

---

**УДК 626.812****ЕДН JTLFNE**

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗЛОЖИМОСТЬ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА РАПСОВОГО МАСЛА И РЖАНОЙ МУКИ В МОДЕЛЬНОМ ОПЫТЕ

**Колосова Марина Михайловна**, кандидат химических наук, доцент  
Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого,  
Кемерово, Россия

**Аннотация.** Поиск эффективных способов утилизации отходов растительного происхождения и исследование процессов, сопровождающих их разложение, расширяют перспективы снижения негативного воздействия отходов растениеводства на окружающую среду и способствуют созданию новых биологически разложимых материалов и изделий из них, которые способны заменить традиционные, практически не разложимые в естественных условиях полимеры. Целью модельного опыта явилось исследование процессов разложимости отходов растительного происхождения в почвенном субстрате, содержащем эффективные микроорганизмы. Объектом исследования явились отходы производства рапсового масла (далее – отходы рапса) и ржаной муки (далее – отходы ржи). Представлены характеристики фракционного и морфологического состава отходов рапса и ржи, данные элементного и спектрального анализа, которые показали существенные отличия в химическом составе образцов отходов до и после контакта с почвой. В условиях модельного опыта установлено, что после контакта с почвенным субстратом, содержащим эффективные микроорганизмы, убыль массы отходов рапса и ржи в среднем составила 31,8 и 60,2 % соответственно.

**Ключевые слова:** отходы растениеводства, утилизация, отходы производства рапсового масла, отходы производства ржаной муки, фракционный состав отходов, морфологический состав отходов, химический состав отходов, эффективные микроорганизмы, биологическая разложимость.

## BIOLOGICAL DECOMPOSABILITY OF RAPESEED OIL AND RYE FLOUR PRODUCTION WASTE IN THE MODELING EXPERIENCE

**Kolossova Marina M.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor  
Kuzbass State Agrarian University, Kemerovo, Russia

**Abstract.** The search for effective ways to dispose of waste of plant origin and the study of the processes accompanying their decomposition expand the prospects for reducing the negative impact of crop waste on the environment and contribute to the creation of new biodegradable materials and products from them that will be able to replace traditional, practically non-biodegradable polymers. The purpose of the model experiment was to study the processes of decomposition of waste of plant origin in a soil substrate under the action of effective microorganisms (EM). The object of the study was waste from the production of rapeseed oil (husk) and rye flour (of complex morphological composition). The characteristics of the fractional and morphological composition of rapeseed and rye waste, data from elemental and spectral analysis, which showed significant differences in the chemical composition of waste samples before and after contact with soil, are presented. In the conditions of the model experiment, it was found that after contact with a soil substrate containing effective microorganisms, the decrease in the mass of rapeseed and rye waste averaged 31,8% and 60,2%, respectively.

**Keywords:** crop production waste, rapeseed oil production waste, rye flour production waste, fractional composition of waste, morphological composition of waste, chemical composition of waste, effective microorganisms, biological decomposability.

### Введение

Доля отходов растениеводства в общем объеме отходов сельского хозяйства не превышает 3 %, что намного меньше по сравнению с отходами, образующимися в отрасли животноводства. Тем не менее в 2021 г. в РФ было образовано 1,13 млн. тонн отходов растительного происхождения [1], и проблема эффективной утилизации отходов этой категории является весьма актуальной.

Отходы зерновых и зернобобовых культур, а также солома и другие растительные остатки, имеющие относительно высокую питательную ценность,

могут использоваться и используются для поддержания плодородия почвы и на кормовые цели в нативном виде [2; 3].

Отходы технических культур, в особенности это касается рапса, обладают низкой питательной ценностью и такими особенностями химического состава, которые делают неприемлемым их применение в качестве улучшителей почвы или для скармливания животным. В период массовой приемки, когда объём поступления масличных семян в сутки составляет 1000–1500 тонн, на предприятиях отделяется порядка 100–120 т/сут. отходов их очистки [4]. Поскольку оболочки семян рапса (шелуха, лузга) обладают довольно высокой теплотворной способностью (19 МДж/кг, или 4600 ккал/кг), то локально их используют в качестве дешевого топлива. Но большая часть таких отходов вывозится для обезвреживания и захоронения на полигоны, что нерационально ни с экономической, ни с экологической точки зрения. В связи с этим представляется перспективным использование неэффективно утилизируемых отходов продукции растениеводства для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов [5].

Анализ литературных источников показывает, что существует широкий спектр областей применения отходов растениеводства (в строительстве, фармацевтике, косметологии, энергетике, экологии) и различные варианты их переработки в новые продукты, такие как биотопливо, порошок, фильтры для очистки промышленных сточных вод, биологически активные вещества и микронутриенты [6–9]. При создании таких перспективных новых продуктов, как биоразлагаемые композиционные полимерные материалы с наполнителями растительного происхождения, особую значимость приобретают исследования процессов микробиологической деструкции растительных отходов [10; 11].

Целью нашего модельного опыта явилось исследование разложимости отходов производства рапсового масла и ржаной муки при контакте с почвенным субстратом, содержащим эффективные микроорганизмы.

### **Материалы и методы**

Исследование биологической разложимости отходов рапса и ржи в модельном опыте проводили с марта по май 2023 г. в лаборатории кафедры ландшафтной архитектуры Кузбасской ГСХА. Объектом исследования стали отходы растительного происхождения.

Отходы рапса (лузга, оболочки ядер) получены в лаборатории кафедры агроинженерии Кузбасской ГСХА при очистке зерна рапса в пневмосепараторе [13].

Отходы ржи получены при производстве ржаной муки на предприятии ООО «Торговый дом Кемеровский мелькомбинат».

Исследования химического состава отходов ржи и рапса (исходных и после контакта с почвенным субстратом, содержащим эффективные микроорганизмы) выполнены с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой ISP-AES 9820, методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье, в лаборатории физико-химических исследований фармакологически активных и природных соединений (медицинский институт Кемеровского государственного университета).

Отход 1 – отходы производства семян рапса, сорт Юбилейный (лузга с примесью фрагментов ядра), фракция 0,25–0,50 мм. Навески 2,5–2,6 г в пакетиках-пирамидках из нейлона.

Отход 2 – отходы производства ржаной муки, сорт Тетра короткая (шелуха, фрагменты соломы, примесь семян сорняков), фракция 0,25–0,50 мм. Навески 5,0–5,2 г в пакетиках-пирамидках из нейлона.

При проведении исследования за основу была взята методика авторов [14], согласно которой в качестве контейнеров для растительных отходов при закладке опыта были использованы пакетики-пирамидки из нейлона, размер ячейки ткани которого позволяет почвенным микроорганизмам и мезофауне проникать внутрь, а сам пакетик не разлагается во время инкубации.

Перед началом работы в каждый пакетик закладывали по 5,0 г отходов ржи и по 2,5 г отходов рапса. Все образцы были пронумерованы.

Грунт (универсальный, торфяной, для выращивания овощей, цветов, зеленных культур) для закладки пакетиков с растительными отходами помещали в пластиковые контейнеры (16 см x 11 см x 6 см). В такие же контейнеры помещали прокаленный речной песок.

Байкал ЭМ-1 – готовый микробиологический препарат, включающий саморегулирующийся комплекс природных живых микроорганизмов. Состав: культуральная жидкость (вода, меласса, соли гуминовых кислот, соли минеральные), бактерии (молочнокислые, фотосинтезирующие, азотфиксирующие), сахаромикеты.

ЭМ Патока – средство разработано по специальной технологии, предназначено для выращивания полезной микрофлоры в концентрированном растворе Байкал ЭМ-1. Состав: цеолит, меласса свекловичная, питательные соли, вода.

ЭМ – (препарат Байкал-ЭМ-1 + ЭМ Патока) – рабочий раствор в заданных концентрациях: 5 л воды + 7,5 мл ЭМ-1 Байкал + 7,5 мл ЭМ Патока.

Контроль 1: песок + отходы ржи.

Вариант 1: почва + ЭМ + отходы рапса.

Контроль 2: песок + отходы ржи.

Вариант 2: почва + ЭМ + отходы ржи.

Глубина заделки образцов – 6 см. Полив осуществляли по утвержденной схеме. Распределение вариантов опыта – последовательное, повторность – трехкратная. Максимальная экспозиция – три месяца.

### Результаты

При визуальном осмотре отходов ржи и рапса было установлено, что отходы ржи сорта Тетра короткая неоднородны по составу и размерам, а отходы рапса сорта Юбилейный практически однородны по морфологическому и фракционному составам.

В составе отходов ржи были выявлены примеси семян следующих сорняков:

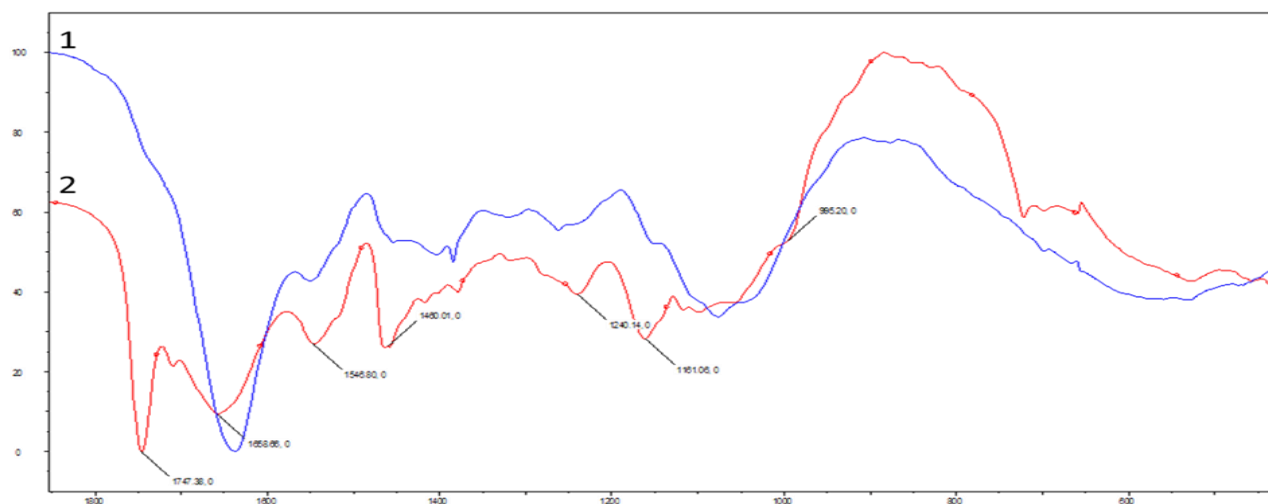
- Горец птичий (*Polygonum viculare*);
- Просо куриное (*Echinochloa crus-galli*);
- Щетинник зеленый (*Setaria viridis*);
- Подмаренник цепкий (*Galium parine*).

Доля сорняков составила 0,2 % от общей массы отходов ржи. Фракционный состав отходов ржи был неоднородным: наибольшая доля (36,04 %) приходилась на фракцию 2,0–1,0 мм, следующая за ней доля (20,88 %) приходилась на фракцию с размерами более 2,6 мм.

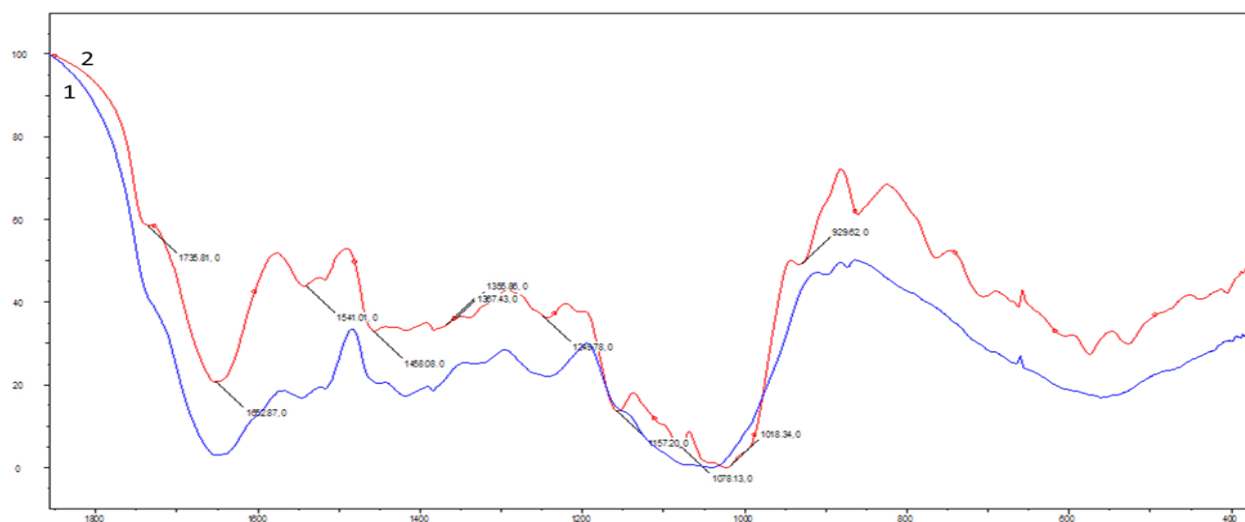
Отходы рапса практически однородны по составу и размерам. Кроме лузги (оболочек ядра) – легких чешуек черного цвета размерами 2,0–1,0 мм, выявлено около 0,01 % фрагментов ядра желтого цвета размерами <0,8 мм.

Анализ элементного состава исходных образцов рапса и ржи (по 20 элементам) показал, что в отходах рапса содержание магния – калия – кальция – фосфора – серы составило соответственно: 3,8 – 5,0 – 4,1 – 3,5 – 6,6 мг/г, а в отходах ржи соответственно: 3,5 – 3,1 – 3,0 – 2,6 – 2,9 мг/г. То есть содержание вышеперечисленных элементов в отходах рапса выше, чем в отходах ржи от 8 до 130 %. Отходы ржи содержат больше марганца и цинка по сравнению с рапсом – на 49 и 68 % соответственно. По содержанию других элементов (Ba, Be, Cr, Cu, Fe, Na, Ni, Ti) отличия элементного состава отходов рапса и ржи незначительны.

На рисунке 1 представлены инфракрасные спектры (ИК-спектры) образцов отходов рапса и ржи в режиме инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье в диапазоне  $1800\text{--}400\text{ см}^{-1}$  и разметкой основных полос поглощения.



а)



б)

Рисунок 1. ИК-спектры образцов\*: а) ржи б) рапса

\* образец исходный – линия 2, образец после контакта с почвой – линия 1

Сопоставление ИК-спектров образцов рапса и ржи показывает существенные отличия их химического состава так же, как сопоставление спектральных линий образцов рапса исходного (рис. 1 а, линия 2) и после контакта с почвой (рис. 1 а, линия 1), спектральных линий образцов ржи – исходного (рис. 1 б, линия 2) и образца после контакта с почвой (рис. 1 б, линия 1).

На рисунке 2 представлена динамика убыли массы отходов рапса и ржи (в процентах относительно исходной массы) в ходе модельного опыта.

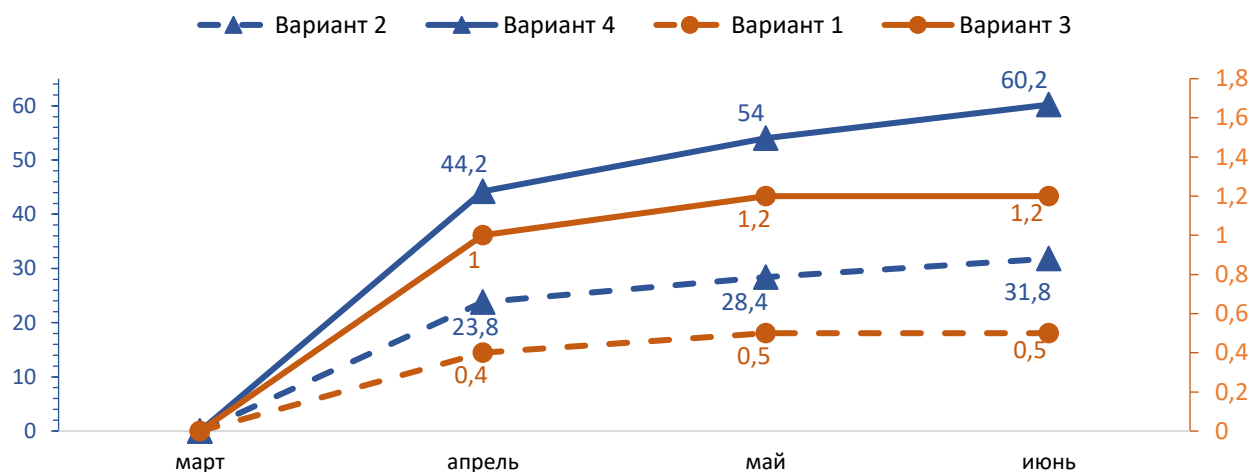


Рисунок 2. Соотношение массы образцов рапса и ржи по вариантам опыта, % от исходного значения

По результатам ежемесячного определения массы образцов растительных отходов было установлено, что убыль массы в вариантах 1 и 3 (отходов рапса) в среднем составила 0,5 %, а для отходов ржи этот показатель был равен 1,2 %. Сравнение вариантов 2 и 4 при контакте испытуемых образцов с регулярно увлажняемым почвенным субстратом, содержащим микроорганизмы, показывает существенное уменьшение массы образцов. В первый месяц после контакта с почвой масса образцов уменьшилась для отходов рапса и ржи в среднем на 23,8 и 44,2 % соответственно, а в последующие два месяца скорость потери массы снизилась, составив в среднем 4,0 и 8,0 % соответственно. Общая убыль массы составила в среднем для отходов рапса 31,8 %, для отходов ржи – 60,2 %.

### Заключение

Анализ результатов модельного опыта по исследованию процессов разложимости отходов растительного происхождения в почвенном субстрате, содержащем эффективные микроорганизмы, в сравнении с процессами, происходящими с образцами, не содержащими активной микрофлоры, выявил зависимость интенсивности разложения отходов рапса и ржи от наличия микрофлоры в почвенном субстрате.

Элементный анализ исходных образцов отходов рапса и ржи, выполненный с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной



плазмой, показал, что по большинству элементов существуют незначительные различия между отходами рапса и ржи. Но серы и калия в рапсовых отходах в 2,3 и 1,6 раза соответственно больше, чем в ржаных, а марганца и цинка – в 1,5 и 1,7 раза больше, соответственно, в ржаных отходах.

По мнению специалистов лаборатории физико-химических исследований фармакологически активных и природных соединений медицинского института Кемеровского государственного университета, изменения образцов отходов ржи и рапса после ферментативной деградации под действием почвенных микроорганизмов подтверждают ИК-спектры. Наибольшая потеря массы образцов отходов рапса и ржи соответствует максимальному уменьшению интенсивности полос поглощения углеводной и липидной составляющих в спектрах этих образцов. В наименьшей степени изменяются полосы, характерные для валентных колебаний аминогрупп, входящих в структуру пептидно-белковых составляющих образцов.

Таким образом, в ходе исследования выявлена прямая зависимость интенсивности разложения отходов рапса и ржи от наличия микрофлоры в почвенном субстрате. Близкая к двукратной, по сравнению с образцами отходов рапса, потеря массы образцов отходов ржи после контакта с почвой может быть объяснена различиями химического состава исследованных растительных отходов.

### **Библиографический список**

1. Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в сфере сельского хозяйства на 2022–2030 годы: паспорт отраслевой программы № 16133п-П11: утвержден Правительством Российской Федерации 29.12.2022 // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : официальный сайт. - URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/e07/f6wiyogjpidx2u4g1p7rw9etw4ryainz.pdf> (дата обращения 03.04.2024). – Текст : электронный
2. Киреева, В. В. Утилизация отходов растениеводства как способ защиты окружающей среды и рационального природопользования / В. В. Киреева, М. А. Дронова, Е. Д. Лунева // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2 (51). – С. 47-49.
3. Влияние обрушения семян рапса на качество продуктов их переработки / С. В. Зверев, Н. А. Скудова, Е. А. Размочаев [и др.] // Комбикорма. – 2023. – № 11. – С. 30–33.



4. Смычагин, Е. О. Анализ состава отходов очистки масличных семян и способов их утилизации и переработки // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 651–663.
5. Современные тенденции в области модификации полимеров наполнителями на основе растительного сырья / Х. С. Абзальдинов, А. Ф. Яруллин, Н.Е. Темникова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2023. – Т. 26, № 10. – С. 57–68.
6. Романов, А. Н. Разработка экологических способов вторичного использования отходов растениеводства // Известия Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – С. 188–190.
7. Акинбаде, А. О. Новые сорбенты из отходов растениеводства для очистки воды от нефтепродуктов // Ползуновский вестник. – 2017. – № 4. – С. 114–117.
8. Получение топлива из отходов предприятий растениеводства для улучшения экологических условий в регионе / Ю.Н. Шалимов, Л.С. Юрьев, А.В. Руссу [и др.] // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации. – 2016. – № 1-1(7). – С. 374–378.
9. Будаева, В. В. Биологически активные комплексы из отходов растениеводства и диких растений // Ползуновский вестник. – 2007. – № 3. – С. 15–24.
10. Recent development of polymer nanocomposites reinforced with natural fiber / D. Wong, M. Anwar, S. Debnath // The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society. – 2021. – № 73. – PP. 2504–2515.
11. Русакова, И. В. Эффективность микробных деструкторов послеуборочных остатков в лабораторных и полевых экспериментах / Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ».
12. Рензиев, А.О. Пневмосепаратор для разделения зерновых материалов // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – № 1. – С. 11–15.
13. Елумеева, Т. Г. Стабилизация и скорость разложения стандартного материала в травяных сообществах лесной зоны // Экосистемы. – 2021. – № 25. – С. 12–21.