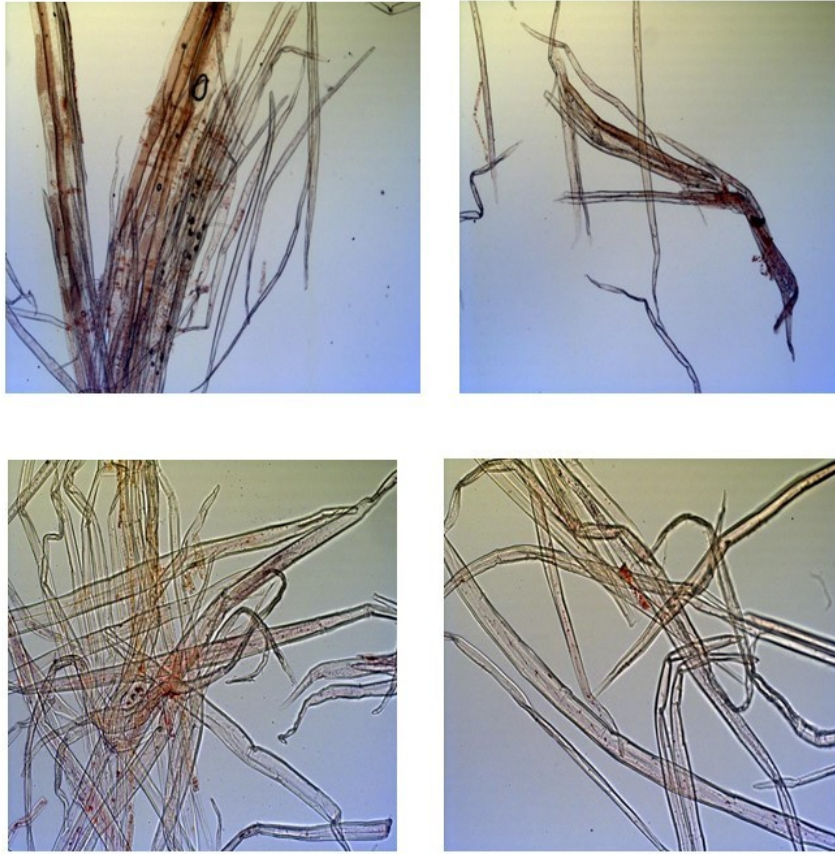


Рисунок 7 - Результаты микроскопического анализа целлюлозы (Ольха серая, 2023 г.)
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.11>

Ива 2021 г.

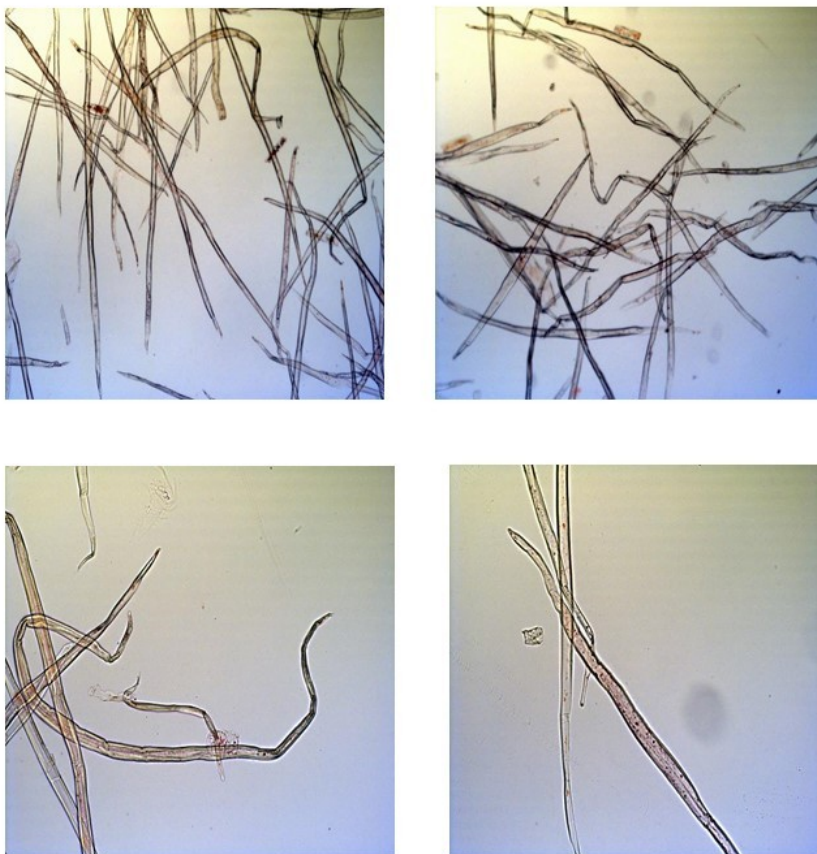


Рисунок 8 - Результаты микроскопического анализа целлюлозы (Ива, 2021 г.)
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.12>

Ива 2024 г.

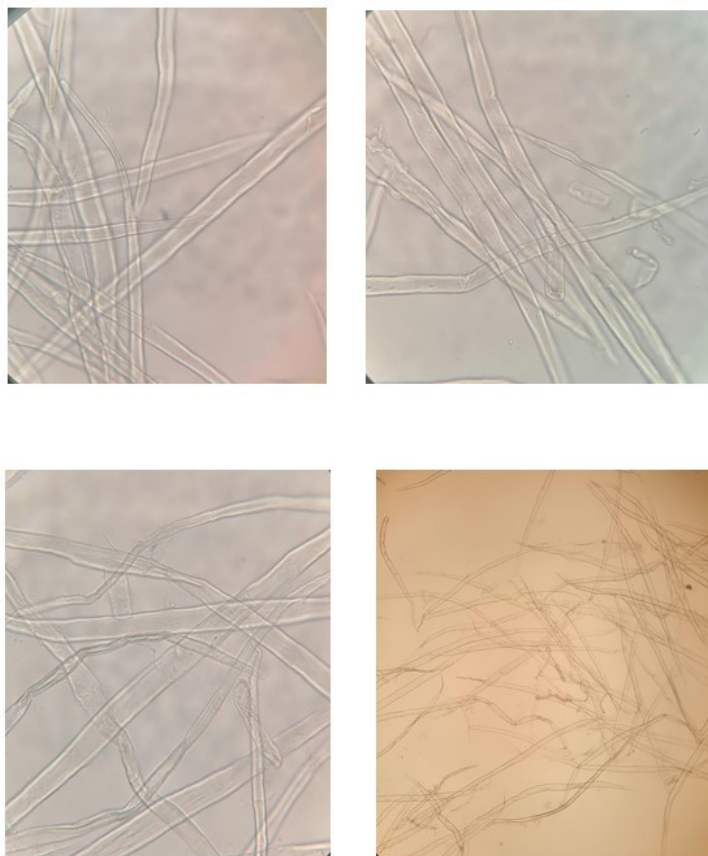


Рисунок 9 - Результаты микроскопического анализа целлюлозы (Ива, 2024 г.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15.13>

Заключение

Сравнение показателей свежезаготовленной древесины с лежалой древесиной ольхи серой и ивы древовидной установило, что за время хранения в древесном сырье происходят изменения в его химическом составе. Так как качества древесины и древесной щепы являются одними из факторов сульфатной варки, то это непосредственно оказывает влияние на показатели целлюлозы после варки. Меньший выход целлюлозы свежей ольхи серой и ивы древовидной обосновывается тем, что в них содержится большее количество не целлюлозных компонентов, которые во время варки перешли в раствор чёрного щелока, чем в ольхе и иве 2021 года. В связи с этим целлюлоза из ольхи серой образца 2021 года имеет больший выход, меньшее значение числа Каппа и содержание экстрактивных веществ по сравнению с целлюлозой из ольхи серой образца 2023 года. Образец ивы 2021 года при прочих равных условиях имеет наилучшие показатели среди всех образцов.

Проведя физико-механические испытания на отливках из целлюлозы предоставленных образцов древесины, были получены результаты, проанализированы и соотнесены с аналогичными показателями целлюлозы из смеси берёзы и осины. Выявлено, что бумага из ольхи серой образцов 2021 года, ольхи серой 2023 и ивы древовидной 2021 и 2024 года обладает несколько более низкими, но близкими по значениям показателями физико-механических свойств к бумаге из смеси целлюлозы берёзы и осины. Не наблюдается значительной разницы в количестве мелкого волокна между ольхой 2021 и ивой 2021 года. На графиках фракционного состава целлюлозы отчётливо видно, что исследуемые образцы целлюлозы в основном состоят из коротких волокон 0,5...0,8 мм.

Уровень показателей механической прочности, полученных образцов ольховой и ивовой целлюлозы, соответствует уровню показателей целлюлозы из смеси берёзовой и осиновой древесины, что свидетельствует о возможности использования исследуемого сырья – порубочные остатки, ветви, древесина ольхи серой и ивы древовидной – для малотоннажного производства бумаг различного назначения.

Финансирование

Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства, регистрационный номер темы: 123022800113-9.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов» САФУ имени М.В. Ломоносова за помощь в проведении исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The publication was prepared based on the results of research carried out within the framework of the state assignments of the FBI "Northern Research Institute of Forestry" for conducting applied scientific research in the field of activity of the Federal Forestry Agency, registration number of the topic: 123022800113-9.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the staff of ITC 'Modern Technologies of Bioresources Processing' of Lomonosov NAUFU for their assistance in conducting the research.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Лесной план Архангельской области Российской Федерации на 2019–2028 годы : утв. указом Губернатора Архангельской области от 14 декабря 2018 г. № 116-у. — Архангельск, 2018. — 239 с. — URL: https://portal.dvinaland.ru/upload/iblock/ecf/LesPlan_Ukaz_116y_ot_%2014_12_2018.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
2. Гелес И.С. Ольха чёрная и возможности использования её древесины в целлюлозно-бумажном производстве / И.С. Гелес, И.В. Ермаков, Г.М. Левкина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 1993. — № 5-6. — С. 125–130.
3. Анциферов Г.И. Ива / Г.И. Анциферов. — М. : Лесная промышленность, 1984. — 101 с.
4. Правилова Т.А. Химический контроль производства сульфатной целлюлозы / Т.А. Правилова. — М. : Лесная промышленность, 1984. — 256 с.
5. ГОСТ 10070–74 (ИСО 302-81). Целлюлоза и полуцеллюлоза. Метод определения числа Каппа. — М., 1974. — 16 с.
6. ГОСТ 16932–93 (ИСО 638-78). Целлюлоза. Определение содержания сухого вещества. — Минск, 1993. — 8 с.
7. ГОСТ 18461–93. Целлюлоза. Метод определения содержания золы. — Минск, 1993. — 8 с.
8. ГОСТ 6841–77. Целлюлоза. Метод определения смол и жиров. — М., 1977. — 6 с.
9. ГОСТ 14363.4–89. Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. — М., 1989. — 14 с.
10. ГОСТ 27015–86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. — М., 1986. — 4 с.
11. ГОСТ 13525.1–79. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении (с Изменениями № 1, 2). — М., 2007. — 5 с.
12. ГОСТ 13525.8–86. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения сопротивления продавливанию (с Изменением № 1). — М., 2007. — 6 с.
13. ГОСТ 13523–78. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод кондиционирования образцов (с Изменениями № 1, 2, 3). — М., 1978. — 4 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lesnoj plan Arhangel'skoj oblasti Rossijskoj Federacii na 2019–2028 gody [Forest plan of the Arkhangelsk region of the Russian Federation for 2019–2028] : approved by the decree of the Governor of the Arkhangelsk region dated December 14, 2018 No. 116-u. — Arkhangelsk, 2018. — 239 p. — URL: https://portal.dvinaland.ru/upload/iblock/ecf/LesPlan_Ukaz_116y_ot_%2014_12_2018.pdf (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
2. Geles I.S. Ol'ha chjornaja i vozmozhnosti ispol'zovanija ejo drevesiny v celljulozno-bumazhnom proizvodstve [Black alder and the possibilities of using its wood in pulp and paper production] / I.S. Geles, I.V. Ermakov, G.M. Levkina [et al.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal [News of Higher Educational Institutions. Forestry Magazine]. — 1993. — No. 5-6. — P. 125–130. [in Russian]
3. Antsiferov G.I. Iva [Willow] / G.I. Antsiferov. — Moscow : Forestry, 1984. — 101 p. [in Russian]
4. Pravilova T.A. Himicheskij kontrol' proizvodstva sul'fatnoj celljulozy [Chemical control of sulfate cellulose production] / T.A. Pravilova. — Moscow : Forestry, 1984. — 256 p. [in Russian]
5. GOST 10070–74 (ISO 302-81). Celljulozna i polucelljulozna. Metod opredelenija chisla Kappa [Cellulose and semi-cellulose. Method for determination of Kappa number]. — Moscow, 1974. — 16 p. [in Russian]
6. GOST 16932–93 (ISO 638-78). Celljulozna. Opredelenie soderzhaniya suhogo veshhestva [Cellulose. Determination of dry matter content]. — Minsk, 1993. — 8 p. [in Russian]

7. GOST 18461–93. Celljuloza. Metod opredelenija sodержanija zoly [Cellulose. Method for determination of ash content]. — Minsk, 1993. — 8 p. [in Russian]
8. GOST 6841–77. Celljuloza. Metod opredelenija smol i zhirov [Cellulose. Method for determination of resins and fats]. — Moscow, 1977. — 6 p. [in Russian]
9. GOST 14363.4–89. Celljuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mehaničeskim ispytanijam [Cellulose. Method for preparation of samples for physical and mechanical testing]. — Moscow, 1989. — 14 p. [in Russian]
10. GOST 27015–86. Bumaga i karton. Metody opredelenija tolshhiny, plotnosti i udel'nogo ob'ema [Paper and cardboard. Methods for determining thickness, density and specific volume]. — Moscow, 1986. — 4 p. [in Russian]
11. GOST 13525.1–79. Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metody opredelenija prochnosti na razryv i udlinenija pri rastjazhenii (s Izmenenijami № 1, 2) [Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Methods for determining tensile strength and tensile elongation (with Amendments No. 1, 2)]. — Moscow, 2007. — 5 p. [in Russian]
12. GOST 13525.8–86. Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metod opredelenija soprotivlenija prodavlivaniju (s Izmenenijem № 1) [Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Method for determining bursting resistance (with Amendment No. 1)]. — Moscow, 2007. — 6 p. [in Russian]
13. GOST 13523–78. Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metod kondicionirovanija obrazcov (s Izmenenijami № 1, 2, 3) [Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Method of conditioning samples (with Amendments No. 1, 2, 3)]. — Moscow, 1978. — 4 p. [in Russian]