

АКТИВНОСТЬ И МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ

Захарова Ольга Алексеевна¹, Садовая Ирина Игоревна², Евдокимова Ольга Валерьевна³

^{1,2}Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Минздрава РФ, г. Рязань, Россия

¹ol-zahar-ru@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Почвенная микрофлора быстро реагирует на любые изменения, в особенности пищевого режима. Микробиоценоз в почве представлен собственно почвенными микроорганизмами, микрофлорой навоза и микробиологического препарата, вследствие чего между ними складываются различные взаимоотношения. Цель исследований - изучение активности и механизма разрушения целлюлозы в черноземе выщелоченном в производственном опыте при внесении органического удобрения на основе отходов животноводства под зерновые культуры.

Методология. Производственный опыт проведен в ОАО «ЛАГ Сервис-АГРО» Захаровского района Рязанской области. Метод исследований и оценка активности процесса целлюлозоразрушения по Звягинцеву. Статистическая обработка результатов исследований при вычислении коэффициентов корреляции и коэффициентов детерминации с использованием компьютерной программы Statistika 10.

Результаты. При внесении органического удобрения на основе отходов животноводства значительно усилился процесс разложения целлюлозы. Под овсом за три месяца экспозиции льняного полотна разложению подверглось более 80%, что по шкале Звягинцев характеризовалось как сильная активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Наибольшая активность процесса установлена в середине июня. Под озимой рожью разложению подверглось более 87%, что по шкале Звягинцев характеризовалось как очень сильное. Максимальная интенсивность процесса наблюдалась в конце мая. Теоретически рассмотрен вопрос механизма разрушения целлюлозы.

Заключение. Целлюлозоразрушающая активность усилилась под действием населяющей почву микрофлоры, погодных факторов, характера растительности, объема поступившего органического удобрения и свойствами самой почвы. Под овсом активность процесса была слабее почти на 6%. Механизм разрушения льняного полотна представлен последовательными этапами деформирования и разрушения волокон.

Ключевые слова: почва, органическое удобрение, микрофлора, целлюлозоразрушение, льняное полотно.

Original article

ACTIVITY AND MECHANISM OF CELLULOSE DESTRUCTION IN LEACHED CHERNOZEM

Zakharova Olga Alekseevna¹, Sadovaya Irina Igorevna², Evdokimova Olga Valerievna³

^{1,2}*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia*

³*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Ryazan State Medical University Named after Academician I.P. Pavlov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russia*

¹*ol-zahar-ru@yandex.ru*

Abstract.

Problem and purpose. Soil microflora quickly responds to any changes, especially the nutritional regime. The microbiocenosis in the soil is represented by soil microorganisms themselves, the microflora of manure and the microbiological preparation, as a result of which various relationships develop between them. The purpose of the research was to study the activity and mechanism of cellulose destruction in leached chernozem in a production experiment when applying organic fertilizer based on animal waste to grain crops.

Methodology. The production experiment was carried out at JSC LAG Service-AGRO in Zakharovsky district of Ryazan region. The research method and assessment of the activity of the cellulose destruction process were according to Zvyagintsev. Statistical processing of research results when calculating correlation coefficients and coefficients of determination was with Statistika 10 computer program.

Results. When applying organic fertilizer based on animal waste, the process of cellulose decomposition increased significantly. Under oats, over three months of exposure of flax fabric, more than 80% decomposed, which, according to Zvyagintsev scale, was characterized as a strong activity of cellulose-decomposing

microorganisms. The greatest activity of the process was established in mid-June. Under winter rye, more than 87% decomposed, which, according to Zvyagintsev scale, was characterized as very strong. The maximum intensity of the process was observed at the end of May. The issue of the mechanism of cellulose destruction was theoretically considered.

Conclusion. *Cellulose-degrading activity increased under the influence of the microflora inhabiting the soil, weather factors, the nature of vegetation, the volume of incoming organic fertilizer and the properties of the soil itself. Under oats, the activity of the process was weaker by almost 6%. The mechanism of destruction of linen fabric was represented by successive stages of deformation and destruction of fibers.*

Key words: *soil, organic fertilizer, microflora, cellulose destruction, linen.*

Введение

Микромир почвы разнообразен по своему составу, но он быстро реагирует на изменения качества среды. При постановке опыта с льняным полотном, основным веществом которого является целлюлоза, исследователь получает с малыми трудовыми и энергозатратами результаты об активности почвенной микрофлоры. Разрушение целлюлозы в почве зависит от многих природных факторов, в частности, свойств почвы, погодных условий. Внесение минеральных и органических удобрений, мелиорантов, созданных на их основе, является мощным антропогенным фактором, изменяющим коренным образом микромир почвы. Цель исследований – изучение активности и механизма разрушения целлюлозы в черноземе выщелоченном в производственном опыте при внесении органического удобрения на основе отходов животноводства под зерновые культуры.

Материалы и методы исследований

Закладка льняного полотна на стеклах по Звягинцеву (рисунок 1) проведена в начале мая 2023 года в трехкратной повторности на черноземе выщелоченном низкого уровня плодородия в ООО «ЛАГ-СервисАГРО» Захаровского района Рязанской области. В двух севооборотах возделывались овес и озимая рожь, под которые однократно внесено органическое удобрение на основе отходов животноводства дозами 10 и 15 т/га соответственно (рисунок 1). Общий фон составлял под овес N₃₅P₄₅K₂₄ и озимую рожь N₁₂₀P₁₀₀K₅₀. В состав органического удобрения входил перепревший конский навоз, микробиологический препарат Байкал ЭМ-1, торф и известь. На способ обогащения почвы получены два патента № 2784389 (2022) и №2787398 (2023), на Всероссийском конкурсе изобретателей «Архимед-2023» авторы награждены Дипломом и бронзовой медалью.

Авторы: И.И. Садовая, О.А. Захарова, О.В. Черкасов, Ф.А. Мусаев, М.И. Голубенко, Д.Е. Кучер, Ю.В. Ломова, Е.Р. Коняев (рисунок 1). Предшественниками явились кукуруза и викоовсяная смесь соответственно. Погодные условия анализировались подекадно по данным, предоставленным Рязанским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обработка результатов исследований в статье приведена в сравнении процесса целлюлозоразрушения между культурами в севооборотах в производственном опыте.



Рисунок 1 – Внесение органического удобрения в ООО «ЛАГ-СервисАГРО»
Figure 1 – Application of organic fertilizer in LAG-ServiceAGRO LLC

Об активности разложения целлюлозы в почве судили по массе разложившегося льняного полотна, выраженного в процентах от первоначальной массы.

Результаты исследований и их обсуждение

Учитывая состав органического удобрения и действие погодных факторов, активность разложения в почве льняного полотна (целлюлозоразрушение, Ац) достаточно высокая. Результаты исследований отображены в таблице 1. Для сравнения в таблице приведены результаты исследований в мелкоделяночном полевом опыте, проводимом ранее.

Таблица 1 - Динамика целлюлозоразрушающей активности (Ац) чернозема выщелоченного в производственном опыте, % (средние значения)

Опыт	Срок экспозиции, мес.	% разложения	Степень разложения по Звягинцеву
Овес. Масса льняного полотна до опыта 4,15 г			
Внесение органического удобрения на основе отходов животноводства дозой 10 т/га + N ₃₅ P ₄₅ K ₂₄	1	27,84±0,01	средняя
	2	63,44±0,01	сильная
	3	82,65±0,02	сильная
Ац в мелкоделяночном полевом опыте	3	86,99	очень сильная
Озимая рожь. Масса льняного полотна до опыта 4,20 г			
Внесение органического удобрения на основе отходов животноводства дозой 15 т/га + N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	1	57,44±0,01	сильная
	2	73,51±0,01	сильная
	3	86,76±0,03	очень сильная
Ац в мелкоделяночном полевом опыте	3	92,67	очень сильная

Анализ данных, отображенных в таблице 1, показал следующие результаты: под овсом в производственном опыте за три месяца экспозиции льняного полотна разложению подверглось более 80%, что по шкале Звягинцев характеризовалось как сильная активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Результаты разложения целлюлозы в мелкоделяночном полевом опыте были почти на 6% выше. Наибольшая активность процесса установлена в середине июня ($t_{\text{средн.}}=23^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{сум.}}=25$ мм). В первый месяц экспозиции разложению подверглось почти 24% во второй – более 35% и в третий – 19%.

Под озимой рожью в производственном опыте за три месяца экспозиции льняного полотна разложению подверглось более 87%, что по шкале Звягинцев характеризовалось как очень сильное. При рассмотрении динамики процесса целлюлозоразрушения под овсом отмечена максимальная интенсивность в конце мая ($t_{\text{средн.}}=18^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{сум.}}=8$ мм). В первый месяц экспозиции разложению подверглось почти 57% во второй – почти 16% и в третий – 13%. Пик активности в мае объясняется ранней вегетацией культуры после перезимовки и благоприятными погодными факторами (рисунок 2).



Закладка льняного
полотна в почву



Вид льняного полотна через
3 месяца экспозиции под
овсом



Вид льняного полотна через
3 месяца экспозиции под
озимой рожью

Рисунок 2 – Этапы опыта

Figure 2 – Stages of the experiment

Результаты исследований показали, что за три месяца экспозиции в почве в среднем подвергается разрушению более 80% льняного полотна, значит, 100% может разложиться в почве за 100 дней при оптимальных условиях температуры и водного режима. Волокна льняного полотна содержат целлюлозу, служащую питанием для почвенной микробиоты, этим и объясняется недолгий срок ее разрушения. В составе льняной ткани обнаружено 72% целлюлозы.

Л.А. Алешина с соавт. приводит эмпирическую формулу чистой целлюлозы $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, с учетом гидроксильных групп – $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3]_n$. Структурная формула целлюлозы показана на рисунке 3.

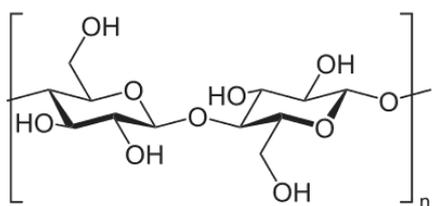


Рисунок 3 – Структурная формула целлюлозы

Figure 3 – Structural formula of cellulose
https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Falkopolitika.ru%2Fwp

Целлюлоза по природе является полисахаридом, линейным полимером, представленным цепочками молекул бета-D-глюкозы, соединенных бета-1,4-гликозидными связями. Цепочки моносахаридов объединены в волокна, окруженные оболочкой, содержащей воск и пектин.

Химически разложение льняной ткани рассматривается как разрушение карбонильных групп и водородных связей целлюлозных цепей.

Макромолекулы целлюлозы построены из элементарных звеньев D-глюкозы, соединенных 1,4-β-гликозидными связями в линейные неразветвленные цепи (рисунок 4). Как видно из рисунка 5, звенья β-глюкозы придают цепным молекулам выпрямленную форму за счет внутри- и межмолекулярных H-связей, это объясняет волокнистую структуру целлюлозы.

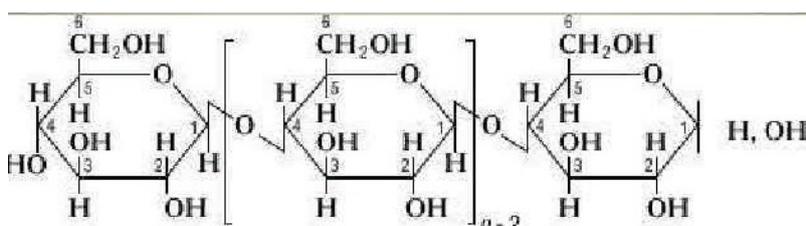


Рисунок 4 – Макромолекулы целлюлозы (полимер)

Figure 4 – Cellulose macromolecules (polymer)

<https://present5.com/funkcii-kletochnoj-stenki-rastenij-sostav-kletochnoj-stenki/>

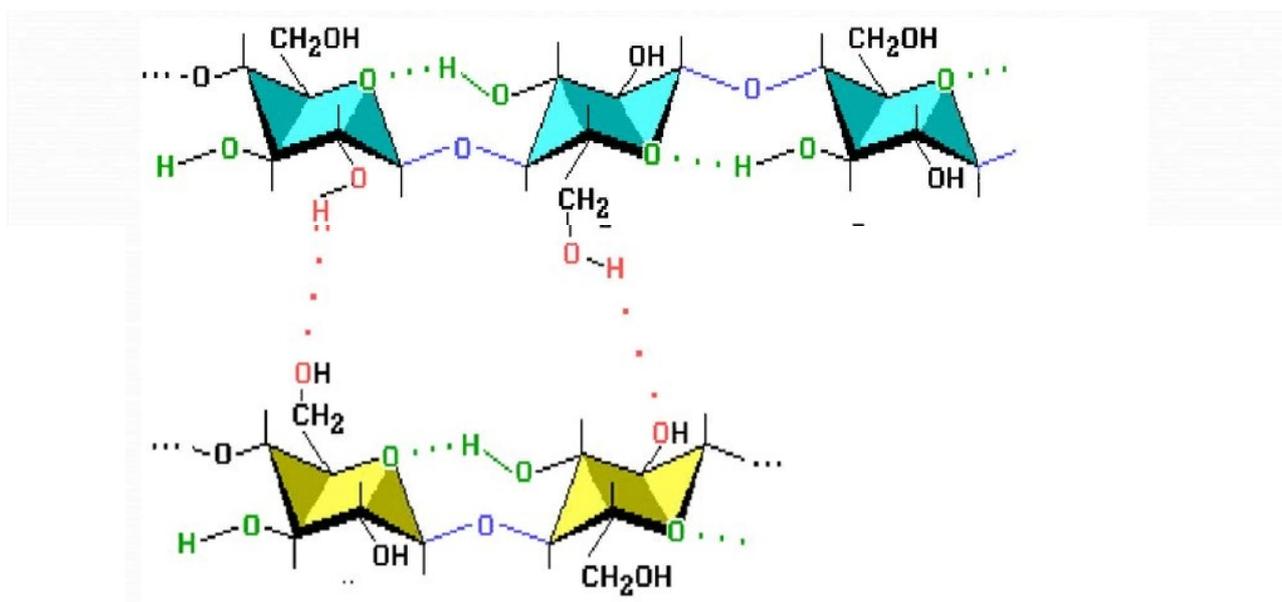


Рисунок 5 – Модель целлюлозы

Figure 5 – Cellulose model

В работе В.И. Комарова [4] изложена гипотеза механизма деформации и разрушения целлюлозно-бумажных материалов с применением методов механики разрушения. Обобщая теоретические вопросы, выделены области действия различных механизмов деформирования и разрушения льняного полотна с учетом длины волокон:

- деформирование волокон и межволоконных связей при равном модуле упругости,
- снижение межволоконных сил связи и модуля упругости; образование трещин типа «крейзы»; микрокапилляры увеличиваются в объеме;
- увеличение напряжения деформирования длинных волокон; отрыв концов от края трещины со значительными разрушениями межволоконных сил связи; микрокапилляры сливаются и возникают пластические деформации под действием крейзования и касательных напряжений;
- рост трещины продолжается, адгезионное отслаивание волокон с их последующим разрушением.

Так показано качественное представление о механизме деформирования и разрушения волокон льняного полотна.

Разложение целлюлозы микроорганизмами осуществляется в оптимальных условиях до образования углекислоты и воды. Наиболее мощным фактором при расчете коэффициентов корреляции выступило органическое удобрение на основе отходов животноводства ($r=0,92$) и фактором с меньшей силой – тепловлагообеспеченность ($r=0,84$). Коэффициент детерминации, который демонстрирует долю изменений показателей, зависящих от изучаемого признака, составил соответственно $R^2=0,87$ и $R^2=0,82$, то есть полученные значения оцениваются как достаточно хорошие.

Заключение

Итак, целлюлозоразрушающая активность усилилась под действием населяющей почву микрофлоры, погодных факторов, характера растительности, объема поступившего органического удобрения и свойствами самой почвы. Основными факторами в опыте явились вид культуры и доза вносимого органического удобрения на основе отходов животноводства при прочих равных условиях. Так, скорость целлюлозоразрушения составила при внесении органического удобрения на основе отходов животноводства дозой 10 под овес – почти 83%, дозой 15 т/га под озимую рожь - около 93%. Под овсом активность процесса была слабее почти на 6%, чем под озимой рожью, что объясняется, в-первую очередь, его биологическими особенностями и более поздним началом вегетации по сравнению с озимой культурой. Механизм разрушения льняного полотна представлен последовательными этапами деформирования и разрушения волокон.

Библиографический список

1. Аблаева А.Р., Целлюлолитическая активность чернозема обыкновенного под разными видами трав в условиях Зауралья Республики Башкортостан / А.Р. Аблаева, А.Р. Хасанова, Р.Р. Сафиуллина // Вестник ОГУ, 2011. - №12 (131) – С. 13-15. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1705334468&tld=ru&lang=ru&name=2.pdf&text=научные%20статьи%20целлюлозоразрушение&url=http%3A%2F%2Fvestnik.osu.ru%2F2011_12%2F2.pdf&lr=11&mime
2. Алешина, Л.А. Современные представления о строении целлюлоз (обзор) / Л.А. Алешина. С.В. Глазкова, Л.А. Луговская, М.В. Подойникова, А.Д. Фофанов, Е.В. Силина // Химия растительного сырья, 2001. - №1. – С.5-36. URL: <https://studylib.ru/doc/2562065/sovremennye-predstavleniya-o-stroenii-cellyuloz>
3. Демина, О.Н. Разложение целлюлозы в пахотном черноземе выщелоченном лесостепной зоны Зауралья / О.Н. Демина // Вестник КрасГАУ, 2021. - №7.- С. 3-10. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-211-217
4. Захарова, О. А. Микробиологическая индикация мелиорированных торфяных почв / О. А. Захарова, О. В. Черкасов, К. Н. Евсенкин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет), 2022. – № 1(62). – С. 23-30. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-23-30
5. Комаров, В.И. Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 1999. - №4. – С. 96-103. URL: http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=3630
6. Садовая, И.И. Биолого-экологический мониторинг чернозема выщелоченного при внесении органического удобрения на основе отходов животноводства / Садовая И.И., Захарова О.А. // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова. – Рязань : РГАТУ, 2022 – Часть I. - с. 163-169. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50250697>
7. Теплякова, О.И. Разложение целлюлозы в черноземе выщелоченном под яровой мягкой пшеницей при контроле болезней фунгицидами / О.И. Теплякова, Н.Г. Власенко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2017. - № 2 – С. 222-226. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11251>

References

1. *Ablaeva A.R., Cellyulozoliticheskaya aktivnost' chernozema obyknovennogo pod raznymi vidami trav v usloviyah Zaural'ya Respubliki Bashkortostan/ A.R. Ablaeva, A.R. Hasanova, R.R. Safiullina // Vestnik OGU, 2011. - №12 (131) – S. 13-15. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1705334468&tld=ru&lang=ru&name=2.pdf&text=nauchnye%20stat'i%20cellyulozorazrushenie&url=http%3A%2F%2Fvestnik.osu.ru%2F2011_12%2F2.pdf&lr=11&mime*

2. Aleshina, L.A. *Sovremennye predstavleniya o stroenii cellyuloz (obzor)* / L.A. Aleshina, S.V. Glazkova, L.A. Lugovskaya, M.V. Podojnikova, A.D. Fofanov, E.V. Silina // *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, 2001. - №1. – S.5-36. URL: <https://studylib.ru/doc/2562065/sovremennye-predstavleniya-o-stroenii-cellyuloz>
3. Demina, O.N. *Razlozhenie cellyulozy v pahotnom chernozeme vyshchelochennom lesostepnoj zony Zaural'ya* / O.N. Demina // *Vestnik KrasGAU*, 2021. - №7.- S. 3-10. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-211-217
4. Zaharova, O. A. *Mikrobiologicheskaya indikaciya meliorirovannyh torfyanyh pochv* / O. A. Zaharova, O. V. Cherkasov, K. N. Evsenkin // *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022. – № 1(62). – S. 23-30. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-23-30
5. Komarov, V.I. *Mekhanizm razrusheniya cellyulozno-bumazhnyh materialov* / V.I. Komarov // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 1999. -№4. – S. 96-103. URL: http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=3630
6. Sadovaya, I.I. *Biologo-ekologicheskij monitoring chernozema vyshchelochennogo pri vnesenii organicheskogo udobreniya na osnove othodov zhivotnovodstva* / Sadovaya I.I., Zaharova O.A. // *Nauchno-innovacionnye aspekty agrarnogo proizvodstva: perspektivy razvitiya: Materialy II Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj pamyati doktora tekhn. nauk, professora N.V. Byshova. – Ryazan' : RGATU, 2022 – Chast' I. - s. 163-169.* URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50250697>
7. Teplyakova, O.I. *Razlozhenie cellyulozy v chernozeme vyshchelochennom pod yarovoj myagkoj pshenicej pri kontrole boleznej fungicidami* / O.I. Teplyakova, N.G. Vlasenko // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2017. - № 2 – S. 222-226. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11251>