

<sup>1</sup>АО «Агродоктор»,  
с. п. Криводановский сельсовет,  
Новосибирский р-н,  
Новосибирская обл., Россия

<sup>2</sup>ООО ПО «Сиббиофарм», Бердск,  
Новосибирская обл., Россия

✉ [fitolab@agrodoctor.ru](mailto:fitolab@agrodoctor.ru)

Поступила в редакцию: 07.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Кармач А.А., Костенко С.С.

## Исследование процессов деструкции растительных остатков льна в контролируемых лабораторных условиях

### РЕЗЮМЕ

Изучена эффективность ферментативных препаратов на основе целлюлазной, ксиланазной, альфа-амилазной и пектиназной активностей для ускорения разложения труднорастворимых растительных остатков льна при их заделке в почву или распределении по поверхности. Исследование проводили в 2023 году в испытательной лаборатории фитодиагностики и агрохимии АО «Агродоктор». Деструкцию пожнивно-корневых остатков оценивали весовым методом, а фракционный состав неразложившихся остатков определяли просеиванием через сито разных диаметров. Выявлена зависимость интенсивности разложения от локализации растительных остатков в почве или на ее поверхности. При заделке в почву наилучшие результаты были достигнуты при использовании целлюлазы (+15,2% к контролю), альфа-амилазы (до +16,7%) и пектиназы (до +27,7%). Однако при распределении растительных остатков по поверхности наибольшую интенсивность деструкции наблюдали при применении ксиланазы (+13,2%). В ходе исследования выявлены различия и в фракционном составе пожнивно-корневых остатков льна после периода деструкции. При распределении растительных остатков по поверхности почвы наибольший уровень минерализации был зафиксирован для вариантов с применением пектиназы и ксиланазы, процент растительных остатков, не прошедших сквозь сито 6 мм, — 33,6 и 39,4 соответственно, тогда как показатели для целлюлазы и амилазы находились на уровне контрольных значений — 45,3%. В случае заделки растительных остатков в почву отмечено, что целлюлаза, ксиланаза и альфа-амилаза показывают схожие результаты: процент крупной фракции варьирует в пределах 8,7–9,5, пектиназа демонстрирует значительно меньший показатель — 4,4, что свидетельствует о более глубокой трансформации органического вещества.

**Ключевые слова:** ферменты, целлюлаза, ксиланаза, альфа-амилаза, пектиназа, деструкция остатков льна

**Для цитирования:** Кармач А.А., Костенко С.С. Исследование процессов деструкции растительных остатков льна в контролируемых лабораторных условиях. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 84–90.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-84-90>

## Investigation of flax plant residue degradation processes under controlled laboratory conditions

### ABSTRACT

The effectiveness of enzymatic preparations based on cellulase, xylanase, alpha-amylase and pectinase activities for accelerating the decomposition of difficult-to-decompose flax plant residues during their incorporation into the soil or distribution on the surface was studied. The study was conducted in 2023 in the testing laboratory of phytodiagnosics and agrochemistry of AO "Agrodoctor". The destruction of crop and root residues was assessed by the weight method, and the fractional composition of the undecomposed residues was determined by sieving through a sieve of different diameters. The dependence of decomposition intensity on the localization of crop residues in the soil or on its surface was revealed. When embedded in the soil, the best results were achieved using cellulase (+15.2% of the control), alpha-amylase (up to +16.7%) and pectinase (up to +27.7%). However, when distributing plant residues over the surface, the highest degradation rate was observed with the use of xylanase (+13.2%). The study revealed differences in the fractional composition of the crop and root residues of flax after the period of destruction. When distributing plant residues over the soil surface, the highest level of mineralization was recorded for variants using pectinase and xylanase, the percentage of plant residues that did not pass through a 6 mm sieve was 33.6 and 39.4, respectively, while the indicators for cellulase and amylase were at the control level of 45.3%. In the case of embedding plant residues in the soil, it was noted that cellulase, xylanase and alpha-amylase show similar results: the percentage of the large fraction varies from 8.7–9.5, pectinase shows a significantly lower indicator — 4.4, which indicates a deeper transformation of organic matter.

**Key words:** enzymes, cellulase, xylanase, alpha-amylase, pectinase, destruction of flax plant residues

**For citation:** Karmach A.A., Kostenko S.S. Investigation of flax plant residue degradation processes under controlled laboratory conditions. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 84–90 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-84-90>

<sup>1</sup>JSC "Agrodoctor", Krivodanovsky  
village settlement, Novosibirsk District,  
Novosibirsk region, Russia

<sup>2</sup>LLC PA "Sibbiopharm", Berdsk,  
Novosibirsk region, Russia

✉ [fitolab@agrodoctor.ru](mailto:fitolab@agrodoctor.ru)

Received by the editorial office: 07.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Karmach A.A., Kostenko S.S.

## Введение/Introduction

Рост урожайности сельскохозяйственных культур сопровождается увеличением количества пожнивных остатков, поскольку с ростом производительности повышается и общая биомасса растений. В России это явление весьма заметно, ежегодно производятся около 120 млн т послеуборочных растительных остатков, значительная часть которых приходится на солому зерновых и зернобобовых культур [1].

Тенденция увеличения площадей под лен масличный заслуживает внимания. По расчетам ООО «АБ-Центр», за 5 лет площади под льном выросли на 89,2% (на 664,7 тыс. га), за 10 лет — в 2,9 раза (на 931,8 тыс. га). Под посевами льна в 2023 г. были заняты 1,41 млн га, в 2024-м — 1,66 млн га<sup>1</sup>.

Лен является важной технической культурой, его активно используют в пищевой промышленности и производстве масел [2–5]. Рост площадей под этой культурой указывает на повышенный интерес к ней со стороны аграриев и потребителей, а также на улучшение технологий выращивания и обработки льна. Однако стоит отметить, что увеличение объемов производства послеуборочных растительных остатков создает определенные вызовы для сельского хозяйства. Один из них — необходимость эффективного управления этими остатками, так как большинство имеют низкую скорость разложения, обусловленную особенностями биохимического состава [6, 7]. Большинство растений имеют один и тот же набор основных органических соединений, но отличаются по соотношению белков, липидов, крахмала, целлюлозы, гемицеллюлозы, полифенолов [8, 9].

Для сравнения: у зерновых культур усредненное содержание в соломе гемицеллюлозы на уровне 23,6%, целлюлозы — 38,8%, лигнина — 15,3%, белка — 3,0% [10]. У льна содержание гемицеллюлозы 15,0%, целлюлозы — 59,2–79,0%, лигнина — 26,3%, белка — 3,0% [11–13].

Чем выше в растительных остатках содержание веществ (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, танинов, воска), образующих мембраны и клеточные стенки растения, тем меньше они подвержены микробной деструкции. Если полное разложение растительных остатков зерновых культур наступает в среднем через 3–4 года после их внесения в почву [14], то есть культуры, утилизация растительных остатков которых затруднена. Так, солому льна очень сложно измельчить, она медленно разлагается и мешает проведению последующих агротехнических мероприятий.

Одним из способов ускорения разложения и повышения коэффициента гумификации послеуборочных остатков зерновых культур может являться инокуляция их эффективными микроорга-

низмами [15–17]. Однако проблема деструкции побочной продукции грубостебельчатых культур, таких как лен, хлопок, рис, носит глобальный характер, готовых решений по которой на сегодняшний день нет.

Одним из возможных путей решения обозначенной проблемы может быть применение ферментов, способных разрушать клеточные стенки растений.

Впервые в России было предложено провести исследования ферментативных препаратов производства ООО ПО «Сиббиофарм» в качестве деструкторов пожнивно-корневых остатков, тем самым расширив спектр их функциональных свойств.

*Цель данных исследований* — лабораторная оценка целесообразности применения ферментативных препаратов на основе целлюлазной, ксиланазной, альфа-амилазной и пектиназной активностей в качестве деструкторов трудноразлагаемых растительных остатков льна после их заделки в почву и распределения по ее поверхности.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в лабораторном инкубационном опыте в испытательной лаборатории фитодиагностики и агрохимии АО «Агродоктор» в 2023 году.

Почва в исследовании — серая лесная. Обеспеченность подвижным фосфором 185 мг/кг почвы по ГОСТ 26204<sup>2</sup>, обменным калием — 80 мг/кг по ГОСТ 26204<sup>2</sup>, N-NO<sub>3</sub> — 63,5 мг/кг по ГОСТ 26951<sup>3</sup>, рН<sub>KCl</sub> — 5,7 по ГОСТ 26483<sup>4</sup>. В испытания были включены ферментные препараты производства ООО ПО «Сиббиофарм».

Обработка согласно рекомендациям производителя. Препараты проходят процедуру патентования.

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Контроль — без обработки.
2. Ферментный препарат грибного происхождения (целлюлаза), порошок — 20 г/т.
3. Ферментный препарат грибного происхождения (ксиланаза), порошок — 10 г/т.
4. Ферментный препарат бактериального происхождения (альфа-амилаза), порошок — 40 г/т.
5. Ферментный препарат бактериального происхождения (пектинлиаза, экзоксиланаза и ферменты пектинолитического комплекса), порошок — 40 г/т.

Препараты разводили в дистиллированной воде таким образом, чтобы получить концентрацию рабочего раствора для обработки 1 га, эквивалентной объему жидкости 100 л, с учетом количества соломы на единицу площади, исходя из

<sup>1</sup> Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр» [электронный ресурс]. Сборы масличного льна в России в 2024 году выросли на 16,8% (дата обращения: 12.03.2025). www.ab-centre.ru

<sup>2</sup> ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.

<sup>3</sup> ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом.

<sup>4</sup> ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

рекомендаций завода-изготовителя, основанных на результатах предыдущих полевых испытаний.

Предварительно измельченные до фракции 5–7 см соломенные и пожнивно-корневые остатки льна подвергали обработке соответствующими рабочими растворами препаратов посредством ручного опрыскивания согласно предусмотренному методическому протоколу эксперимента. Растительные остатки выдерживали перед закладкой в почву для выравнивания влажности до исходного значения.

Лабораторный эксперимент проводили в специально оборудованном помещении (приборная комната испытательной лаборатории фитодиагностики и агрохимии АО «Агродоктор»). Растительные остатки равномерно распределяли по поверхности почвы, находящейся в стеклянных емкостях вместимостью 800 г воздушно-сухой почвы, либо заделывали на глубину 10 см. Солома и пожнивно-корневые остатки были внесены в количестве 0,17 г на каждые 100 г почвы, что эквивалентно внесению 17,1 ц/га соломы при среднем урожае льна от 10 до 12 ц/га. После подготовки сосуда с почвой и растительными остатками выдерживали в специальном устройстве — климатостате КС-200 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) (дата поверки 05.05.2023), поддерживающем стабильные условия температуры (24–26 °С) и влажности почвы.

Оценку деструкции соломы и пожнивно-корневых остатков льна проводили на 86-е и 140-е сутки. Убыль массы растительных остатков рассчитывали как потерю массы (в %) от первоначальной, взвешивая растительные остатки при влажности 17–18% на аналитических весах Adventurer Pro RV 214 с погрешностью не более 0,001 г (OHAUS Corporation, США) (дата поверки 23.02.2023). Фракционный состав неразложившихся растительных остатков определяли путем просеивания через лабораторные сита разного диаметра (6 мм, 4 мм, 1 мм) по ГОСТ Р 51568<sup>5</sup>.

Определение степени воздействия площади соприкосновения почвы и пожнивных остатков на темпы минерализации выполнено путем сопоставления показателей разложения материалов, находящихся на поверхности почвы и введенных вглубь почвы.

Основополагающим критерием оценки послужили два показателя:

1. Величина убывания соломы и пожнивно-корневых остатков, отражающая различие в уровнях потерь сухой массы между поверхностным распределением и глубокими методами заделки.

2. Изменение фракционного состава пожнивных остатков, проявляющееся в увеличении веса более мелких частиц.

Повторность опыта трехкратная.

Математическую обработку результатов исследований осуществляли методом однофакторного

дисперсионного анализа с вычислением НСР с использованием пакета программ прикладной статистики Snedecor<sup>6</sup>.

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Установлено, что между скоростью минерализации растительных остатков льна и поверхностью их соприкосновения с почвой существует связь (рис. 1, 2). Это обусловлено лучшим контактом органических остатков с почвенными микроорганизмами, осуществляющих деструкцию на разных этапах.

Известно, что превращение растительных остатков в почве разного химического состава — многоступенчатый биологический процесс, при котором происходят разложение и синтез новых органических соединений [9, 17, 18]. Наиболее быстро минерализуются более доступные органические соединения: простые сахара, пентозаны, белки.

Пентозаны (ксилан) — один из компонентов гетерополисахаридов, таких как гемицеллюлоза, которая наряду с лигнином и пектинами входит в состав межклеточного вещества растительных тканей и в значительном количестве содержится в соломе льна (12–15%) [11, 13].

В проведенных лабораторных исследованиях на первую дату учета прослеживается достоверное увеличение скорости деструкции соломы льна как при заделке ее в почву, так и при распределении ее по поверхности при применении препарата № 2 (рис. 1, 2). Данный препарат состоит из ксиланазы, вызывающей деградацию ксилана.

Из результатов анализа следует, что на первых этапах деструкции активно разлагается гемицеллюлоза, при внесении препарата № 2 (ксиланазы) убыль массы растительных остатков льна составляет 32,1–35,0% от исходного веса, что на 13,2–10,2% выше, чем в контрольных образцах.

Позднее в процесс включаются микроорганизмы, обладающие пектинолитической активностью. Пектины — межклеточные вещества растительных тканей. Так, целлюлозные волокна льна склеены с окружающими их тканями — пектинами, содержание этих полисахаридов в соломе находится на уровне 3–7%. Однако содержание пектиновых веществ в лубяной части стебля льна выше, чем в древесной (по разным литературным данным, ≈ в 4 раза), поэтому применение препарата № 4, содержащего комплекс пектинолитических ферментов, математически обоснованно способствовало активному разложению соломы льна на начальных стадиях процесса, приводя к уменьшению ее массы до 30,6–30,7%.

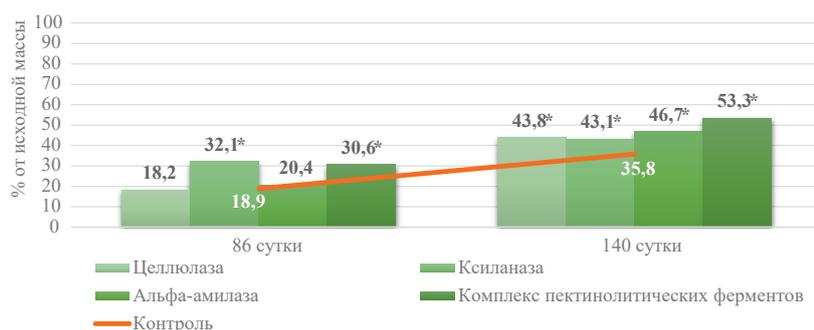
Вслед за разложением пектиновых веществ начинается интенсивное разложение клетчатки. Разложение целлюлозы могут осуществлять микроорганизмы, обладающие высокой

<sup>5</sup> ГОСТ Р 51568-99 Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия.

<sup>6</sup> Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН. 2004; 162.

**Рис. 1.** Убыль массы соломы и пожнивно-корневых остатков льна, распределенных на поверхности почвы, при использовании ферментов, % от исходной массы

**Fig. 1.** Decrease in the mass of straw and crop-root residues of flax distributed on the soil surface when using enzymes, % of the initial mass



Примечание: НСР<sub>0,5</sub> на 86-е сутки — 5,47; НСР<sub>0,5</sub> на 140-е сутки — 1,93.

**Рис. 2.** Убыль массы соломы и пожнивно-корневых остатков льна, заделанных в почву, при использовании ферментов, % от исходной массы

**Fig. 2.** Decrease in the mass of straw and crop-root remnants of flax embedded in the soil using enzymes, % of the initial mass



Примечание: НСР<sub>0,5</sub> на 86-е сутки — 6,16; НСР<sub>0,5</sub> на 140-е сутки — 4,54.

специфичностью к этому веществу. Обработка пожнивно-корневых остатков препаратом № 1, содержащим целлюлазу, ускорила процесс разложения — при распределении их по поверхности почвы доказанный эффект был заметен лишь к 140-м суткам, увеличив скорость разложения на 8% по сравнению с контролем. Однако при заделке растительных остатков непосредственно в почву разница в уменьшении массы растительных остатков стала ощутимой уже через 86 суток, достигая уровня уменьшения, который наблюдался на 140-е сутки при поверхностном распределении (рис. 1, 2).

В соломе льна содержание целлюлозы, по литературным данным, варьирует в пределах 51,95–59,28% [11, 13], поэтому расщепление этого компонента значительно влияет на скорость деструкции.

Поскольку содержание крахмалистых соединений в соломе льна относительно низкое (менее 1%), активность альфа-амилазы, содержащейся в препарате № 3, будет ограничена именно этим фактором. Тем не менее даже небольшое увеличение активности деструкции соломы льна на 86-е сутки (в пределах 1,5–2,2%) может свидетельствовать о том, что фермент способен частично гидролизовать имеющиеся крахмалистые соединения,

способствуя разложению соломы и пожнивно-корневых остатков.

Спустя 140 суток (4,5 мес.) инкубации соломы и пожнивно-корневых остатков льна, заделанных в почву, зафиксирован активный процесс биохимической минерализации, убыль массы растительных остатков в контроле составила 59,9% от исходной навески. Показано, что максимальные значения убыли соломы и пожнивно-корневых остатков за весь период исследования были получены при применении препарата № 4 на основе комплекса пектинолитических ферментов при заделке растительной массы в почву — 87,6% (+27,7% к контролю), при распределении на поверхности почвы — 53,3% (+17,5% к контролю).

Как было отмечено ранее, содержание пектиновых веществ лубяной части стебля, которые вовлекаются в процесс деструкции на первых этапах инкубации, относительно высокое (3,0–7,3%). В древесной части стебля льна, доступной для трансформации микроорганизмами и ферментами на более позднем этапе разложения, содержание пектиновых веществ незначительное (0,91–2,99%), однако обработка соломы льна препаратом № 4 способствовала активизации процесса расщепления связей между целлюлозой, гемицеллюлозой и пектином и, как следствие, более глубокой деструкции органического вещества за счет повышения доступности питательных веществ для микроорганизмов, осуществляющих дальнейшую деструкцию.

При распределении растительных остатков льна по поверхности почвы на 140-е сутки различия в убыли массы между вариантами с применением препаратов № 1 (целлюлазы), № 2 (ксиланазы) и № 3 (альфа-амилазы) оказались незначительными. Показатель убыли массы варьируется в узком диапазоне — от 43,1 до 46,7%, что говорит о схожей степени разложения растительных остатков независимо от используемого препарата.

При заделке соломы и пожнивно-корневых остатков льна в почву на глубину 10 см зафиксировано разложение соломы на уровне 75,1–76,6% при применении целлюлозосодержащих (препарат № 1) и амилолитических (препарат № 3) ферментов, что выше контрольного варианта на 15,2–16,7%.

Установлены достоверные отличия в фракционном составе оставшегося растительного материала после деструкции во времени (табл. 1, 2).

Если ранжировать варианты по количеству органической массы, не прошедшей сквозь сито 6 мм, в опыте при распределении на поверхности почвы, то вариантом с максимальной минерализацией и на 86-е, и на 140-е сутки, как было обозначено выше, является вариант № 4 на основе комплекса пектинолитических ферментов — процент крупной фракции варьирует в пределах 47,4–33,6% (масса исходной навески — 1,37 г).

Как видно из таблицы 2, при заделке растительных остатков в почву содержание крупной фракции соломы и пожнивно-корневых остатков льна значительно ниже, чем при распределении на поверхности. Так, при заделке соломы в почву в контрольном варианте масса фракции > 6 мм на 86-е сутки находится на уровне варианта обработки соломы комплексом пектинолитических ферментов — 44,5%.

При применении ферментных препаратов на основе ксиланазы и альфа-амилазы на 86-е сутки процент крупной фракции растительных остатков минимальный из всех изученных вариантов — 31,4%, к 140-м суткам этот показатель равен 9,5%.

В варианте с ксиланазой масса фракции > 6 мм варьирует в пределах 50,4–39,4% при использовании ферментов с целлюлазой и альфа-амилазой, масса крупной фракции пожнивно-корневых остатков к 140-м суткам находится на уровне контрольных значений. На 86-е сутки после начала эксперимента масса крупной фракции в варианте с целлюлазой и ферментами пектинолитического комплекса составляет 37,9–39,4% соответственно. На 140-е сутки инкубации применение препарата № 4 (комплекс пектинолитических ферментов) привело практически к полной деструкции крупных солоmistых остатков — на их долю приходится 4,4% (в контроле — 16,8%). Изменение соломы до более мелких структурных единиц свидетельствует о полной и глубокой трансформации органического вещества уже на данном этапе эксперимента.

Анализируя результаты таблиц 1, 2 и сравнивая динамику деструкции соломки льна в разных моделях ее локализации на поле, подчеркнем, что «запахивание» соломы ускоряет процесс деструкции трудноразлагаемых растительных остатков. Данный факт, вероятно, связан с тесным контактом растительных остатков с почвой, которые непосредственно колонизируются микроорганизмами, принимающими участие в разложении поступившей органической массы, а также увеличением численности микрофиты,

**Таблица 1. Фракционный состав соломы и пожнивно-корневых остатков льна, распределенных по поверхности почвы, после деструкции**

**Table 1. Fractional composition of straw and crop-root residues of flax, distributed over the soil surface, after destruction**

Вариант	Фракция, г					
	86-е сутки			140-е сутки		
	> 6 мм	4 мм	1 мм	> 6 мм	4 мм	1 мм
Контроль	0,90	0,15	0,06	0,62	0,24	0,02
Препарат № 1 (целлюлаза)	0,85	0,24	0,03	0,59	0,14	0,04
Препарат № 2 (ксиланаза)	0,69	0,18	0,06	0,54	0,22	0,02
Препарат № 3 (альфа-амилаза)	0,72	0,36	0,01	0,63	0,09	0,01
Препарат № 4 (комплекс пектинолитических ферментов)	0,65	0,27	0,03	0,46	0,14	0,04
НСР <sub>0,5</sub>	0,065	0,058	0,014	0,074	0,058	0,01

**Таблица 2. Фракционный состав соломы и пожнивно-корневых остатков льна, заделанных в почву, после деструкции**

**Table 2. Fractional composition of straw and crop-root residues of flax embedded in the soil after destruction**

Вариант	Фракция, г					
	86-е сутки			140-е сутки		
	> 6 мм	4 мм	1 мм	> 6 мм	4 мм	1 мм
Контроль	0,61	0,30	0,12	0,23	0,28	0,04
Препарат № 1 (целлюлаза)	0,52	0,21	0,18	0,12	0,21	0,01
Препарат № 2 (ксиланаза)	0,43	0,32	0,14	0,13	0,29	0,11
Препарат № 3 (альфа-амилаза)	0,43	0,41	0,16	0,13	0,16	0,03
Препарат № 4 (комплекс пектинолитических ферментов)	0,54	0,28	0,13	0,06	0,05	0,06
НСР <sub>0,5</sub>	0,038	0,055	0,032	0,028	0,046	0,025

локализуемой в смежном слое почвы, в котором аккумулируются азот и углерод, выделяющийся при разложении растительных остатков.

Данные таблицы 3 показывают, что в модельном опыте фактор локализации соломы и пожнивно-корневых остатков льна на (в) почве значим во времени. Так, на 86-е сутки разница в убыли массы между растительными остатками льна, распределенными на поверхности почвы и заделанными в почву, несущественна при применении препарата № 4 на основе комплекса пектинолитических ферментов (0,1%), при этом к 140-м суткам разница в деструкции расширяется до максимальных значений — 34,3%.

Подобная тенденция зависимости убыли массы соломы и пожнивно-корневых остатков льна от места ее распределения прослеживается во всех вариантах: целлюлаза (31,3%), альфа-амилаза (29,9%), ксиланаза (18,2%).

**Таблица 3. Разница в изменении массы между пожнивно-корневыми остатками льна при распределении их по поверхности почвы и при заделке в почву, %**

**Table 3. The difference in weight change between the crop-root remnants of flax when they are distributed over the soil surface and when embedded in the soil, %**

Вариант	86-е сутки	140-е сутки
Контроль	5,9	24,1
Препарат № 1 (целлюлаза)	15,2	31,3
Препарат № 2 (ксиланаза)	2,9	18,2
Препарат № 3 (альфа-амилаза)	6,6	29,9
Препарат № 4 (комплекс пектинолитических ферментов)	0,1	34,3

Этот факт необходимо учитывать в полевых условиях, так как растительные остатки, не заделанные в почву, быстрее пересыхают и подвергаются ультрафиолетовому излучению, пагубно воздействующему на большинство микроорганизмов — конечных потребителей мертвой органики. Разница в убыли массы труднорастворимых остатков льна может быть еще существеннее.

### Выводы/Conclusions

В ходе проведенных модельных испытаний была отмечена значительная эффективность при использовании ксиланазы в дозировке 10 г/т растительной массы на ранних стадиях деструкции соломы и пожнивно-корневых остатков. Это позволяет сократить время, необходимое для полного разложения послеуборочных остатков, что особенно важно в условиях ограниченного

времени между сельскохозяйственными сезонами.

Продемонстрирована высокая эффективность ферментного комплекса, обладающего пектинлиазной, экзоксилазной и пектинолитической активностями, при норме внесения 40 г/т, показана его ключевая роль в процессах деструкции труднорастворимых растительных остатков.

Однако стоит отметить, что исследования проводили при значениях влажности, температуры и рН почвы, соответствующих оптимальным условиям активности ферментов. В реальных условиях почв Сибири результаты могут отличаться от лабораторных данных. Поэтому исходная информация, полученная в ходе эксперимента, может служить отправной точкой для дальнейших обсуждений и проверок в конкретных почвенно-климатических условиях.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.  
Вклад в работу: Кармач А.А. — 70%, Костенко С.С. — 30%.  
Написание рукописи и ответственность за плагиат: Кармач А.А. — 70%, Костенко С.С. — 30%.  
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for the work and the data presented.  
Contribution to the work: Karmach A.A. — 70%, Kostenko S.S. — 30%.  
Manuscript writing and responsibility for plagiarism: Karmach A.A. — 70%, Kostenko S.S. — 30%.  
The authors declared no conflict of interest.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русакова И.В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах. *Juvenis scientia*. 2018; (9): 4–9. <https://doi.org/10.32415/jscientia.2018.09.01>
2. Косых Л.А. Лен масличный — культура пищевого использования (обзор). *Аграрная наука*. 2021; (10): 56–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59>
3. Тимохин А.Ю., Бойко В.С., Михайлов В.В. Отзывчивость льна масличного на различный уровень минерального питания в лесостепи Западной Сибири. *Аграрная наука*. 2024; 1(8): 168–172. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-168-172>
4. Понажев В.П., Козьякова Н.Н. Методы ускоренного создания обновленных семян льна высокого качества в первичном семеноводстве. *Аграрная наука*. 2024; 1(9): 114–118. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-114-118>
5. Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002; 34(2): 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00158-4)
6. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культуры севооборота. *Аграрная наука*. 2016; (6): 3–8. <https://elibrary.ru/whgkft>
7. Сергеев Л.А., Логвинова А.С., Болтовский В.С. Подготовка соломы зерновых культур к биотехнологической переработке. *Труды БГУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2020; (1): 173–182. <https://elibrary.ru/diuxvm>
8. Ворошилова Е.Е., Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н. Химический состав соломы льна-межеумка и влияние способа получения на свойства образцов целлюлозы из нее. *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием*. Бийск: Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. 2015; 261–264. <https://elibrary.ru/uypqsb>
9. Khan S.H., Rahman M.Z., Haque M.R., Hoque M.E. Characterization and Comparative Evaluation of Structural, Chemical, Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of Plant Fibers. Khiari R., Jawaid M., Belgacem M.N. (eds.). *Annual Plant: Sources of Fibres, Nanocellulose and Cellulosic Derivatives. Processing, Properties and Applications*. Singapore: Springer. 2023; 1–45. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8_1)
10. Корчагина А.А., Гладышева Е.К., Будаева В.В., Скиба Е.А. Химический состав волокна и костры лубяных культур и продуктов их щелочной делигнификации. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023; 13(4): 621–630. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-4-621-630>

### REFERENCES

1. Rusakova I.V. Biopreparations for decomposition of plant residues in agroecosystems. *Juvenis scientia*. 2018; (9): 4–9 (in Russian). <https://doi.org/10.32415/jscientia.2018.09.01>
2. Kosykh L.A. Oilseed flax — a culture of food use (review). *Agrarian science*. 2021; (10): 56–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59>
3. Timokhin A.Yu., Boyko V.S., Mikhailov V.V. Response of oilseed flax to different level of mineral nutrition in the forest-steppe of Western Siberia. *Agrarian science*. 2024; 1(8): 168–172 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-168-172>
4. Ponazhev V.P., Kozzyakova N.N. Methods for the accelerated creation of updated high-quality flax seeds in primary seed production. *Agrarian science*. 2024; 1(9): 114–118 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-114-118>
5. Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002; 34(2): 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00158-4)
6. Dedov A.A., Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. The dynamics of decomposition of vegetable residues in typical chernozem and the productivity of crop rotation. *Agricultural Chemistry*. 2016; (6): 3–8 (in Russian). <https://elibrary.ru/whgkft>
7. Sergeev L.A., Logvinova A.S., Boltovsky V.S. Grain crops straw preparing for biotechnological processing. *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*. 2020; (1): 173–182 (in Russian). <https://elibrary.ru/diuxvm>
8. Voroshilova E.E., Gismatulina Yu.A., Zolotukhin V.N. Chemical composition of flax-mezhumka and the influence of the method of obtaining on the properties of pulp samples from it. *Technologies and equipment of chemical, biotechnological and food industries. Proceedings of the VIII All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation*. Bysk: Bysk Institute of Technology (branch) of Polzunov Altai State Technical University. 2015; 261–264 (in Russian). <https://elibrary.ru/uypqsb>
9. Khan S.H., Rahman M.Z., Haque M.R., Hoque M.E. Characterization and Comparative Evaluation of Structural, Chemical, Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of Plant Fibers. Khiari R., Jawaid M., Belgacem M.N. (eds.). *Annual Plant: Sources of Fibres, Nanocellulose and Cellulosic Derivatives. Processing, Properties and Applications*. Singapore: Springer. 2023; 1–45. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8_1)
10. Korchagina A.A., Gladysheva E.K., Budaeva V.V., Skiba E.A. Chemical composition of fiber and shive in bast-fiber crops and the products of their alkaline delignification. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023; 13(4): 621–630 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-4-621-63>

11. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА. 2005; 301.  
ISBN: 5-9238-0040-3  
<https://elibrary.ru/pzlllyx>

12. Русакова И.В. Эффективность биопрепарата «Органит Стерн» как деструктора соломы. *Владимирский земледелец*. 2022; (4): 38–43.  
<https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-4-38-43>

13. Бондаренко Н.А., Антонова О.И. Приемы повышения разложения соломы и обеспеченности питательными веществами. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2021; (5): 11–16.  
<https://elibrary.ru/dzxbwr>

14. Чуян Н.А., Брескина Г.М. Влияние биопрепаратов на показатели биологической активности чернозема типичного слабоэродированного. *Аграрный вестник Урала*. 2022; (5): 21–32.  
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-220-05-21-32>

15. Богатырева Е.В. Влияние биопрепаратов на темпы разложения соломенных остатков озимой пшеницы и продуктивность чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения. *Земледелие*. 2015; (8): 34–36.  
<https://elibrary.ru/uybudv>

11. Zavalin A.A. Bio-preparations, fertilizers and harvest. Moscow: *All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry*. 2005; 301 (in Russian).  
ISBN: 5-9238-0040-3  
<https://elibrary.ru/pzlllyx>

12. Rusakova I.V. Efficiency of the bio-based product “Organit Stern” as a straw destructor. *Vladimir agriculturalist*. 2022; (4): 38–43 (in Russian).  
<https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-4-38-43>

13. Bondarenko N.A., Antonova O.I. The techniques to increase straw decomposition and nutrient supply. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2021; (5): 11–16 (in Russian).  
<https://elibrary.ru/dzxbwr>

14. Chuyan N.A., Breskina G.M. The effect of biological preparations on the indicators of biological activity of typical slightly eroded chernozem. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (5): 21–32 (in Russian).  
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-220-05-21-32>

15. Bogatyreva E.V. Influence of biological preparations on the rates of decomposition of straw residues of winter wheat and fertility of typical chernozem in the zone of unstable moistening. *Zemledelie*. 2015; (8): 34–36 (in Russian).  
<https://elibrary.ru/uybudv>

#### ОБ АВТОРАХ

**Анна Анатольевна Кармач<sup>1</sup>**  
кандидат биологических наук, микробиолог  
fitolab@agrodoctor.ru  
<https://orcid.org/0009-0008-1688-1961>

**Сергей Сергеевич Костенко<sup>2</sup>**  
руководитель испытательной лаборатории агрохимии и фитопатологии  
kss@sibbio.ru

<sup>1</sup> АО «Агродоктор»,  
Территория 2-я промышленная зона, здание 12,  
с. п. Криводановский сельсовет, мкр-н Новосибирский,  
Новосибирская обл., 630512, Россия

<sup>2</sup> ООО ПО «Сиббиофарм»  
ул. Химзаводская, 11/1, Бердск, Новосибирская обл.,  
633004, Россия

#### ABOUT THE AUTHORS

**Anna Anatolyevna Karmach<sup>1</sup>**  
Candidate of Biological Sciences, Microbiologist  
fitolab@agrodoctor.ru  
<https://orcid.org/0009-0008-1688-1961>

**Sergey Sergeevich Kostenko<sup>2</sup>**  
Head of the Experimental Laboratory of Agrochemistry and Phytopathology  
kss@sibbio.ru

<sup>1</sup>JSC “Agrodoctor”,  
12 territory 2<sup>nd</sup> Industrial zone, Krivodanovsky village  
settlement, Novosibirsk District, Novosibirsk region, 630512,  
Russia

<sup>2</sup> LLC PA Sibbiopharm  
11/1 Khimzavodskaya Str., Berdsk, Novosibirsk region,  
633004, Russia

# 15–17 ОКТЯБРЯ 2025

# АГРОРУСЬ

34-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА



РЕКЛАМА



КОНГРЕССНАЯ ПРОГРАММА



ЭКСПОЗИЦИИ РЕГИОНОВ



ЦЕНТР ДЕЛОВЫХ КОНТАКТОВ



ОТРАСЛЕВОЙ КОНКУРС  
«ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ»

AGRORUS.EXPOFORUM.RU

ПО ВОПРОСАМ УЧАСТИЯ:

+7 (812) 240 40 40, ДОБ. 2980, 2427, 2401

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1 | КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

16+

