

Научная статья
УДК 676.164.8.

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ НА СПОСОБНОСТЬ НЕДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ К ДЕЛИГНИФИКАЦИИ

**Иван Александрович Губанов¹, Семен Дмитриевич Бессмертнов²,
Алеся Валерьевна Вураско³, Алексей Леонидович Шерстобитов⁴**

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

¹ gubanovia@m.usfeu.ru

² semen.bessmertnov@yandex.ru

³ vuraskoav@m.usfeu.ru

⁴ sherstobitoval@m.usfeu.ru

Аннотация. Исследована возможность применения радиационной обработки для предварительной подготовки конопли технической перед получением целлюлозы. Установлено, что облучение способствует разрушению экстрактивных веществ и лигнина, однако одновременно приводит к снижению содержания целлюлозы. Определен оптимальный диапазон доз облучения для делигнификации конопли технической.

Ключевые слова: натронная варка, отход переработки конопли, лигнин, облучение, радиационная обработка

Для цитирования: Влияние излучения линейного ускорителя на способность недревесного сырья к делигнификации / И. А. Губанов, С. Д. Бессмертнов, А. В. Вураско, А. Л. Шерстобитов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1023–1027.

Original article

INFLUENCE OF LINEAR ACCELERATOR RADIATION ON THE DELIGNIFICATION CAPACITY OF NON-WOOD RAW MATERIALS

**Ivan A. Gubanov¹, Semyon D. Bessmertnov², Alesya V. Vurasko³,
Alexey L. Sherstobitov⁴**

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ gubanovia@m.usfeu.ru

² semen.bessmertnov@yandex.ru

³ vuraskoav@m.usfeu.ru

⁴ sherstobitov@m.usfeu.ru

Abstract. The possibility of using radiation treatment for the preliminary preparation of technical hemp before obtaining cellulose is investigated. It has been established that irradiation promotes the destruction of extractive substances and lignin, but at the same time leads to a decrease in the cellulose content. The optimal range of radiation doses for the delignification of technical cannabis has been determined.

Keywords: soda pulping, hemp processing waste, lignin, irradiation, radiation treatment

For citation: Vliyanie izlucheniya linejnogo uskoritelya na sposobnost' nedrevesnogo sy'r'ya k delignifikacii [Influence of linear accelerator radiation on the delignification capacity on non-wood raw materials] (2026) I. A. Gubanov, S. D. Bessmertnov, A. V. Vurasko, A. L. Sherstobitov. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1023–1027. (In Russ).

В современной промышленности особое внимание уделяется методам предварительной обработки недревесного растительного сырья, способным повысить эффективность стадий производства: гидролиз при получении биотоплива [1] или делигнификация при производстве целлюлозы. Среди перспективных видов сырья выделяется конопля техническая: она обладает рядом преимуществ и может служить альтернативой хлопку (ткани и целлюлоза), нефти (пластики), а также стекловолокну и льноволокну (композитные материалы) [2]. На данный момент в целлюлозной промышленности преимущественно используют хлопок для получения целлюлозы с высоким содержанием альфа-целлюлозы, а интерес представляет смесь волокна и костры конопли технической.

В качестве предварительной подготовки используются: щелочная обработка с последующей окислительно-органосольвентной варкой [3], а также натронная варка под давлением с последующей органосольвентной варкой для удаления остаточного лигнина [4], что не дает возможности получить удовлетворительный результат.

В качестве предварительной стадии использовали радиационную обработку растительного сырья: облучение электронным пучком с помощью линейных ускорителей электронов для воздействия на атомном и молекулярном уровнях. Такое воздействие приводит к разрушению смолистых и окрашивающих веществ, ионизации и разрушению химических связей в макромолекулах, что особенно важно при изучении устойчивости связей между углеводами и фенилпропановыми единицами лигнина (ФПЕ), а также между ФПЕ друг с другом [5]. Исследование этих изменений позволит уточнить механизмы воздействия облучения на растительное сырье и оптимизировать комбинированные технологии переработки конопли технической с целью получения целлюлозы высокого качества.

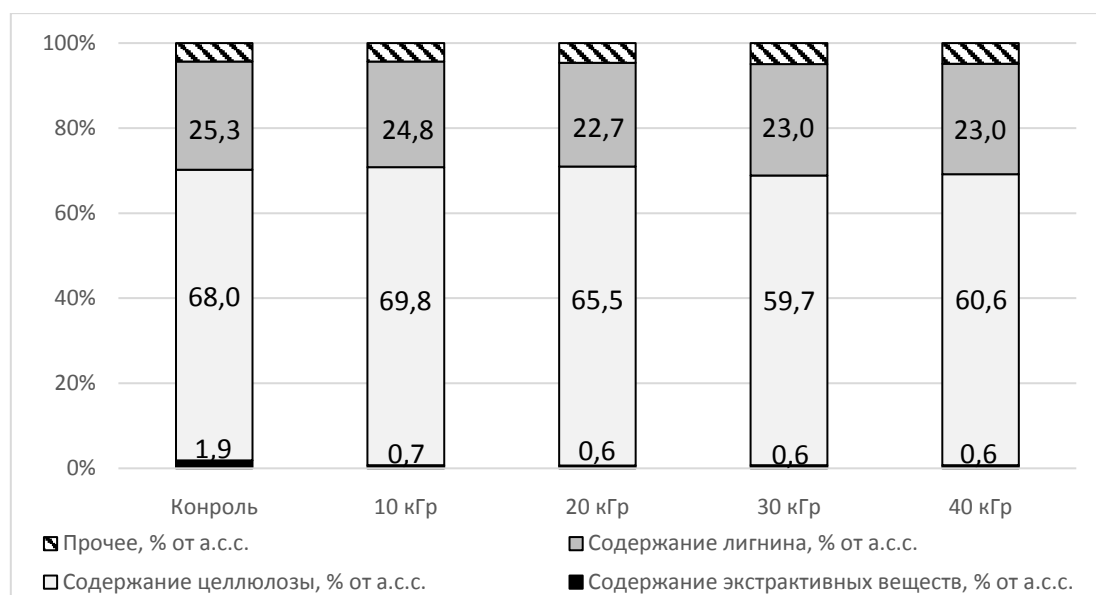
Конопля техническая имеет сложный химический состав нецеллюлозных компонентов: красители, смолы и жиры, в том числе камеди. Эти компоненты в совокупности называются *жировосковым комплексом*, который при натронной варке конопли технической практически не изменяет свой количественный и качественный состав. Содержание камеди оказывает большое влияние на последующую обработку целлюлозы конопли. Этот процесс требует большого количества щелочи, длительного времени и высокого потребления энергии, а также вызывает большое загрязнение окружающей среды [6].

Поэтому для того чтобы получить качественную микрокристаллическую часть целлюлозы, важным шагом является удаление нецеллюлозных смоляных компонентов посредством натронной варки после воздействия на сырье линейным облучением.

В качестве сырья была выбрана конопля техническая урожая 2024 г. Курганской области. Сырье изначально подготавливали в ножевой мельнице, просеивали [7].

Облучение образцов проводили на линейном ускорителе электронов с энергией 10 МэВ. Опытная группа подвергалась облучению с поглощенной дозой, равной 10–40 кГр. Результаты компонентного состава облученного сырья представлены на рисунке.

Из рисунка видно, что с увеличением дозы облучения содержание экстрактивных веществ снизилось в 2,7–3,2 раза. массовая доля лигнина, по сравнению с исходным сырьем (25,5 %), снизилась на 0,5–2,6 %, что является положительным эффектом от облучения. Однако с увеличением дозы облучения происходит снижение массовой доли целлюлозы на 2,8–8,6 %. Значительное снижение наблюдается при дозах облучения от 30 кГр и выше.



Результаты исследования компонентного состава исходных и облученных отходов конопли технической

Варку проводили в автоклаве объемом 60 мл; масса абсолютно сухого сырья (а.с.с.) 7 г; расход щелочи в ед. (Na_2O) к а.с.с. 24 %; гидромодуль 1:8,5; температура варки 170 °С; подъем температуры до варочной 40–45 мин; варка – 120 мин. По окончании варок «пеналы» доставали, охлаждали, проводили промывку до нейтрального значения pH, сортировали и анализировали.

Результаты анализа натронной целлюлозы отходов переработки конопли технической после натронной варки представлены в таблице.

Результаты анализа натронной целлюлозы после облучения

Показатели	Отходы переработки конопли технической		
	контроль	10 кГр	20 кГр
Выход, % от а.с.с.	64,1±0,1	44,7±0,1	38,4±0,1
Массовая доля лигнина, % от а.с.с.	7,4±0,1	7,5±0,1	6,7±0,1
Массовая доля экстрактивных веществ, % от а.с.с.	1,9	1,7	1,1

Согласно табл., после варки массовая доля экстрактивных веществ облученного сырья уменьшилась на 0,2–0,8 % от а.с.с. в зависимости от интенсивности облучения. Однако при этом уменьшился и выход целлюлозы на 19,4–25,7 % от а.с.с., массовая доля лигнина практически не изменилась.

Увеличение интенсивности облучения от 10–40 кГр приводит к деструкции не только экстрактивных веществ (в 2,7–3,2 раза) и лигнина (на 0,5–2,6 %) в исходном сырье, но и целлюлозы (на 2,8–8,6 %). Рекомендованное облучение сырья для натронной варки, при которой не происходит разрушение углеводной части 10–20 кГр.

Таким образом, облучение электронами на линейном ускорителе растительного сырья положительно влияет на удаление смолистых веществ, не влияет на удаление лигнина и частично разрушает углеводную часть недревесного сырья. Вероятнее всего, разрушается аморфная часть целлюлозы, что способствует увеличению кристаллической части и приводит к возможности получения микрокристаллической целлюлозы.

Список источников

1. Radiation-Induced Structural Changes of Miscanthus Biomass / X.-J. Su, C.-Y. Zhang, W.-J. Li [et al.] // Appl. Sci. 2020. № 10. P. 1130. URL: <https://doi.org/10.3390/app10031130> (дата обращения: 01.12.2025).
2. О внесении изменений в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы : Постановление Правительства Рос. Федерации от 30.09.2023 г. № 1614 // Правительство России : [сайт]. URL: <http://government.ru/docs/all/149902/> (дата обращения: 01.12.25).
3. Получение целлюлозы из отходов переработки конопли технической / И. А. Губанов, В. А. Вураско, А. В. Вураско [и др.] // Химия. Экология. Урбанистика. 2024. Т. 2. С. 128–131.
4. Вураско А. В., Шерстобитов А. Л., Губанов И. А. Получение технической целлюлозы из отходов переработки конопли технической окислительно-органо-сольвентным способом // Повышение качества жизни и обеспечение конкурентоспособности экономики на основе инновационных и научно-технических разработок : сборник статей VII Международной научно-технической конференции. В 3 т. Минск, 03–05 декабря 2024 года. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2024. С. 344–347.
5. Влияние облучения электронами линейного ускорителя на свойства волокон и костры конопли технической / А. В. Вураско, А. Л. Шерстобитов, Е. К. Мусихин [и др.] // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов : материалы VIII Международной научно-технической конференции имени профессора В. И. Комарова, Архангельск, 11–13 сентября 2025 года. Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, 2023. С. 70–75.
6. Study on the efficiency and recyclability of Fenton-MnFe₂O₄ for the degumming of hemp fibers / C. Yu, Y. Zheng, Y. Sun, J. Wang // RSC Adv. 2023. No. 13 (51). P. 36382–36391. DOI: 10.1039/d3ra07352a
7. Делигнификация отходов переработки конопли технической с раствором гидроксида натрия / А. Л. Шерстобитов, И. А. Губанов, А. В. Вураско, П. С. Кривоногов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции, Екатеринбург, 07–17 апреля 2025 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 991–995.