

УДК 504.064.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.179

**БИОКОНВЕРСИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА*****К.С. Болотова¹**, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [G-1760-2019](#),*ORCID*: [0000-0002-7916-2410](#)**О.В. Травина²**, стажер-исследователь; *ResearcherID*: [T-2952-2018](#),*ORCID*: [0000-0001-7049-9271](#)**А.С. Аксенов¹**, канд. техн. наук, зав. кафедрой; *ResearcherID*: [C-7289-2015](#),*ORCID*: [0000-0003-1013-1357](#)**М.В. Емельянова¹**, канд. техн. наук, доц.; *ORCID*: [0000-0001-6600-6526](#)**В.А. Рудакова¹**, канд. техн. наук, доц.; *ORCID*: [0000-0002-3447-4226](#)**А.В. Канарский³**, д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID*: [O-8113-2016](#),*ORCID*: [0000-0002-3541-2588](#)

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: k.bolotova@narfu.ru, a.s.aksenov@narfu.ru, m.emelyanova@narfu.ru, v.rudakova@narfu.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: travina.oksana136@yandex.ru

³Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420015; e-mail: alb46@mail.ru

Районы Крайнего Севера и Арктики (в состав территории которой входит Архангельская область) характеризуются экстремальными природно-климатическими факторами: низкими температурами зимой, большим суточным перепадом температур, частыми метелями зимой и дождями в летний период. Такие условия существенно влияют на ферментативную активность почвенных микроорганизмов. Цель работы – оценка влияния температуры ферментативной обработки на начальные этапы биоразложения целлюлозосодержащих материалов. В исследовании использовали образцы картонно-бумажной продукции: газетную бумагу с цветной печатью, тарный картон и белую офисную бумагу. Бактериальную целлюлозу получали, культивируя симбиоз бактерий рода *Acetobacter* и дрожжей на глюкозной среде в статических условиях при температуре 25 °С. Для моделирования биоразложения использовали лабораторный ферментный препарат, продуцируемый штаммом микроскопического гриба *P. Verruculosum*. Активность почвенных целлюлаз, инициирующих биоконверсию целлюлозосодержащих материалов в грунтах полигонов хранения твердых бытовых отходов Архангельской области, оказалась низкой и составила менее 10 мкг глюкозы/10 г почвы за 48 ч экспозиции. Определяющим фактором для процесса биоконверсии в условиях Арктического региона является температура почвы. Показано, что при снижении температуры до 5...15 °С скорость биоконверсии целлюлозосодержащих материалов растительного происхождения уменьшается в 2...8 раз по сравнению с температурой 30...50 °С, оптимальной для многих ферментативных процессов. Установлено, что биоконверсия бактериальной целлюлозы до глюкозы слабо зависит от температуры ферментативной обработки в диапазоне 5...15 °С и составляет в среднем 20 % за 1 сутки. **Для цитирования:** Болотова К.С., Травина О.В., Аксенов А.С., Емельянова М.В., Рудакова В.А., Канарский А.В. Биоконверсия целлюлозосодержащих материалов в усло-

*Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2019 г.

виях Арктического региона // Лесн. журн. 2019. № 4. С. 179–186. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.179

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00855 «Надмолекулярная организация целлюлозных микрофибрилл растительного и бактериального происхождения» с использованием оборудования ЦКПНО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова и ферментного препарата, предоставленного Институтом биохимии им. А.Н. Баха.

Ключевые слова: биоразложение целлюлозосодержащих материалов, бактериальная целлюлоза, ферментативный гидролиз, целлюлаза.

Введение

В последнее время большое внимание уделяется использованию биоразлагаемых материалов. Современные технологии изготовления и применения целлюлозосодержащих материалов соответствуют этой тенденции [2, 15]. После использования значительная часть картонно-бумажной продукции депонируется на свалках и подвергается естественному процессу разложения. На полигоны хранения твердых бытовых отходов (ТБО) в больших объемах могут попадать массовые виды такой продукции: газетная бумага, тарный картон и офисная бумага, которые в качестве основного компонента содержат целлюлозу.

Биоразложение целлюлозы является одним из звеньев в цепи превращения органических соединений в составляющие почвы [14]. Данный процесс осуществляется при участии как минимум двух групп микроорганизмов: во-первых, истинных бактерий, миксобактерий и актиномицетов, целлюлолитические ферменты которых действуют на субстрат при контакте с поверхностью клетки; во-вторых, грибной микрофлоры, гидролитическое действие которой на целлюлозу обеспечивается выделяемыми ею внеклеточными целлюлазами [6].

В реальных климатических условиях, особенно в северных регионах, скорость биоразложения существенно зависит от сезона. Главные факторы, влияющие на этот процесс, – температура и влажность. На биоразложение целлюлозосодержащих материалов влияет их компонентный состав, в том числе наполнители и химикаты, добавленные при изготовлении картонно-бумажной продукции. Важное значение имеет надмолекулярная структура растительной целлюлозы, наиболее устойчивы к ферментативному гидролизу кристаллические участки целлюлозных микрофибрилл. В этой связи представляет интерес сравнение биоразлагаемости растительной и бактериальной целлюлозы, так как последняя имеет уникальное строение и особую структуру микрофибрилл [3, 11].

Лабораторное моделирование ферментативных процессов с применением целлюлаз позволяет оценить биоразлагаемость целлюлозных материалов [9]. Особенностью функционирования ферментных систем является возможность работать в определенном интервале температур, в том числе сохранять активность при относительно низкой температуре [12].

Цель работы – оценка влияния температуры ферментативной обработки на начальные этапы биоразложения целлюлозосодержащих материалов.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали образцы картонно-бумажной продукции: газетную бумагу с цветной печатью, тарный кар-

тон и белую офисную бумагу. Содержание золы в образцах бумаги и картона измеряли по стандартной методике [4]. Исследование структуры микрофибрилл целлюлозы проводили при помощи электронного растрового микроскопа Zeiss SIGMA VP.

Бактериальную целлюлозу (БЦ) получали, культивируя симбиоз бактерий рода *Acetobacter* и дрожжей на глюкозной среде в статических условиях при температуре 25 °С. БЦ отделяли от культуральной среды и промывали [10]. В опытах использовали влажный образец бактериальной целлюлозы (влажность 96 %).

Для моделирования биоразложения использовали лабораторный ферментный препарат, продуцируемый штаммом микроскопического гриба *P. Verruculosum*. Этот препарат содержит комплекс целлюлаз и обладает также ксиланазной и другими минорными активностями. Предпочтительный температурный интервал действия препарата 40...50 °С (оптимум 42 °С) при рН среды 5,0...5,5 [7].

Образцы целлюлозосодержащих материалов распускали на гомогенизаторе в дистиллированной воде до получения однородной волокнистой суспензии. Концентрация целлюлозы в суспензии составляла 10 г/л (в пересчете на сухое вещество). В суспензию вносили 10 мг/г субстрата, 10 мл 1 М ацетатного буфера для поддержания рН 5, 80 мкл азида натрия и термостатировали при температуре 42, 15 и 5 °С. Через 24 ч отбирали 2 мл суспензии и центрифугировали в течение 2 мин при частоте вращения 6000 об/мин. В надосадочной жидкости определяли восстанавливающие сахара (ВС) по методу Шомоди–Нельсона.

Для определения целлюлолитической активности грунтов использовали метод Багнюка и Щетинской [1], который основан на способности целлюлолитических ферментов почвы расщеплять целлюлозу до глюкозы в процессе инкубации при температуре 35 °С в течение 48 ч. По количеству глюкозы, образовавшейся из натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, судили о степени целлюлолитической активности почвы, которая выражается в микрограммах глюкозы на 10 г почвы.

Оценку целлюлолитической активности почвы проводили путем анализа активности целлюлаз, продуцируемых почвенными микроорганизмами. В качестве исследуемого материала были взяты образцы почв, на которых расположены несколько полигонов ТБО на территории Архангельской области [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Целлюлазная активность исследуемых образцов почв укладывалась в диапазон 0,6...1,6 мкг глюкозы/10 г почвы, что классифицируется как очень слабая активность (первый тип почв, так как полученное значение составляет менее 10 мкг глюкозы/10 г почвы за 48 ч экспозиции). Такой уровень активности почвенных микроорганизмов обуславливает медленный процесс естественного биоразложения целлюлозосодержащих отходов на территориях ТБО.

Эффективность биоразложения зависит от компонентного состава и структуры целлюлозосодержащих материалов. Важную роль играет наличие у целлюлозных микрофибрилл (рис. 1) кристаллических высокоупорядоченных участков и аморфных, менее упорядоченных участков (рис. 1).

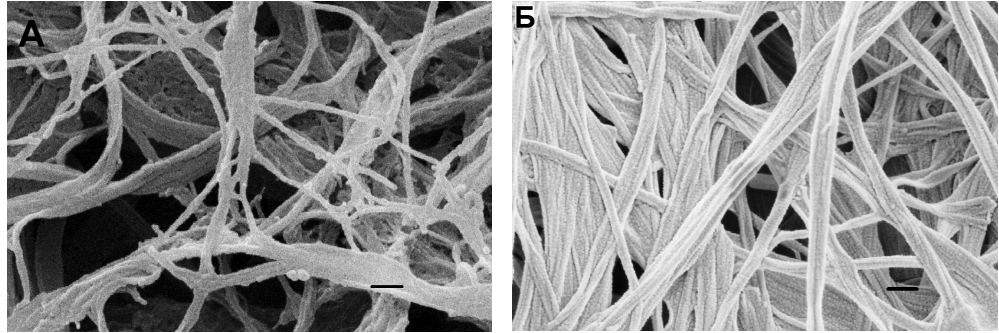


Рис. 1. Микрофибриллы целлюлозы: А – листовая беленая сульфатная целлюлоза; Б – целлюлоза бактериального происхождения. Масштабная линейка 100 нм

Fig. 1. The cellulose microfibrils. A – Short fiber bleached cellulose; B – The microbially-derived cellulose. Scale rule: 100 nanometer

Установлено статистически близкое распределение размеров микрофибрилл целлюлозы растительного и бактериального происхождения [3]. Однако у бактериальной целлюлозы отсутствует строгая ориентация элементов надмолекулярной структуры. Такая укладка микрофибрилл характерна также для первичной стенки Р-клеток растений. Слои вторичной клеточной стенки волокон имеют строго определенную ориентацию микрофибрилл и более плотное строение.

Лимитирующей стадией ферментативного гидролиза (био конверсии) целлюлозы является диффузия ферментного препарата в пористую структуру субстрата. Скорость гидролиза может быть увеличена путем измельчения, аморфизации или разупорядочения целлюлозной матрицы.

Температура является важным фактором ферментативного гидролиза. По информации ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», средняя температура воздуха 15 °С характерна в летних условиях для климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа. В северных регионах средняя летняя температура почвы на глубине 5...20 см составляет 3...5 °С [8]. Эксперименты были проведены при температуре 42, 15 и 5 °С. При этих температурах целлюлоза растительного происхождения в составе картонно-бумажных материалов ферментативно разрушается значительно медленнее, чем БЦ (рис. 2).

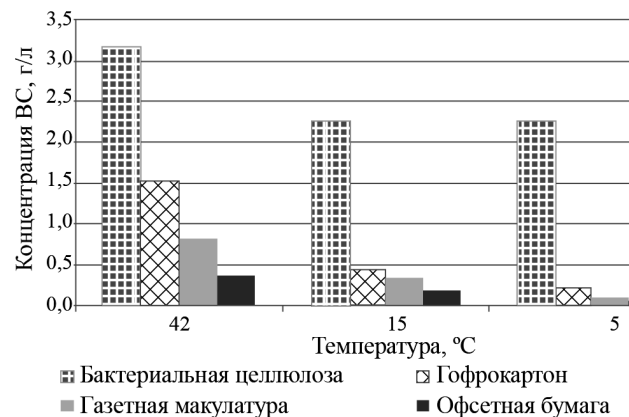


Рис. 2. Разложение целлюлозосодержащих материалов растительного и бактериального происхождения за 24 ч обработки

Fig. 2. Biodegradation of the cellulose-containing materials of phytogetic and microbial origins

Как видно из рис. 2, БЦ характеризуется лучшей биоразлагаемостью, так как не содержит лигнина, имеет менее плотную упаковку микрофибрилл, низ-

кое содержание нецеллюлозных компонентов. Фактически она может служить эталонным образцом, так как показывает максимально возможную степень конверсии в выбранных условиях. При оптимальной для ферментного препарата температуре 42 °С за 24 ч степень биоконверсии БЦ была самой высокой – 28 % (рис. 2). При снижении температуры до 15 и 5 °С концентрация ВС уменьшилась примерно в 1,4 раза, а степень конверсии БЦ составила в среднем 20 %. Эти результаты показывают, что снижение температуры до 5 °С тормозит, но не прекращает ферментативный процесс.

Как видно из рис. 2, БЦ характеризуется лучшей биоразлагаемостью, так как не содержит лигнина, имеет менее плотную упаковку микрофибрилл, низкое содержание нецеллюлозных компонентов. Фактически она может служить эталонным образцом, так как показывает максимально возможную степень конверсии в выбранных условиях. При оптимальной для ферментного препарата температуре 42 °С за 24 ч степень биоконверсии БЦ была самой высокой – 28 % (рис. 2). При снижении температуры до 15 и 5 °С концентрация ВС уменьшилась примерно в 1,4 раза, а степень конверсии БЦ составила в среднем 20 %. Эти результаты показывают, что снижение температуры до 5 °С тормозит, но не прекращает ферментативный процесс.

Биоконверсия целлюлозосодержащих материалов растительного происхождения проходила в значительно меньшей степени. Лучшие результаты получены для газетной бумаги, далее идет тарный картон. Высокое содержание лигнина в газетной бумаге и тарном картоне (табл. 1) [5] связано с использованием для их изготовления химико-механической массы (газетная бумага) или небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы (тарный картон).

Таблица 1

Массовая доля лигнина и золы в целлюлозосодержащих материалах

Материал	Массовая доля лигнина, %	Массовая доля золы, %
Газетная макулатура	17...23	0,4
Картон	06...12	4,1
Офисная бумага	0	13,5
Бактериальная целлюлоза	0	6,7

Однако в экспериментах негативное влияние лигнина практически не проявилось. Это связано с тем, что был изучен начальный этап биоконверсии, когда полисахариды на поверхности бумажных материалов легкодоступны для действия ферментов-гидролаз. По сравнению с оптимальной температурой при 15 °С степень биоконверсии снижается в 2 раза, а при 5 °С – в 5–8 раз (рис. 2).

Образцы газетной бумаги и тарного картона под действием ферментного препарата были гидролизованы в большей степени, чем офисная бумага, в состав которой входили только беленые полуфабрикаты. В процессе ферментативной обработки офисной бумаги отмечено существенное повышение рН – с 5,0 до 7,0. Технология производства этого вида бумаги подразумевает введение в композицию минеральных наполнителей и связующих веществ. В лабораторных условиях из-за наличия в составе карбоната кальция офисная бумага имеет высокую зольность – 13,5 % (табл. 1), что приводит к отклонению рН от оптимального значения и снижению активности фермента. Для почв северных территорий характерно слабокислое значение рН, поэтому избыточная щелочность будет быстро нейтрализована.

Заключение

Установлено, что почвенные целлюлазы на исследованных участках Архангельской области обладают низкой активностью, поэтому биоразложение отходов под действием микроорганизмов происходит медленно. В реальных условиях полигонов хранения ТБО эффективность биоразложения целлюлозо-содержащих материалов лимитируется температурой воздуха и почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимova Ф.К., Тухбатова Д.И., Тазетдинова Д.И. Методы определения гидролаз почв и почвенных микроорганизмов: учебно-метод. пособие. Казань: Казан. ун-т, 2010. 67 с.
2. Болотова К.С., Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 5–23. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.201503575>
3. Болотова К.С., Чухчин Д.Г., Майер Л.В., Гурьянова А.А. Морфологические особенности фибриллярной структуры растительной и бактериальной целлюлозы // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 153–165. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.153
4. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
5. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2: Производство полуфабрикатов. СПб.: Политехника, 2003. 633 с.
6. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Н. Новгород: Нижегородская гос. с.-х. академия, 2012. 64 с.
7. Чекушина А.В. Целлюлолитические ферментные препараты на основе грибов *Trichoderma*, *Penicillium* и *Myceliophthora* с увеличенной гидролитической активностью: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Ин-т биохимии им. А.Н. Баха РАН, 2013. 23 с.
8. Чертовской В.Г. Еловые леса европейской части СССР: моногр. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.
9. Chatterjee S., Sharma S., Prasad R.K., Datta S., Dubey D., K Meghvansi M.G., Vairale M., Veer V. Cellulose Enzyme Based Biodegradation of Cellulosic Materials: An Overview (2015). *South Asian J Exp. Biol.*, 5 (6), pp. 271–282, DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7485-1_14
10. Kadere T.T., Miyamoto T., Oniang'o R.K., Kutima P.M., Njoroge S.M. Isolation and Identification of the Genera *Acetobacter* and *Gluconobacter* in Coconut Toddy (Mnazi). *African J Biotechnol*, 2008. Vol. 7 (16). Pp. 2963–2971.
11. Kawecki M., Krystynowicz A., Wysota K., Czaja W., Sakiel S. et al. Bacterial Cellulose Biosynthesis, Properties and Applications. *Proceedings of the International Review Conference Biotechnology, Vienna, Austria, 2004*. Pp. 14–18.
12. Lynd L.R., Weimer P.J., van Zyl W.H., Pretorius I.S. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology *Microbiol Mol Biol Rev*, 2002. vol. 66(3), pp. 506–577. DOI: 10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002
13. Ojumu T., Solomon V., Bamidele O., Betiku E., Layokun S.K, et al. Cellulose Production by *Aspergillus Flavus* Linn Isolate NSPR 101 Fermented in Sawdust, Bagasse and Corncob. *African J Biotechnol*, 2003. vol. 2, pp. 150–152.
14. Perez J., Munoz-Dorado J., Rubia T. de la, Martinez J. Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicelluloses and Lignin: an overview. *International Microbiology*, 2002. vol. 5, issue 2, pp.53–63, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0062-3>
15. Wierzbna S., Nabrdalik M. Biodegradation of Cellulose in Bottom Sediments of Turawa lake. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2007. vol. 41 (1), pp. 227–235.

Поступила 19.09.18

UDC 504.064.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.179

Bioconversion of the Cellulose-containing Materials in the Arctic Region Conditions***K.S. Bolotova**¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [G-1760-2019](#),ORCID: [0000-0002-7916-2410](#)**O.V. Travina**², Intern-researcher; ResearcherID: [T-2952-2018](#), ORCID: [0000-0001-7049-9271](#)**A.S. Aksenov**¹, Candidate of Engineering, Head of the department; ResearcherID: [C-7289-2015](#),ORCID: [0000-0003-1013-1357](#)**M.V. Emelyanova**¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: [0000-0001-6600-6526](#)**V.A. Rudakova**¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: [0000-0002-3447-4226](#)**A.V. Kanarskiy**³, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [O-8113-2016](#),ORCID: [0000-0002-3541-2588](#)

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: k.bolotova@narfu.ru, a.s.aksenov@narfu.ru, m.emelyanova@narfu.ru, v.rudakova@narfu.ru

² Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Centre for Arctic Integrated Research named after academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 23 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: travina.oksana136@yandex.ru

³ Kazan National Research Technological University, 68 K. Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: alb46@mail.ru

The regions of the Far North and the Arctic (the territory of which includes the Arkhangelsk region) are characterized by extreme natural and climatic factors: low temperatures in winter, a large daily temperature drop, frequent snowstorms in winter and rains in summer. These conditions significantly affect the enzymatic activity of soil microorganisms. The aim of the work is to assess the effect of the enzymatic treatment temperature on the initial stages of biodegradation of the cellulose – containing materials. The study used samples of cardboard and paper products: newspaper paper with color printing, container cardboard and white office paper. Bacterial cellulose was obtained by cultivating a symbiosis of the genus *Acetobacter* bacteria and yeast on a glucose medium in static conditions at 25 °C. to simulate biodegradation, a laboratory enzyme preparation was used, produced by a strain of a microscopic fungus. The activity of soil cellulases initiating bioconversion of cellulose-containing materials in soils of municipal solid waste storage areas of the Arkhangelsk region was low and amounted to less than 10 µg of glucose/10 g of soil per 48 hours of exposure. The determining factor for the bioconversion process in the Arctic region is the soil temperature. It is shown that while a decrease in temperature to 5...15 °C, the bioconversion rate of cellulose-containing materials of plant origin is reduced by 2...8 times compared to the temperature of 30...50 °C, which is optimal for many enzymatic processes. It was found that bioconversion of bacterial cellulose to glucose is weakly dependent on the temperature of enzymatic treatment in the range of 5...15 °C and averages 20% for 1 day.

For citation: Bolotova K.S., Travina O.V., Aksenov A.S., Emelyanova M.V., Rudakova V.A., Kanarskiy A.V. Bioconversion of Cellulose-containing Materials in the Arctic Region Conditions. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 4, pp. 179–186. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.179

Funding: The research was financed by the RFBR within the framework of the scientific project № 18-33-00855 “The supramolecular organization of the cellulose microfibrils of

*The article was published in the framework of implementation the development program of scientific journals in 2019.

phytogenous and bacterial origin” hardware-assisted by the “Arctic” SC of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, with the use of enzymatic agent provided by the Institute of biochemistry named after A.N. Bach.

Keywords: biodegradation of cellulose-containing materials, bacterial cellulose, enzymatic hydrolysis, cellulose.

REFERENCES

1. Alimova F.K., Tuhbatova D.I., Tazetdinova D.I. *Methods for Determination of the Hydrolases of Soils and Soil Microorganisms: Study Guide*. Kazan, Kazan University Publ., 2010, 67 p.
2. Bolotova K.S., Novozhilov E.V. Application of Enzymatic Technologies to Improve the Environmental Safety of Pulp and Paper Production. *Khimija rastitel'nogo syrya* [Chemistry of the Vegetable Stock], 2015, no. 3, pp 5–23. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.201503575>
3. Bolotova K.S., Chukhchin D.G., Mayer L.V., Gurya A.G. Morphological features of the fibrous structure of plant and bacterial cellulose. *Lesnoy Zhurnal* [Forest journal], 2016, no. 6, pp. 153–165. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.153
4. Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A. Laboratory Works on Chemistry of Wood and Cellulose. Moscow, Ecology Publ., 1991. 320 p.
5. Technology of Pulp and Paper Production. In 3 vol. Vol. 1 – Raw Materials and Semi-finished Products, Part 2 – Pproduction of Semi-finished Products. St. Petersburg, Polytechnic Publ., 2003. 633 p.
6. Titova V.I., Kozlov A.V. Methods of Evaluation of the Soil Microbiocenosis Functioning, Involved in the Transformation of an Organic Matter. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy Publ., 2012. 64 p.
7. Chekushina A.V. *The Cellulolytic Enzymatic Preparations Based on the Hydrolytic Activity-enhanced Trichoderma, Penicillium and Myceliophthora Fungi*: Cand. Eng. Sci. Diss. (abstract). Moscow, 2013. 23 p.
8. Chertovskaya V.G. Spruce Forests of the European Part of the USSR. Moscow, Forest Industry Publ., 1978. 176 p.
9. Chatterjee S., Sharma S., Prasad R.K., Datta S., Dubey D., K Meghvansi M., G Vairale M., Veer V. Cellulose Enzyme Based Biodegradation of Cellulosic Materials: An Overview (2015) *South Asian J Exp. Biol.*, 5 (6), pp. 271–282, DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7485-1_14
10. Kadere T.T., Miyamoto T., Oniang'o R.K., Kutima P.M., Njoroge S.M., Isolation and Identification of the Genera Acetobacter and Gluconobacter in Coconut Toddy (Mnazi). *African J Biotechnol*, 2008. Vol. 7 (16). Pp. 2963–2971.
11. Kawecki M., Krystynowicz A., Wysota K., Czaja W., Sakiel S. et al. Bacterial Cellulose Biosynthesis, Properties and Applications. *Proceedings of the International Review Conference Biotechnology, Vienna, Austria*, 2004. Pp. 14–18.
12. Lynd L.R., Weimer P.J., van Zyl W.H., Pretorius I.S. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology *Microbiol Mol Biol Rev*, 2002. Vol. 66(3). Pp. 506–577. DOI: 10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002
13. Ojumu T., Solomon V., Bamidele O., Betiku E., Layokun S.K., et al. Cellulose Production by *Aspergillus Flavus* Linn Isolate NSPR 101 Fermented in Sawdust, Bagasse and Corncob. *African J Biotechnol*, 2003. Vol. 2. Pp. 150–152.
14. Perez J., Munoz-Dorado J., Rubia T. de la, Martinez J. Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicelluloses and Lignin: an overview. *International Microbiology*, 2002. Vol. 5. Issue 2. Pp.53–63, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0062-3>
15. Wierzba S., Nabrdalik M. Biodegradation of Cellulose in Bottom Sediments of Turawa lake. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2007. Vol. 41 (1). Pp. 227–235.

Received on September 19, 2018