



ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ДРЕВЕСИНЫ И ПРОИЗВОДСТВО  
ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научная статья

УДК 630.23:676.16

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-152-162

**Влияние некондиционной древесины осины при варке  
бисульфитным способом на характеристики и выход целлюлозы**

*А.А. Красикова*<sup>1✉</sup>, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [AAH-5816-2020](https://orcid.org/0000-0001-6040-2026),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6040-2026>

*М.А. Гусакова*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [AAB-5528-2019](https://orcid.org/0000-0002-2937-2604),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2937-2604>

*Ю.В. Севастьянова*<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [ABE-4746-2020](https://orcid.org/0000-0002-1806-9052),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1806-9052>

*М.А. Пустынная*<sup>1</sup>, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAC-3225-2022](https://orcid.org/0000-0003-0036-9388),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0036-9388>

*А.А. Слобода*<sup>1</sup>, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAL-3955-2021](https://orcid.org/0000-0002-1415-9050),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-9050>

*К.Г. Боголицин*<sup>1,2</sup>, д-р хим. наук, гл. науч. сотр., проф.; ResearcherID: [AAA-6432-2019](https://orcid.org/0000-0002-4055-0483),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-0483>


<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, просп. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Россия, 163020; [ann.krasikova@gmail.com](mailto:ann.krasikova@gmail.com)<sup>✉</sup>, [mariya\\_gusakova@mail.ru](mailto:mariya_gusakova@mail.ru), [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [mpustynnaa@gmail.com](mailto:mpustynnaa@gmail.com), [sloboda.iepn@yandex.ru](mailto:sloboda.iepn@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

Поступила в редакцию 08.07.25 / Одобрена после рецензирования 19.09.25 / Принята к печати 22.09.25

**Аннотация.** В европейской части России преобладают смешанные хвойно-лиственные леса. Использование мягколиственных пород для производства целлюлозы позволяет восполнять дефицит лесных древесных ресурсов, в связи с чем в последние десятилетия наблюдается увеличение массы лиственной древесины в сырьевой базе целлюлозно-бумажной промышленности. Древесина лиственных пород подвержена воздействию дереворазрушающих грибов, что позволяет классифицировать ее как малоликвидную. До недавнего времени древесина лиственных пород, и в частности осины, считалась малопригодным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности. Поиск путей получения волокнистых полуфабрикатов из такой древесины и их применения в композиции различных видов бумаги и картона является актуальным направлением исследований и во многом определяет дальнейший научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности. Целью работы стало комплексное исследование влияния качества осинового сырья на свойства бисульфитной целлюлозы высокого выхода, используемой для производства бумаги для гофрирования. Объект исследования – условно здоровая и пораженная трутовиком ложным осиновым

© Красикова А.А., Гусакова М.А., Севастьянова Ю.В., Пустынная М.А., Слобода А.А., Боголицин К.Г., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

древесина осины. Лабораторные варки осуществляли при гидромодуле 5:1; расходе  $\text{SO}_2$  15,0 %; pH варочного раствора 4,3...4,5, конечной температуре варки 165 °С, продолжительности стоянки 2 ч. Показано, что волокна целлюлозы из поврежденной древесины имеют сниженные геометрические размеры волокон. Прочность полученной целлюлозы сопоставляли с показателями качества лиственной полуцеллюлозы, используемой в производстве флютинга. Выявлено, что бисульфитная осиновая целлюлоза (в т. ч. с содержанием 20 % гнили) превосходит полуцеллюлозу по разрывной длине и сопротивлению продавливанию, но уступает по разрушающему усилию при сжатии кольца в поперечном направлении. Продемонстрировано, что максимально возможное содержание некондиционной древесины в композиции со здоровой осиновой древесиной, не вызывающее значительного снижения структурно-размерных и механических показателей качества полуфабриката, составило 10 %.

**Ключевые слова:** осина, сердцевинная гниль, бисульфитная целлюлоза, свойства целлюлозы, волокнистый полуфабрикат

**Благодарности:** Исследование проведено в рамках госзадания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН с использованием оборудования ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (САФУ).

**Для цитирования:** Красикова А.А., Гусакова М.А., Севастьянова Ю.В., Пустынная М.А., Слобода А.А., Боголицын К.Г. Влияние некондиционной древесины осины при варке бисульфитным способом на характеристики и выход целлюлозы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 152–162. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-152-162>

Original article

## Effect of Substandard Aspen Wood Addition During Bisulfite Cooking on Pulp Characteristics and Yield

*Anna A. Krasikova*<sup>1✉</sup>, Candidate of Chemistry, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [AAH-5816-2020](https://orcid.org/0000-0001-6040-2026), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6040-2026>

*Maria A. Gusakova*<sup>1</sup>, Candidate of Engineering, Leading Research Scientist;

ResearcherID: [AAB-5528-2019](https://orcid.org/0000-0002-2937-2604), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2937-2604>

*Yulia V. Sevastyanova*<sup>1,2</sup>, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [ABE-4746-2020](https://orcid.org/0000-0002-1806-9052),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1806-9052>

*Maria A. Pustynnaya*<sup>1</sup>, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAC-3225-2022](https://orcid.org/0000-0003-0036-9388),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0036-9388>

*Anatoliy A. Sloboda*<sup>1</sup>, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAL-3955-2021](https://orcid.org/0000-0002-1415-9050),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-9050>

*Konstantin G. Bogolitsyn*<sup>1,2</sup>, Doctor of Chemistry, Chief Research Scientist, Prof.;

ResearcherID: [AAA-6432-2019](https://orcid.org/0000-0002-4055-0483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-0483>

<sup>1</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Nikolskiy, 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020; [ann.krasikova@gmail.com](mailto:ann.krasikova@gmail.com)<sup>✉</sup>, [mariya\\_gusakova@mail.ru](mailto:mariya_gusakova@mail.ru), [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [mpustynnaa@gmail.com](mailto:mpustynnaa@gmail.com), [sloboda.iepn@yandex.ru](mailto:sloboda.iepn@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

Received on July 8, 2025 / Approved after reviewing on September 19, 2025 / Accepted on September 22, 2025

**Abstract.** The European part of Russia is dominated by mixed coniferous and deciduous forests. The use of soft-leaved species for pulp production makes it possible to fill the shortage of available forest wood resources, and in recent decades there has been an increase in the share of hardwood in the raw material base of the pulp and paper industry. Hardwood is susceptible to wood-destroying fungi, which makes it possible to classify it as low-quality raw material. Until recently, hardwood, and aspen in particular, was considered an unsuitable raw material for the pulp and paper industry. Research on the production of fibrous semi-pulp products from such wood and their use in the composition of various types of paper and cardboard is relevant and largely determines further scientific and technological progress in the pulp and paper industry. The aim of the work is a comprehensive study of the effect of aspen wood quality on the properties of high-yield bisulfite pulp used for the production of corrugating medium. The object of the study was a conditionally healthy aspen wood and wood affected by false tinder fungus (*Phellinus tremulae*). Laboratory cooking was carried out under the following conditions: liquor-to-wood ratio 5:1; SO<sub>2</sub> consumption 15.0 %; cooking solution pH 4.3...4.5, final cooking temperature 165 °C, and cooking duration at the final temperature of 2.0 hours. It is shown that the structural and morphological characteristics of pulp fibers from decayed wood have specific features, expressed in a decrease in the geometric dimensions of the fibers. The strength characteristics of the obtained cellulose were compared with the quality indicators of hardwood semi-pulp used in the production of fluting. It was found that bisulfite aspen pulp (including pulp with 20 % rot content) is superior to semi-pulp in terms of breaking length and bursting strength, but inferior in terms of ring crush resistance. The paper demonstrates that the maximum possible content of substandard wood in a composition with healthy aspen wood, which does not cause a significant decrease in the structural, dimensional and mechanical quality of the semi-finished product, is 10 %.

**Keywords:** aspen, core rot, bisulfite pulp, pulp properties, fibrous semi-finished product

**Acknowledgements:** The research was carried out within the framework of the state assignment of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences using the equipment of Engineering-Technological Center "Modern technologies for processing of bioresources of the North" (NArFU).

**For citation:** Krasikova A.A., Gusakova M.A., Sevastyanova Yu.V., Pustynnaya M.A., Sloboda A.A., Bogolitsyn K.G. Effect of Substandard Aspen Wood Addition During Bisulfite Cooking on Pulp Characteristics and Yield. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 152–162. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-152-162>

### Введение

Одна из важнейших задач развития целлюлозно-бумажной промышленности России заключается в создании и совершенствовании технологий, направленных на рациональное использование природных ресурсов, что сопровождается вовлечением в переработку лиственной древесины. В европейской части России преобладают смешанные хвойно-лиственные леса, поскольку после вырубki хвойных пород на лесосеках превалирует подрост лиственных пород (береза, осина) [16]. Применение в промышленности мягколиственных пород позволяет восполнять дефицит лесных древесных ресурсов, в связи с чем в последние десятилетия масса древесины осины в сырьевой базе целлюлозно-бумажного производства увеличивается [17]. Исследования показали, что широкое использование здоровой неповрежденной лиственной древесины в целлюлозно-бумажной промышленности позволяет не только расширить

сырьевую базу отрасли, но и улучшить качественные характеристики бумаги и картона [5, 8, 9, 11].

Однако древесина лиственных пород подвержена такому заболеванию, как сердцевинная гниль, вызванному дереворазрушающими грибами [2–4, 14, 15], что приводит к большим потерям этого сырья в целлюлозно-бумажной промышленности. Гниение снижает плотность древесины и изменяет ее химический состав, окраску, макроструктуру и физико-механические свойства. При этом белая гниль уменьшает прочность древесины в меньшей степени, чем бурая (деструктивного типа) гниль. Пораженная белой гнилью древесина характеризуется высокими мягкостью, гибкостью и сопротивлением разрыву [19]. В соответствии с данными, представленными в работе [1], до определенной стадии пораженности (при плотности не ниже 0,2–0,25 г/см<sup>3</sup>) древесина осины пригодна для переработки в целлюлозно-бумажной промышленности. Поэтому поиск способов максимально возможного вовлечения пораженной древесины в производство является актуальной задачей. Целлюлозно-бумажная промышленность освоила выпуск различного вида целлюлозы из древесины лиственных пород и может сыграть основную роль в решении проблемы использования древесины пониженного качества [10].

Осина как сырье обладает рядом преимуществ: это быстрорастущая порода с обширным ареалом, не требовательна к климатическим условиям и к почве [7, 10, 13]. Древесина осины в России используется в основном для производства нейтрально-сульфитной целлюлозы. Данный вид производства имеет ряд недостатков, таких как негативное воздействие на окружающую среду, снижение прочности получаемой целлюлозы. По сравнению с ним производство бисульфитной целлюлозы и полуцеллюлозы в сочетании с простым и эффективным способом регенерации химикатов является более предпочтительным, поскольку позволяет утилизировать древесину как хвойных, так и лиственных пород, обеспечивает защиту водного и воздушного бассейнов от вредных выбросов, а также использует органическую часть щелоков для получения пара [12]. Преимущества бисульфитного процесса перед сульфитным в отношении выхода и свойств полуфабрикатов более отчетливо проявляются для лиственной древесины, чем для хвойной [11, 18, 22]. Варка бисульфитным способом позволяет перерабатывать как мягкие, так и твердые лиственные породы и получать волокнистую массу с выходом 60–80 %. В России в качестве сырья для производства бисульфитной целлюлозы используются осина и береза. Бисульфитная целлюлоза с выходом 50–60 % имеет хорошие прочностные характеристики и может применяться в производстве бумаги для печати.

Таким образом, исследования, направленные на получение волокнистых полуфабрикатов из фаутной (пораженной грибом трутовиком ложным осиновым) лиственной древесины и их применение в композиции различных видов бумаги и картона, имеют большую практическую и теоретическую ценность и во многом определяют дальнейший научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности. Целью настоящей работы является комплексное исследование влияния качества осиновой древесины на свойства бисульфитной целлюлозы высокого выхода, используемой для производства гофрированной бумаги.

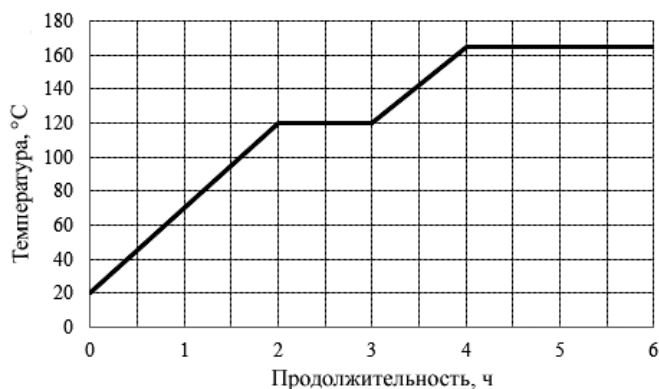
Задача – определение максимально возможного содержания некондиционной древесины (гнили) в композиции со здоровой осиновой древесиной, которое не оказывало бы негативного влияния на физико-механические свойства готовой продукции.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования являлась условно здоровая и фаутная древесина осины, произрастающей в Архангельской области.

В качестве сырья для получения целлюлозы высокого выхода использовали щепу лабораторного изготовления из здоровой и гнилой древесины осины. Исследуемые образцы некондиционной (гнилой) древесины имели коррозионный тип белой гнили, 2-я стадия [2]. Содержание щепы из гнилой древесины в смеси варьировали от 0 до 20 %, качество щепы определяли согласно ГОСТ 15815–83. Для проведения лабораторных варок использовали щепу нормальной фракции (остатки на ситах 20 и 10 мм).

Лабораторные варки бисульфитным способом на натриевом основании проводили в автоклавной системе CAS 420 для варки целлюлозы. Режим варки: гидромодуль – 5:1; расход  $\text{SO}_2$  – 15,0 %; pH варочного раствора – 4,3...4,5. На рисунке представлен принятый температурный режим варок, выбранный согласно регламенту действующего предприятия. По каждому соотношению качественной и низкокачественной щепы проводили по 2 параллельные варки в автоклавах вместимостью 1200 мл.



Температурный режим бисульфитной варки ЦВВ

The temperature regime of bisulfite cooking of high-yield pulp

Степень делигнификации целлюлозы (число Каппа) определяли согласно ГОСТ 10070–74. Для установления размеров волокон и фракционного состава по длине волокна использовали анализатор свойств волокна системы Fiber Tester Lorentzen & Wettre, позволяющий провести расширенный анализ свойств целлюлозных волокон [20]. Подготовку образцов к испытаниям выполняли по ГОСТ 14363.4–89. Размол массы осуществляли в лабораторной мельнице ЦРА. Процесс размола контролировали путем определения степени помола массы ГОСТ 14363.4–89. Лабораторные образцы бумаги получали из предварительно подготовленной бумажной массы на листоотливном аппарате ЛА-3 согласно ГОСТ 14363.4. Сушку вели в вакуум-сушилках листоотливного аппарата при температуре  $102 \pm 5$  °С.

Показатели качества лабораторных образцов определяли по стандартным методам: толщину образца – по ГОСТ 27015–86 на приборе ТМБ-5-А с цифровым блоком регистрации; прочность на разрыв и удлинение при растяжении готовых образцов – по ГОСТ 13525.1–79 на приборе Тестсистема 105; сопротивление торцевому сжатию гофрированного образца в поперечном направлении – в соответствии с методом ССТ по ГОСТ 28686–90; сопротивление продавливанию – по ГОСТ 13525.8–86, сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца – по ГОСТ 20682–75.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Согласно принятому плану эксперимента на первом этапе были получены образцы бисульфитной целлюлозы из древесины осины различного качества при общей продолжительности варки 5,5 ч. В табл. 1 приведены средние выходы целлюлозы и числа Каппа.

Таблица 1

#### **Влияние добавки гнили на результаты варки осиновой бисульфитной целлюлозы** **Effect of rot addition on aspen bisulfite pulping performance**

| Содержание гнили в щепе, % | Выход сортированной целлюлозы, % | Непровар, % | Степень делигнификации, ед. Каппа |
|----------------------------|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| 0                          | 47,0                             | 12,3        | 50,5                              |
| 1,5                        | 48,3                             | 10,8        | 47,5                              |
| 10,0                       | 45,6                             | 13,3        | 45,2                              |
| 20,0                       | 44,1                             | 13,0        | 40,4                              |

Некоторое увеличение выхода целлюлозы при содержании гнили 1,5 %, вероятно, может быть обусловлено большей доступностью компонентов в подобной древесине для варочных реагентов без значительного разрушения волокон целлюлозы, приводящего к снижению выхода при более высоком содержании гнили в щепе. При добавке некондиционной щепы в количестве 10 % не наблюдается существенного снижения выхода целлюлозы. Наибольшее падение выхода сортированной целлюлозы – на 3 % – отмечено при содержании гнили в щепе 20 %, скорее всего, за счет уменьшения плотности целлюлозы [1]. При увеличении содержания гнилой древесины в осиновой щепе происходит снижение числа Каппа на 10 ед., что также объясняется большей доступностью фаутной древесины при варке, и, как следствие, большей степенью ее делигнификации. Одновременное уменьшение данных показателей свидетельствует о разрушительном воздействии гриба на основные компоненты в исходной древесине осины – целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин. Увеличение содержания некондиционной щепы до 20 % привело к незначительному росту количества непровара по сравнению с показателем для здоровой древесины – на 1–2 %.

Для оценки динамики изменения структурно-размерных характеристик волокон бисульфитной осиновой целлюлозы и моделирования использования некондиционной щепы в реальном производстве был также проведен лабораторный размол полученной массы после варки (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние добавки некондиционной древесины на структурно-размерные характеристики волокон бисульфитной осиновой целлюлозы**  
**Effect of substandard wood addition on the fiber structural and dimensional characteristics of aspen bisulfite pulp**

| Содержание гнили в целлюлозе, % | Среднеарифметическая длина, мм | Среднее     |                 | Доля мелочи, % | Грубость, мг | Средний угол излома, ...° | Число изломов, шт. |                      |            |                    | Среднее       |                    |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------|----------------|--------------|---------------------------|--------------------|----------------------|------------|--------------------|---------------|--------------------|
|                                 |                                | ширина, мкм | фактор формы, % |                |              |                           | на миллиметр       | больших на миллиметр | на волокно | больших на волокно | индекс излома | длина сегмента, мм |
| <i>После варки</i>              |                                |             |                 |                |              |                           |                    |                      |            |                    |               |                    |
| 0                               | 0,93                           | 23,4        | 87,8            | 2,4            | 125          | 48,5                      | 0,73               | 0,19                 | 0,61       | 0,16               | 1,80          | 0,67               |
| 1,5                             | 0,93                           | 23,6        | 87,1            | 2,3            | 151          | 48,9                      | 0,79               | 0,21                 | 0,65       | 0,17               | 1,95          | 0,65               |
| 10,0                            | 0,85                           | 23,4        | 86,6            | 2,5            | 130          | 49,1                      | 0,86               | 0,24                 | 0,66       | 0,18               | 2,11          | 0,59               |
| 20,0                            | 0,85                           | 23,7        | 86,1            | 2,7            | 146          | 48,1                      | 0,87               | 0,23                 | 0,66       | 0,17               | 2,12          | 0,58               |
| <i>После размола</i>            |                                |             |                 |                |              |                           |                    |                      |            |                    |               |                    |
| 0                               | 0,84                           | 22,5        | 91,4            | 6,3            | 105          | 48,3                      | 0,42               | 0,09                 | 0,33       | 0,07               | 1,03          | 0,74               |
| 1,5                             | 0,81                           | 22,9        | 88,5            | 7,1            | 89           | 52,8                      | 0,74               | 0,24                 | 0,57       | 0,18               | 1,90          | 0,62               |
| 10,0                            | 0,78                           | 21,4        | 90,4            | 6,7            | 76           | 50,1                      | 0,55               | 0,15                 | 0,41       | 0,11               | 1,38          | 0,66               |
| 20,0                            | 0,75                           | 21,7        | 89,8            | 7,3            | 82           | 51,4                      | 0,65               | 0,20                 | 0,47       | 0,14               | 1,65          | 0,61               |

Показано, что структурно-морфологические характеристики волокон целлюлозы из фаутной древесины имеют сниженные геометрические размеры волокон. Так, повреждение гнилью древесины ожидаемо уменьшает размер волокон после варки, в частности, средняя длина волокон падает на 10 %. При этом у образцов древесины, поврежденных гнилью, возрастает степень разрушения клеточной стенки, характеризуемая числом изломов на волокно [6, 21]. Такие показатели, как длина волокна, грубость и средний угол излома, выше после варки, чем после размола бисульфитной осиновой целлюлозы. Увеличение содержания некондиционной щепы в сырье приводит к получению большего количества мелочи в массе, а также значительному снижению грубости волокон в процессе размола. Рост доли мелкого волокна в производственных условиях приведет к существенному повышению потребления проклеивающих реагентов, поэтому данный факт необходимо учитывать при использовании подобной древесины в промышленности.

Поскольку повреждение гнилью древесины значительно влияет на структурно-морфологические характеристики волокон целлюлозы: уменьшает их геометрические размеры и увеличивает их поврежденность – что может негативно отразиться на деформационно-прочностных показателях целлюлозы, необходим контроль этих характеристик. Для анализа прочности полученных образцов целлюлозы в лабораторных условиях были изготовлены образцы массой 120 г/м<sup>2</sup>. Размол целлюлозы проводили в ЦРА до степени помола 30 °ШР (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние качества древесины на характеристики бисульфитной осиновой целлюлозы**  
**Effect of wood quality on the properties of aspen bisulfite pulp**

| Показатель  | Значение показателя при содержании гнили, % |       |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|
|   | 0   | 1,5   | 10,0  | 20,0  |
| Толщина, мкм  | 128,6                                       | 129,8 | 129,0 | 135,6 |
| Плотность, г/см <sup>3</sup>                          | 0,88  | 0,82  | 0,84  | 0,86  |
| Разрывная длина, м                                    | 7100  | 6600  | 6550  | 6500  |
| Сопротивление продавливанию, кПа                      | 493   | 420   | 475   | 465   |
| Сопротивление торцевому сжатию кольца, Н              | 179   | 164   | 163   | 167   |
| Сопротивление плоскостному сжатию, кН·м <sup>-1</sup> | 338   | 325   | 330   | 352   |
| Жесткость при растяжении, кН/м                        | 667   | 634   | 602   | 668   |
| Работа разрушения, Дж/м <sup>2</sup>                  | 146   | 110   | 119   | 123   |
| Разрушающее напряжение, МПа                           | 62  | 54    | 54    | 55    |
| Разрушающая деформация, %                             | 2,74  | 2,38  | 2,55  | 2,47  |

Согласно данным табл. 3, при увеличении содержания гнили в щепе происходит постепенное снижение всех деформационных характеристик бисульфитной осиновой целлюлозы, за исключением жесткости при растяжении, – добавка некондиционной щепы не повлияла на данный показатель. Уменьшение механических показателей целлюлозы, вероятно, обусловлено истончением клеточной стенки древесины под воздействием дереворазрушающего гриба [1].

Добавка гнилой древесины привела к изменению разрывной длины образцов целлюлозы на 600 м при минимальном значении этого показателя 6500 м. На сопротивление продавливанию образцов бисульфитной осиновой целлюлозы качество сырья не оказывает существенного влияния – изменение составляет порядка 30 кПа. Наилучшими показателями обладает целлюлоза без добавления гнили.

Прочностные характеристики полученной целлюлозы сопоставляли с показателями качества полуцеллюлозы, используемой в производстве флютинга на АО «АЦБК» (масса 1 м<sup>2</sup> 125 г при степени помола волокна 30 °ШР):

|   |                   |
|---|-------------------|
| Разрывная длина.....  | не менее 6500 м   |
| Сопротивление торцевому сжатию кольца гофрированного образца..                  | не менее 280 Н    |
| Разрушающее усилие при сжатии кольца.....                                       | не менее 260 Н    |
| Сопротивление продавливанию.....  | не менее 400 кПа  |
| Сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT в поперечном направлении)..... | не менее 4,0 кН/м |

Показано, что бисульфитная осиновая целлюлоза (в т. ч. с содержанием 20 % гнили) превосходит полуцеллюлозу по разрывной длине и сопротивлению продавливанию, но уступает ей по разрушающему усилию при сжатии кольца в поперечном направлении. При увеличении доли гнили в щепе до 10 % не происходит значительного снижения деформационно-прочностных характеристик бисульфитной осиновой целлюлозы. Однако отмечено, что наилучшими

показателями из всех полученных целлюлоз обладает целлюлоза без добавления гнили.

Из полученных данных следует вывод о том, что в производственных условиях возможно использование в смеси не более 10 % древесины осины, пораженной гнилью, без значительного снижения качества полуфабриката. Содержание гнили 20 % и выше не допускается.

### Заключение

В работе исследованы деформационно-прочностные характеристики бисульфитных волокнистых полуфабрикатов, полученных из смеси гнилой и здоровой древесины. Показано, что увеличение добавки некондиционной щепы в сырье приводит к незначительному падению выхода целлюлозы.

Увеличение содержания гнили в щепе обуславливает снижение всех деформационных характеристик бисульфитной осинового целлюлозы, за исключением жесткости при растяжении, – добавка некондиционной щепы не повлияла на данный показатель. Установлено, что максимально возможное содержание некондиционной древесины в композиции со здоровой осинового древесиной, не оказывающее негативного влияния на физико-механические свойства готовой продукции, равняется 10 %. Отмечено, что бисульфитная осинового целлюлоза (в т. ч. с содержанием 20 % гнили) превосходит полуцеллюлозу по разрывной длине и сопротивлению продавливанию.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, позволяют оценить влияние содержания некондиционной древесины на структурно-размерные и механические показатели качества волокнистого полуфабриката и могут быть использованы для дальнейшего развития технологий переработки ресурсов лиственной древесины, а также изготовления материалов с повышенными прочностью и деформативностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Большова Н.И.* Изменение химического состава древесины осины, пораженной грибом *Phellinus tremulae* (Bond.) Bond, et Boriss. // Микроорганизмы и низшие растения разрушители материалов и изделий: сб. М.: Наука, 1979. С. 168–173.

Bolshova N.I. Changes in the Chemical Composition of Aspen Wood Affected by the Fungus *Phellinus tremulae* (Bond.) Bond, et Boriss. *Microorganisms and Lower Plants that Destroy Materials and Products*. Moscow, Nauka Publ., 1979, pp. 168–173. (In Russ.).

2. *Вакин А.Т., Полубояринов О.И., Соловьев В.А.* Пороки древесины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 112 с.

Vakin A.T., Poluboyarinov O.I., Solovyov V.A. *Wood Defects. Second Edition*. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1980. 112 p. (In Russ.).

3. *Дружинин Ф.Н., Парфенов И.С.* Оценка эффективности хозяйственного воздействия на фаутовую осину при лесовосстановлении // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. Вологда: Вологодск. гос. ун-т, 2020. С. 36–38.

Druzhinin F.N., Parfenov I.S. Evaluation of the Effectiveness of Economic Impact on Faute Aspen during Reforestation. *Actual Problems of Forest Complex Development: Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference*. Vologda, Vologda State University Publ., 2020, pp. 36–38. (In Russ.).

4. Еришов Р.В., Ежов О.Н. Афиллофороидные грибы осины на северо-западе русской равнины. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2009. 124 с.

Ershov R.V., Ezhov O.N. *Aphyllorphoroid Aspen Fungi in the North-West of the Russian Plain*. Arkhangelsk, IEPN of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 124 p. (In Russ.).

5. Карабан А.А., Парамонов А.А., Севастьянова Ю.В., Медведев В.В., Скорнякова А.В., Третьяков С.В., Цветков И.В., Коптев С.В., Богданов А.П. Сравнительный анализ свойств целлюлозы, полученной из древесины ольхи серой и ивы древовидной // Journal of Agriculture and Environment. 2025. № 3(55). С. 1–17.

Karaban A.A., Paramonov A.A., Sevastyanova Yu.V., Medvedev V.V., Skornyakova A.V., Tretyakov S.V., Tsvetkov I.V., Koptev S.V., Bogdanov A.P. Comparative Analysis of the Properties of Pulp Obtained from Gray Alder and Willow Wood. *Journal of Agriculture and Environment*, 2025, no. 3(55), pp. 1–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15>

6. Коптев С.В., Васькин С.А., Севастьянова Ю.В., Поташев А.В., Медведев В.В. Свойства волокон древесины ели, пораженной гнилью // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2024. № 247. С. 264–277.

Koptev S.V., Vas'kin S.A., Sevastyanova Yu.V., Potashev A.V., Medvedev V.V. Properties of Spruce Wood Fibers Affected by Rot. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesnoy akademii* = Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy, 2024, no. 247, pp. 264–277. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.247.264-277>

7. Михайлов Л.Е. Осина. М.: Агропромиздат, 1985. 72 с.

Mikhailov L.E. *Aspen*. Moscow, Agropromizdat, 1985. 72 p. (In Russ.).

8. Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Фадеев Б.А., Синчук А.В., Кирсанов В.А., Тюрин Е.Т., Евлахова Р.А., Волкова Г.П. Возможность успешной переработки смеси древесины хвойных и лиственных пород при оптимальных условиях делигнификации // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 7. С. 42–49.

Mutovina M.G., Bondareva T.A., Fadeev B.A., Sinchuk A.V., Kirsanov V.A., Tyurin E.T., Evlakhova R.A., Volkova G.P. The Possibility of Successful Processing of a Mixture of Coniferous and Deciduous Wood Under Optimal Conditions of Delignification. *Tsellulosa. Bumataga. Karton* = Pulp. Paper. Cardboard, 2011, no. 7, pp. 42–49. (In Russ.).

9. Полочарчук Д.А., Осовская И.И., Севастьянова Ю.В., Боголицын К.Г., Паршина А.Э., Богданович Н.И. Свойства композиционного материала на основе лиственной и водорослевой целлюлозы // Химия растит. сырья. 2025. № 1. С. 351–362.

Polomarchuk D.A., Osovskaya I.I., Sevastyanova Yu.V., Bogolitsyn K.G., Parshina A.E., Bogdanovich N.I. Properties of Composite Material Based on Deciduous and Algal Cellulose. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Raw Material, 2025, no. 1, pp. 351–362. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250114679>

10. Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 276 с.  
Ripachek V. *Biology of Wood-Destroying Fungi*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 276 p. (In Russ.).

11. Севастьянова Ю.В., Поташев А.В., Миловидова Л.А., Медведев В.В. Разработка режимов варки сульфитной и бисульфитной целлюлозы для производства картона и сравнение полученных полуфабрикатов с сульфатной целлюлозой высокого выхода // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2021. С. 297–302.

Sevastyanova Yu.V., Potashev A.V., Milovidova L.A., Medvedev V.V. Development of Cooking Modes of Sulfite and Bisulfite Pulp for the Production of Cardboard and Comparison of the Obtained Semi-Finished Products with Kraft Pulp of High Yield. *Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2021, pp. 297–302. (In Russ.).

12. Севастьянова Ю.В., Топтунов Е.А., Щербак Н.В., Солнцев П.В. Определение математической зависимости плотности черного щелока от содержания сухих веществ (хвойная ЦБВ) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 192–200.

Sevastyanova Yu.V., Toptunov E.A., Shcherbak N.V., Solntsev P.V. Determination of the Mathematical Dependence of the Density of Black Liquor on the Content of Dry Substances (Softwood Pulp of High Yield). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 1, pp. 192–200. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-192-200>

13. Фаустова Н.М. Химический состав коры и древесины осины (*Populus tremula*): автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2005. 20 с.

Faustova N.M. *Chemical Composition of Aspen Bark and Wood (Populus tremula)*: Cand. Chem. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2005. 20 p. (In Russ.).

14. Чернов В.И. Формирование хозяйственно-ценных насаждений осины (*Populus tremula* L.) в лесах республики Татарстан: дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2015. 223 с.

Chernov V.I. *Formation of Economically Valuable Stands of Aspen (Populus tremula L.) in the Forests of the Republic of Tatarstan*: Cand. Agric. Sci. Diss. Ufa, 2015. 223 p. (In Russ.).

15. Чураков Б.П., Замалдинов И.Т., Чураков Р.А. Влияние сердцевинной гнили на продукцию древостоев осины разных форм // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 4. С. 30–43.

Churakov B.P., Zamaldinov I.T., Churakov R.A. The Influence of Core Rot on the Production of Aspen Stands of Various Forms. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2015, no. 4, pp. 30–43. (In Russ.).

16. Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal Forests Disturbance Regimes, Successional Dynamics and Landscape Structures – a European Perspective. *Ecological Bulletins*, 1994, vol. 51, pp. 117–136.

17. Bjorkman E., Forssblad L., Malm E. The Use of Decayed Wood From Some Conifers and Broadleaf Trees for Chemical Pulping Purposes. *Studia Forestalia Suecica*, 1964, no. 20, pp. 2–68.

18. Dorland R.M., Leask R.A., Mckinney J.W. Pulp Production With Sodium Bisulfite: The Cooking of Spruce. *Pulp and Paper Journal*, 1958, no. 10, pp. 236–237.

19. Goodell B., Qian Y., Jellison J. Fungal Decay of Wood: Soft Rot – Brown Rot – White Rot. *ACS Symposium Series*, 2008, vol. 982, pp. 9–31.

<https://doi.org/10.1021/bk-2008-0982.ch002>

20. Karlsson H. *Fiber Guide. Fiber Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. Kista, AB Lorentzen & Wettre, 2006. 120 p.

21. Rayner A.D.M., Boddy L. *Fungal Decomposition of Wood: Its Biology and Ecology*. Wiley. 1988. 587 p.

22. Yorston F.N. Studies on Sulfite Pulping. *Dominion Forest Service Bulletin*, 1942, no. 97, pp. 20–29.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest