

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ БЕССМЕННЫХ КУЛЬТУР И ПАРОВАНИЯ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

© 2023 г. В. Г. Мамонтов^а, В. И. Лазарев^б, О. В. Рыжков^с, С. А. Беляева^а, *^аРоссийский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434 Россия^бКурский ФАНЦ, Черемушки, 10, Курская обл., 305526 Россия^сЦентрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник имени профессора В.В. Алехина,
п/о Заповедное, Курская обл., 305528 Россия

*e-mail: belyaeva@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 24.09.2022 г.

После доработки 02.12.2022 г.

Принята к публикации 05.12.2022 г.

С помощью термического метода и ИК-спектроскопии изучен гумусово-аккумулятивный горизонт А чернозема типичного мощного различного землепользования. Согласно полученным данным, органическое вещество чернозема состоит преимущественно из слаботермоустойчивых алифатических соединений типа полисахаридов. Об этом свидетельствуют потеря массы в низкотемпературной области, варьирующая в пределах 68.15–71.54%, и интенсивная полоса поглощения при 1083 см⁻¹, определяющая облик ИК-спектров чернозема. Под влиянием экстенсивного сельскохозяйственного использования произошла минерализация лабильных алифатических соединений и увеличение в составе органического вещества чернозема устойчивых циклических структур. На это указывает уменьшение коэффициента Черникова–Кончица *Z* от 3.16 до 2.47–2.73 и интенсивности большинства полос поглощения на ИК-спектрах. Самое заметное негативное влияние на органическое вещество чернозема типичного оказал бессменный пар.

Ключевые слова: термический анализ, ИК-спектроскопия, алифатические соединения, циклические структуры, полисахариды, Naplic Chernozem (Loamic, Pachic)

DOI: 10.31857/S0032180X22601153, **EDN:** HOCIPS

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения состава и свойств почвы, а также отдельных ее компонентов наряду с классическими химическими широко применяются различные инструментальные физико-химические методы анализа [8–10, 21, 24, 37, 49, 54]. К числу таких методов относятся термический анализ и инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия). Применение этих методов позволяет не только выявить характерные особенности тех или иных составных частей почвы, но и оценить направленность их трансформации под влиянием природных и антропогенных факторов [21, 25, 28, 32, 37, 42, 49–51, 54, 55].

В частности, на основании данных термического анализа в структуре гумусовых кислот стали условно выделять две части. Одна из них представлена алифатическими компонентами, формирующими периферическую часть молекулы, другая – устойчивыми ароматическими структурами, которые составляют ее ядерную часть [24, 26, 35, 37–39, 45].

С помощью термического анализа установлено, что органо-минеральные взаимодействия не только повышают устойчивость гумусовых веществ к микробиологическому воздействию, что способствует их длительному сохранению в почве, но и служат формой стабилизации биофильных элементов [34, 56]. Термический анализ показал, что при окультуривании дерново-подзолистых почв происходит снижение устойчивости гумусовых кислот [41]. Бессменное парование дерново-подзолистой почвы способствует упрощению структуры гумусовых кислот с одновременным отбором термостабильных фрагментов как в составе периферической, так и центральной части молекулы [4].

Некоторые исследователи предлагают использовать термический метод для определения общего содержания органического углерода в почве [5, 53]. С учетом данных термического анализа всю совокупность органических веществ почвы было предложено разделить на две группы. Одну группу составляют активные формы органических веществ (термически нестойкие, термолабильные),

разрушающиеся при температуре около 300°C. Другая группа представлена инертными органическими веществами (термически устойчивые, термостабильные). Их разрушение происходит в диапазоне температур 450–770°C [33, 34, 48].

Отмечается, что с помощью термического анализа можно не только определить соотношение между термически лабильными и стабильными пулами органического вещества почвы, но и исследовать структуру супрамолекулярных комплексов, идентифицировать пирогенный, органический и неорганический углерод в почве [30]. Вместе с термическим анализом в почвенных исследованиях получила широкое применение ИК-спектроскопия. Нередко она используется для изучения минералогического состава почв [10, 21, 50], в том числе при количественной оценке глинистых минералов [19]. С помощью ИК-спектроскопии выявлены особенности трансформации биотита в горизонте АЕЛ подзолистой почвы [7].

Однако в почвенных исследованиях ИК-спектроскопия преимущественно используется для изучения органического вещества почвы. Этот метод нашел применение, как в генетических исследованиях, так и при оценке антропогенного воздействия на гумусовые кислоты почвы и обработке методических вопросов [9, 10, 12, 24–28, 32, 54, 55]. Метод ИК-спектроскопии служит надежным способом идентификации важнейших атомных групп и типов связи как органического вещества почвы в целом, так и в отдельных гумусовых веществах [24, 37]. По предложению Орлова [25] ИК-спектры включены в систему диагностических показателей гумусовых кислот почвы. Полезную информацию дает этот метод для оценки качественных изменений гумусовых веществ под влиянием различных приемов окультуривания и мелиорации почв [37].

Данные ИК-спектроскопии позволили выявить большее содержание алифатических, азотсодержащих и полисахаридных компонентов в гуминовых кислотах дерново-подзолистых почв по сравнению с гуминовыми кислотами черноземов [9, 25].

Согласно результатам ИК-спектроскопии, при окультуривании дерново-подзолистой почвы внесение навоза обуславливает дифференциацию кислородсодержащих группировок в составе гумусовых кислот и уменьшение интенсивности их поглощения, тогда как внесение минеральных удобрений – увеличение интенсивности поглощения этих групп и появление полос поглощения, характерных для CН_2 - и CН_3 -групп [40]. С помощью ИК-спектроскопии показано, что органо-минеральная система удобрения вызывает наиболее существенную алифатизацию гумусовых кислот почвы по сравнению с другими способами земледелия [12].

Данные ИК-спектроскопии наряду с определением других показателей позволили сделать вывод, что применение азотной среды для выделения гуминовых кислот из минеральных горизонтов чернозема с помощью щелочной экстракции можно считать нецелесообразным [9].

В целом термический анализ и ИК-спектроскопия являются эффективными методами изучения состава и свойств почв. Поэтому не случайно предлагается включить характеристики, получаемые с помощью этих методов, в систему структурных диагностических показателей трансформационных изменений гумусовых веществ как элемент экологического мониторинга [37].

Черноземы привлекают пристальное внимание исследователей со времен В.В. Докучаева, что отражено в многочисленных публикациях [16, 46, 47]. Значительное количество публикаций посвящено объектам, которые были использованы в работе. В частности, особенности проявления эффективного плодородия пахотного чернозема обстоятельно проанализированы в работах [20, 23]. Характер изменения физических свойств чернозема под влиянием агрогенеза отражен в публикациях [18, 43], структуре микробного сообщества посвящена работа [11]. Обширные исследования выполнены по изучению органического вещества чернозема и отдельных его компонентов [3, 13–15, 17, 31, 33].

Цель работы – изучить особенности изменения термических и оптических свойств чернозема типичного под влиянием бесменных озимой пшеницы, кукурузы и пара.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служил чернозем типичный на карбонатном лёссовидном суглинке (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)). Образцы целинного чернозема под некосимой степью и чернозема под бесменным паром, опыт заложен в 1947 г., отбирали в Центрально-черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина. Образцы чернозема под бесменными озимой пшеницей и кукурузой отбирали на опытном поле Курского НИИ АПП, заложенном в 1964 г. Ко времени отбора образцов бесменный пар просуществовал 74 года, а бесменные культуры возделывались 57 лет. Свойства почв этих объектов подробно изучены [14, 22, 36, 52].

Почвенные образцы отбирали с каждого из вариантов в трехкратной повторности из гумусово-аккумулятивного горизонта А мощностью 0–20 см. Пробоподготовку почвенных образцов к анализу с отбором растительных остатков проводили по общепринятой методике [2]. Термический анализ проводили в индивидуальных образцах на прибо-

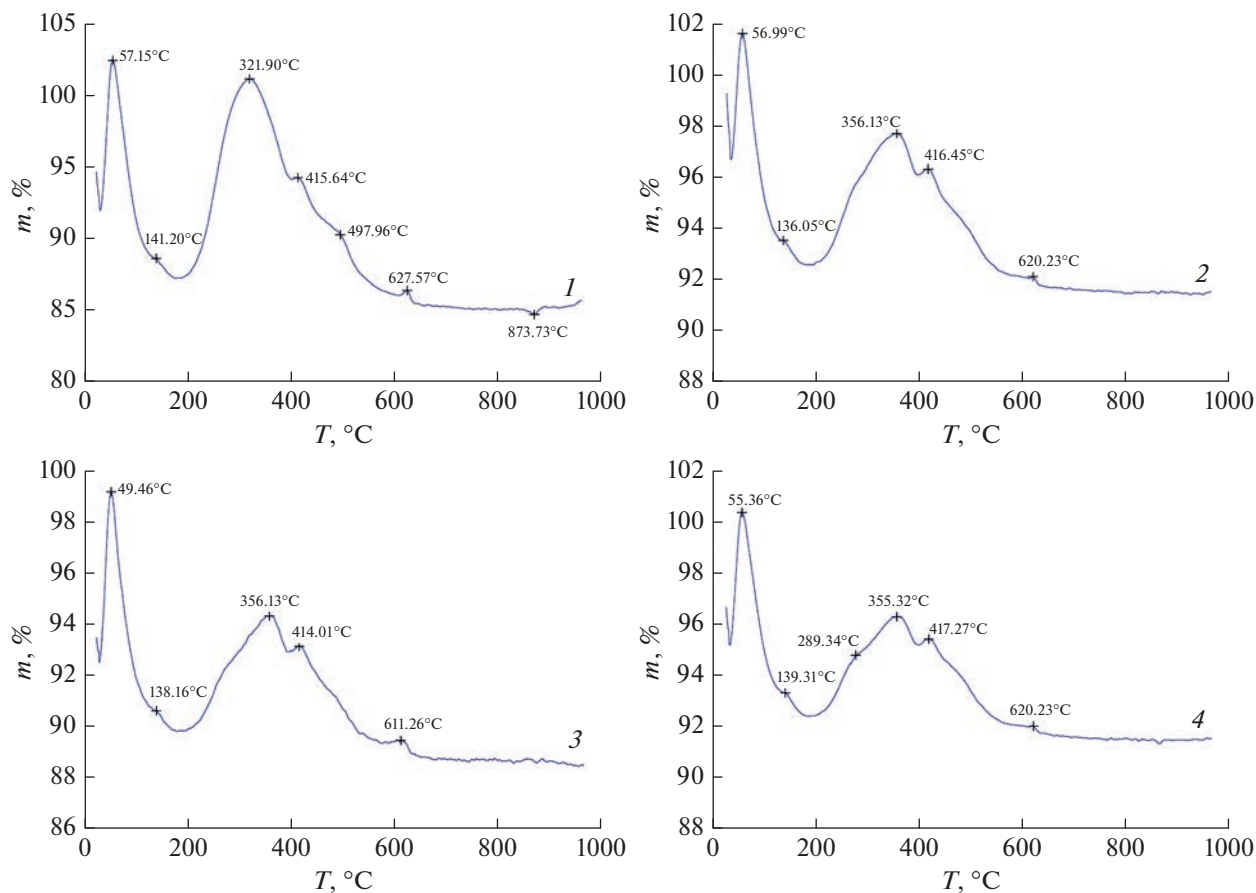


Рис. 1. Дифференциально-термогравиметрические кривые чернозема типичного: 1 – целина, 2 – бессменная озимая пшеница, 3 – бессменная кукуруза, 4 – бессменный пар.

ре SDTQ600 в атмосфере осушенного воздуха при скорости поднятия температуры 10 град/мин. Коэффициент Z находили по Черникову–Кончицу [38]. ИК-спектры получали согласно рекомендациям [10]. Для съемки ИК-спектров использовали смешанные почвенные образцы, каждый из которых готовили на основе трех индивидуальных образцов. Для съемки готовили КВг-таблетки. Смешанный образец почвы массой 0.5 мг растирали со спиртом в агатовой ступке в течение 1 мин, затем добавляли 200 мг КВг, после чего смесь растирали еще в течение 2–3 мин до однородности. Полученную смесь помещали в пресс-форму диаметром 13 мм и подвергали давлению 4.0–4.5 т в течение 15–20 мин при вакуумировании в гидравлическом прессе. Далее полученный препарат для исключения вклада адсорбированной воды помещали в эксикатор с CaCl_2 и прогревали в течение 20–24 ч при температуре 105°C. Спектры снимали на ИК-Фурье-спектрометре Spectrum One Perkin Elmer, оснащенный детектором LiTaO_3 и КВг-светоделителем. Обработку полученных результатов и коррекцию базовой линии проводили с использованием линейной функции

при помощи программы OMNIC 9.9.535, ThermoFisher Scientific Inc. Полосы поглощения идентифицировали с использованием руководств [6, 27, 29].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работах по термическому анализу гумусовых веществ принято считать, что при температуре до 100°C удаляется гигроскопическая вода и, возможно, разрушается часть термонеустойчивых органических соединений. В интервале 100–400°C термодеструкции подвергаются компоненты алифатической природы. При температурах >400°C разрушается центральная часть молекул гумусовых веществ, состоящая из бензоидных циклических структур [24, 38, 39].

Согласно результатам дифференциально-термогравиметрического анализа (ДТГА), на кривых образцов чернозема обнаруживается 5–6 термических реакций (рис. 1).

В ходе первой реакции, наблюдаемой в интервале температур 50–57°C, удаляется гигроскопическая вода с потерей массы от 5.81% в целинном

Таблица 1. Влияние бесменных культур и пара на термогравиметрическую характеристику чернозема типичного, над чертой – максимальная температура эффекта, °С; под чертой – потеря массы, % от общей массы

Вариант	Температурный диапазон, °С				
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–700
Целина	$\frac{57}{5.81}$	$\frac{141}{20.77}$	$\frac{322}{50.77}$	$\frac{416}{9.81}$, $\frac{498}{11.04}$	$\frac{628}{1.80}$
Бесменная озимая пшеница	$\frac{57}{4.73}$	$\frac{136}{28.19}$	$\frac{356}{40.90}$	$\frac{417}{24.32}$	$\frac{620}{1.86}$
Бесменная кукуруза	$\frac{50}{4.53}$	$\frac{138}{30.02}$	$\frac{356}{39.86}$	$\frac{414}{23.69}$	$\frac{611}{1.90}$
Бесменный пар	$\frac{55}{4.30}$	$\frac{139}{22.60}$	$\frac{289}{15.54}$, $\frac{355}{30.01}$	$\frac{417}{23.90}$	$\frac{620}{3.65}$

Таблица 2. Соотношение алифатических и циклических структур в составе органического вещества чернозема типичного при различном землепользовании, $M \pm mt_{0.05}$ (среднее \pm доверительный интервал среднего)

Вариант	Потеря массы, % от общей		Z
	<400°С	>400°С	
Целина	71.54 ± 2.33	22.65 ± 1.74	3.16 ± 0.35
Бесменная озимая пшеница	69.09 ± 1.64	26.18 ± 0.37	2.64 ± 0.09
Бесменная кукуруза	69.88 ± 1.81	25.59 ± 0.79	2.73 ± 0.15
Бесменный пар	68.15 ± 1.61	27.55 ± 1.34	2.47 ± 0.19

черноземе до 4.30–4.73% в черноземе агроценозов (табл. 1).

Судя по кривой ДТГА целинного чернозема, его органическое вещество состоит из пяти групп неоднородных по термоустойчивости компонентов, разрушающихся в интервале от 141 до 628°С. Среди веществ алифатического типа преобладают более термоустойчивые соединения, разрушение которых происходит в результате интенсивной термической реакции при 322°С. Потеря массы составила 50.77%. Эти компоненты явно преобладают в составе органического вещества целинного чернозема. Структуры алифатического типа с меньшей термоустойчивостью разрушаются в результате слабовыраженной термической реакции при 141°С с потерей массы 20.77%. Суммарная потеря массы при термодеструкции алифатических компонентов органического вещества целинного чернозема составила 71.54%.

В интервале 400–600°С происходит разрушение термоустойчивых бензоидных циклических структур органического вещества чернозема. Они более неоднородны по термоустойчивости по сравнению с алифатическими компонентами, о чем свидетельствуют три термические реакции их разрушения при 416, 498 и 628°С с потерей массы 9.81, 11.04 и 1.80% соответственно. Суммарная потеря массы в результате термодеструкции цикли-

ческих бензоидных компонентов органического вещества целинного чернозема составила 22.65%.

Коэффициент Z органического вещества целинного чернозема равен 3.16 (табл. 2). Это свидетельствует, что в составе органического вещества целинного чернозема заметно преобладают термонеустойчивые алифатические компоненты. По предложенной Травниковой терминологии доли активного и инертного органического вещества в целинном черноземе составляют 72/23, близкие данные были получены ею ранее [33].

Кривая ДТГА чернозема с бесменным возделыванием озимой пшеницы отличается от кривой ДТГА целинного чернозема, поскольку на ней присутствует не пять, а четыре термические реакции, связанные с разрушением органических веществ чернозема. Алифатические соединения, среди которых явно преобладают более термоустойчивые структуры, разрушаются в результате двух термических реакций при 136 и 356°С с потерей массы 28.19 и 40.9% соответственно. В целом в результате термодеструкции алифатической части органического вещества чернозема при бесменном возделывании озимой пшеницы потеря массы составила 69.09%, что на 2.45% меньше по сравнению с целинным черноземом.

Бензоидные циклические структуры органического вещества чернозема этого варианта среди

которых доминируют менее термоустойчивые компоненты, как и алифатические вещества разрушаются в результате двух термических реакций при 417 и 620°C с потерей массы 24.32 и 1.86% соответственно. Всего при термодеструкции устойчивых циклических структур органического вещества чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы теряется 26.18% массы, что на 3.53% больше по сравнению с органическим веществом целинного чернозема. Коэффициент Z равен 2.64, что в 1.2 раза меньше по сравнению с Z целинного чернозема. Доли активного и инертного органического вещества в черноземе при возделывании бессменной озимой пшеницы составили 69/26.

Кривая ДТГА чернозема под бессменной кукурузой имеет характер, схожий с кривой ДТГА чернозема под бессменной озимой пшеницей. На ней также отмечается четыре термические реакции, связанные с термодеструкцией органических веществ чернозема.

Две группы алифатических компонентов присутствуют примерно в равных долях и разрушаются при 138 и 356°C с потерей массы – 30.02 и 39.86% соответственно. Всего в результате термодеструкции алифатических компонентов органического вещества чернозема потеря массы составила 69.88%, что на 1.66% меньше по сравнению с целинным черноземом и сопоставимо с черноземом с бессменным возделыванием озимой пшеницы.

Термоустойчивые структуры органического вещества чернозема под бессменной кукурузой преимущественно разрушаются в ходе одной термической реакции при 414°C с потерей массы 23.69%. Очень незначительная их часть, 1.90%, разрушается при 611°C. В общей сложности потеря массы в результате термического разрушения циклических компонентов органического вещества чернозема под бессменной кукурузой составила 25.59%, что на 2.94% больше по сравнению с целинным черноземом и всего лишь на 0.59% меньше по сравнению с черноземом с бессменным возделыванием озимой пшеницы.

Коэффициент Z оказался равным 2.73, он меньше, чем у органического вещества целинного чернозема, и практически такой же, как и у органического вещества чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы. Доли активного и инертного органического вещества в черноземе при бессменном возделывании кукурузы составили 70/26.

Кривая ДТГА чернозема под бессменным паром отличается от выше рассмотренных вариантов чернозема с бессменной озимой пшеницей и кукурузой. На ней выделяется пять термических реакций связанных с пиролизом органических веществ чернозема. Разрушение алифатических

компонентов происходит в результате трех термических реакций. Наименее термоустойчивые алифатические структуры разрушаются при 139°C с потерей массы 22.60%. Больше всего алифатических компонентов – 30.01% разрушается при 355°C. С этим интенсивным пиком сливается плохо разрешившаяся термическая реакция при 289°C, в ходе которой теряется 15.54% массы. Следует отметить, что термическая реакция в этой области отсутствует на термограммах других вариантов. Это свидетельствует о том, что алифатические органические вещества чернозема бессменного пара характеризуются более значительной неоднородностью компонентного состава, нежели алифатическая часть органического вещества черноземов других вариантов земледелия. Можно предположить, что вещества, разрушающиеся в этой области, сформированы за счет продуктов интенсивной микробиологической деструкции других более термоустойчивых органических соединений чернозема. Всего в низкотемпературной области потеря массы составила 68.15%. Это меньше по сравнению с целинным черноземом и черноземом под бессменными культурами на 3.35 и 0.94–1.73% соответственно.

Основная часть циклических компонентов подвергается термодеструкции при 417°C с потерей массы 23.90%. Небольшое количество этих веществ – 3.65% разрушается при 620°C. Потеря массы при разрушении устойчивых циклических структур органического вещества чернозема бессменного пара составила 27.55%. Это больше на 4.90% по сравнению с целинным черноземом и на 1.37–1.96% по сравнению с черноземом под бессменными культурами. Коэффициент Z оказался равным 2.47, и он заметно меньше Z чернозема с бессменными культурами и особенно целинного чернозема. Доли активного и инертного органического вещества в черноземе бессменного пара составили 68/28.

Таким образом, под влиянием бессменных культур и пара в составе органического вещества чернозема произошли заметные изменения. В первую очередь они обусловлены минерализацией наиболее доступных микроорганизмам алифатических и циклических органических соединений. Это сопровождается увеличением термической однородности группы циклических веществ и возрастанием доли наиболее термоустойчивых структур в их составе. При этом продукты разрушения частично пополняют алифатические и устойчивые циклические группы органического вещества чернозема. Наиболее заметные изменения, обуславливающие увеличение инертности органического вещества чернозема, произошли под влиянием бессменного пара. Однако наряду с этим в составе органического вещества чернозема

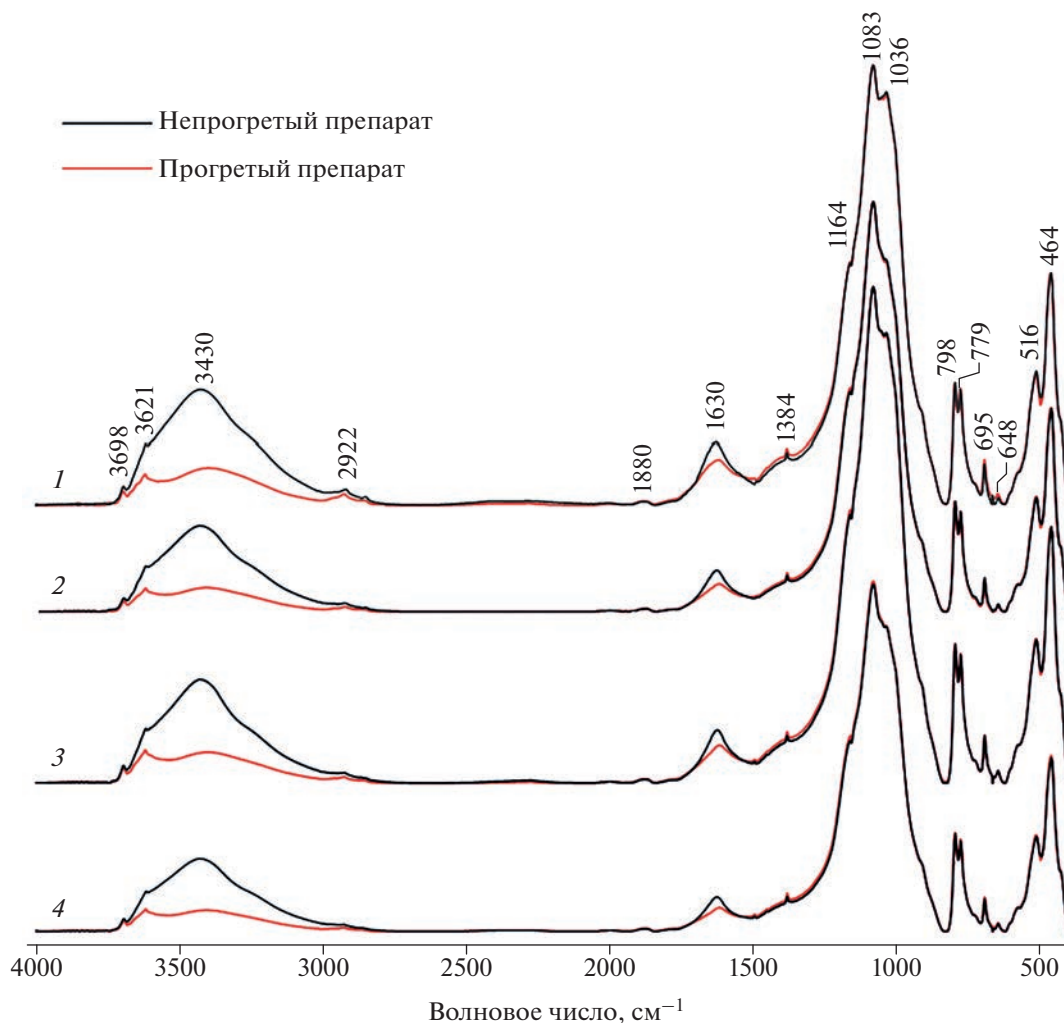


Рис. 2. ИК-спектры чернозема типичного: 1 – целина, 2 – бессменная озимая пшеница, 3 – бессменная кукуруза, 4 – бессменный пар.

бессменного пара возросла и термическая неоднородность группы алифатических компонентов.

ИК-спектры чернозема различного землепользования имеют весьма схожий характер (рис. 2). На них наблюдается относительно небольшой набор полос поглощения. Аналогичного типа ИК-спектры почв были получены ранее [44].

Следует отметить, что индивидуальные минералы и гумусовые кислоты имеют более выразительные ИК-спектры поглощения, нежели собственные почвенные образцы [6, 10, 24, 27]. Как отмечала Александра [1], формирование органо-минеральных производных – обязательное звено любого типа почвообразования. Поэтому взаимодействие гумусовых веществ и глинистых минералов сопровождается блокировкой многих функциональных групп, которые не проявляются на ИК-спектрах почвенных образцов.

Широкая полоса средней интенсивности в области 3430 см^{-1} обусловлена ОН-группой, свя-

занной межмолекулярными водородными связями и валентными колебаниями группы NH. Однако преимущественно поглощение в этой области происходит за счет гигроскопической воды, о чем свидетельствует резкое уменьшение интенсивности поглощения в образцах, высушенных при 105°C . На коротковолновом крыле этой полосы обнаруживаются слабые полосы поглощения при 3621 и 3698 см^{-1} , связанные с колебаниями SiOH- и AlOH-групп монтмориллонита. В этой области может поглощать и несвязанная ОН-группа органических соединений типа спиртов, о чем свидетельствует исчезновение полос поглощения в прокаленных образцах почв [44].

Слабые полосы поглощения при $2922\text{--}2928\text{ см}^{-1}$ принадлежат валентным колебаниям CH_2 -групп алифатических структур органических веществ чернозема, а при 1880 см^{-1} ангидридам кислот.

В области 1630 см^{-1} проявляется довольно слабая и сложная полоса поглощения, обусловленная свя-

зьями С=C ароматических структур, карбоксилат-ионами (COO⁻) и азотсодержащими группировками, частично гигроскопической водой. Обнаруживается она и в глинистых минералах. Слабое поглощение при 1384 см⁻¹ обусловлено колебаниями связи С-N группы СН₃.

Очень интенсивная полоса поглощения, относимая к полисахаридам, проявляется при 1083 см⁻¹. На крыльях этой полосы отмечается слабое поглощение при 1164 и 1036–1039 см⁻¹. Поглощение при 1164 см⁻¹, вероятно, обусловлено деформационными колебаниями связи С-N ароматических соединений и ароматическими альдегидами. В области 1036–1039 см⁻¹ поглощает группа Si-O глинистых минералов. Характерный дублет при 779 и 798 см⁻¹ принадлежит кварцу. Слабая полоса поглощения при 695 см⁻¹ может быть отнесена на счет группы Si-O каолинита, монтмориллонита или кварца.

В целом на ИК-спектрах чернозема различного использования полоса поглощения при 1083 см⁻¹ является наиболее представительной и определяет весь облик ИК-спектров. Исходя из этого, можно предположить, что в состав органического вещества чернозема типичного большой вклад вносят полисахариды и продукты их трансформации. Аналогичного рода результаты получены ранее с помощью термического анализа [36].

Следует отметить, что по сравнению с целинным черноземом в пахотных почвах происходит уменьшение интенсивности практически всех или большинства полос поглощения. Особенно заметные изменения произошли под влиянием бессменного пара, где интенсивность полос поглощения при 1036, 1384, 1630 и 2922 см⁻¹, связанных с присутствием в составе органического вещества чернозема как алифатических, так и ароматических соединений, уменьшилась в 1.5–2 раза. Уменьшилась и интенсивность основной полосы поглощения при 1083 см⁻¹, что при таком способе земледелия обусловлено существенным сокращением содержания органического вещества в результате активно протекающих минерализационных процессов [22, 36].

Согласно данным ИК-спектроскопии, в нерасчленированных почвенных образцах чернозема обнаруживается относительно небольшое число полос поглощения присущих как минеральным, так и органическим компонентам почвы. Под влиянием экстенсивного сельскохозяйственного использования чернозема интенсивность большинства полос поглощения, присущих органическим веществам, уменьшается, особенно под влиянием бессменного пара. Определяющий вклад в состав органического вещества чернозема вносят полисахариды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам термического анализа, органическое вещество целинного чернозема типичного состоит из двух групп различных по термоустойчивости компонентов. Одна группа веществ представлена слаботермоустойчивыми компонентами скорее всего алифатической природы преимущественно разрушающихся при 320°C, тогда как меньшая их часть подвергается термодеструкции около 150°C.

Вторая группа веществ представлена более термоустойчивыми конденсированными циклическими соединениями. Основная их часть разрушается в интервале температур 400–500°C. Очень небольшое количество веществ этой группы имеет большую термоустойчивость и подвергается термодеструкции при температуре >600°C.

В пахотных почвах двучленный характер органического вещества чернозема сохраняется, однако под влиянием сельскохозяйственного использования произошло изменение качественных и количественных характеристик органических веществ по термоустойчивости. Если разрушение группы наименее термоустойчивых алифатических компонентов происходит при той же температуре, что в целинном черноземе, то количество их возросло на 1.83–9.25%. Содержание основной части более термоустойчивых алифатических компонентов возросло на 9.87–20.76%, а температура их термодеструкции повысилась с 322 до 355–356°C.

Произошла дегградация наименее устойчивых циклических структур, в результате бензоидные циклические компоненты стали более однородными по термоустойчивости при одновременном увеличении их вклада в органическое вещество чернозема на 2.94–4.90%.

ИК-спектры черноземов различного земледелия представляют собой однотипную картину и характеризуются наличием относительно небольшого числа полос поглощения. Доминирует на них полоса поглощения, принадлежащая полисахаридам, которые, по-видимому, и составляют основную массу органического вещества чернозема.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 489 с.

3. *Артемяева З.С., Данченко Н.Н., Зазовская Э.П., Колягин Ю.Г., Кириллова Н.П., Козут Б.М.* Изотопный состав углерода и химическая структура органического вещества типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2021. № 6. С. 686–700.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X21060034>
4. *Белопухов С.Л., Старых С.Э., Куприянов А.Н., Григорьева М.В.* Исследование качественного состава гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы методом термического анализа // Природообустройство. 2020. № 3. С. 36–43.
5. *Болатов А.А., Черников В.А., Лукин С.М.* Дериватографический метод изучения гумусового состояния дерново-подзолистых супесчаных почв // Агрохимический вестник. 2010. № 3. С. 38–40.
6. *Болдырев А.И.* Инфракрасные спектры минералов. М.: Недра, 1976. 199 с.
7. *Воробьева А.А., Доржиева О.В., Толпецка И.И.* Применение ИК-спектроскопии для изучения трансформации биотита в почве // Глины и глинистые материалы. М.: ИГЕМ РАН, 2019. С. 239–241.
8. *Громовик А.И., Йонко О.А.* Современные инструментальные методы в почвоведении. Теория и практика. Воронеж, 2010. 60 с.
9. *Заварзина А.Г., Кравченко Е.Г., Константинов А.И., Перминова И.В., Чуков С.Н., Демин В.В.* Сравнение свойств препаратов гуминовых кислот, выделенных из почв щелочной экстракцией в присутствии и отсутствии кислорода // Почвоведение. 2019. № 8. С. 910–922.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19080161>
10. *Зырин Н.Г., Орлов Д.С.* (ред.) Физико-химические методы исследования почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 382 с.
11. *Иванова Е.А., Кутюева О.В., Тхакахова А.К., Чернов Т.И., Перишина Е.В., Маркина Л.Г., Андронов Е.Е., Козут Б.М.* Структура микробного сообщества агрегатов чернозема типичного в условиях контрастных вариантов сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1367–1382.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15110088>
12. *Игнатьева С.Л., Черников В.А., Кончиц В.А.* Изучение влияния систем удобрения и обработки почвы на гумусовые кислоты дерново-подзолистой почвы с использованием ИК-спектроскопии // Известия ТСХА. 2008. Вып. 2. С. 32–41.
13. *Козут Б.М.* Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1998. № 7. С. 794–802.
14. *Козут Б.М., Артемяева З.С., Кириллова Н.П., Яшин М.А., Сошникова Е.И.* Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водоустойчивых макроагрегатов типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170.
<https://doi.org/10.1134/S106422931902008X>
15. *Козут Б.М., Сысуев С.А., Холодов В.А.* Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании // Почвоведение. 2012. № 5. С. 555–561.
16. *Крупенников И.А.* Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. К.: Pontos, 2008. 288 с.
17. *Куваева Ю.В., Фрид А.С.* Статистическая оценка содержания органического углерода и его природного варьирования в типичном черноземе при детальном пространственном масштабе обследования // Современное состояние черноземов. II Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2018. Т. 1. С. 150–156.
18. *Кузнецова И.В.* Изменение физического состояния черноземов типичных и выщелоченных Курской области за 40 лет // Почвоведение. 2013. № 4. С. 434–441.
19. *Куклина В.М., Нехорошев С.В.* Изучение ИК-спектров поглощения смесей мусковита и монтмориллонита // Глины и глинистые материалы. М.: ИГЕМ РАН, 2019. С. 69–71.
20. *Лазарев В.И., Айдиев А.Ю., Золотарева И.А., Трутаева Н.Н.* Динамика эффективного плодородия чернозема при его длительном использовании. Курс.: Курская гос. с.-х. Акад., 2007. 122 с.
21. *Мамонтов В.Г.* Методы почвенных исследований. СПб.: Лань, 2016. 260 с.
22. *Мамонтов В.Г., Артемяева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р.* Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 182–201.
23. *Музыкакин Е.Т., Потапова А.И., Кахута Н.М.* Круговорот питательных веществ в условиях интенсивной механизации на мощных черноземах Курской области // Регулирование плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР. 1981. С. 76–80.
24. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. 335 с.
25. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 324 с.
26. *Орлов Д.С., Дубин В.Н., Елькина Д.М.* Пиролиз и дифференциальный термоанализ гумусовых веществ почвы // Агрохимия. 1968. № 1. С. 68–76.
27. *Орлов Д.С., Осипова Н.Н.* Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 89 с.
28. *Прилуцкая Н.С., Корельская Т.А., Попова Л.Ф., Леонтьева В.А.* Исследование структурно-функционального состава гумусовых кислот почв Еврo-арктического региона методом ИК-спектроскопии // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 4. С. 26–35.
<https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.4.26>
29. *Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д.* Спектрофотометрическая идентификация органических соединений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2014. 557 с.
30. *Соколов Д.А., Дмитриевская И.И., Паутова Н.Б., Лебедева Т.Н., Черников В.А., Семенов В.М.* Исследование стабильности почвенного органического вещества методами дериватографии и длительной

- инкубации // Почвоведение. 2021. № 4. С. 407–419. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21040146>
31. *Сорокина Н.П., Когут Б.М.* Динамика содержания гумуса в пахотных черноземах и подходы к ее изучению // Почвоведение. 1997. № 2. С. 178–184.
 32. *Тихова В.Д., Фадеева В.П., Шакиров М.М., Юдина Н.В.* Метрологические аспекты анализа гуминовых кислот // Аналитика и контроль. 2004. Т. 8. № 4. С. 361–369.
 33. *Травникова Л.С.* Органоминеральные взаимодействия: роль в процессах формирования почв, их плодородия и устойчивости к деградации. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. 296 с.
 34. *Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш.* Продукты органоминерального взаимодействия и устойчивость почв к деградации // Современные проблемы почвоведения. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2000. С. 356–368.
 35. *Фильков В.А., Пилипенко А. Д.* Некоторые термические показатели гумусовых кислот почв Молдавии // Почвоведение. 1977. № 1. С. 83–90.
 36. *Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Айдиев А.Ю., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Иванов А.Л., Куликова Н.А.* Термолабильное и термостабильное органическое вещество черноземов различного землепользования // Почвоведение. 2020. № 8. С. 970–982. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20080080>
 37. *Черников В.А.* Методы структурной диагностики органического вещества почв // Методы исследований органического вещества почв. М.: Россельхозакадемия, 2005. С. 135–147.
 38. *Черников В.А., Кончиц В.А.* Кинетика пиролиза фульвосоединений некоторых типов почв // Известия ТСХА. 1973. Вып. 1. С. 125–137.
 39. *Черников В.А., Кончиц В.А.* Исследование строения гумусовых кислот почв дериватографическим методом. // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1979. № 2. С. 70–75.
 40. *Черников В.А., Старых С.Э., Кончиц В.А.* Изменение состава гумусовых кислот дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений // Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. С. 99–106.
 41. *Черников В.А., Кончиц В.А., Игнатьева С.Л.* Термогравиметрическая характеристика гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы при различных системах удобрения на фонах минимальной фрезерной обработки и трехъярусной вспашки // Известия ТСХА. 2002. Вып. 1. С. 125–138.
 42. *Шаймухаметов М.Ш., Шурыгина Е.А.* Термографическая и ИК-спектроскопическая характеристика продуктов взаимодействия гуминовых кислот и гидроокисями железа с алюминия и кремнекислотой // Почвоведение. 1980. № 4. С. 59–72.
 43. *Шейн Е.В., Лазарев В.И., Айдиев А.Ю., Сакункончак Т., Кузнецов М.Я., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д.* Изменение физических свойств черноземов типичных (Курская область) в условиях длительного стационарного опыта // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1201–1208.
 44. *Шурыгина М.А., Петров В.Г.* ИК-спектроскопические исследования поглотительной способности почв Удмуртской Республики // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т. 17. № 1. С. 132–137.
 45. *Шурыгина Е.А., Ларина Н.К., Чубарова М.А., Кононова М.М.* Дифференциально-термический и термовесовой анализы гумусовых веществ почвы // Почвоведение. 1971. № 6. С. 35–44.
 46. *Щеглов Д.И.* Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 с.
 47. *Щербаков А.П., Васенев И.И.* (ред.) Антропогенная эволюция черноземов. Воронеж, 2000. 412 с.
 48. *Artemyeva Z., Danchenko N., Kolyagin Yu., Kirillova N., Kogut B.* Chemical structure of soil organic matter and its role in aggregate formation in Haplic Chernozem under the contrasting land use variants // Catena. 2021. V. 204. P. 105403. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105404>
 49. *Karathanasis A.D.* Thermal analysis of soil minerals // Methods of Soil Analysis. Part 5. Mineralogical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Madison, 2008. P. 117–160. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.5.c5>
 50. *Kelly S.D., Hesterberg D., Ravel B.* Analysis of soils and minerals using X-ray absorption spectroscopy // Method of soil analysis. Part 5. Soil Sci. Soc. Am. Madison. Wisconsin. 2008. P. 387–464.
 51. *Krylov V.F., Mamontov V.G.* The Impact of Different Cenoses on the Thermal Characteristics of Labile Humic Substances of Typical Chernozem in Kursk Oblast // Eurasian Soil Science. 2022. V. 55. № 4. 3P. 450–457. <https://doi.org/10.1134/S1064229322040111/>
 52. *Krylov V.A., Mamontov V.G., Lazarev V.I., Ryzhkov O.V.* The Influence of Different Land Uses on the Elemental Composition of Labile Humus Substances in Typical Chernozem Typical of Kursk Oblast // Eurasian Soil Science. 2022. V. 55. № 8. P. 1033–1040. <https://doi.org/10.1134/S1064229322080087>
 53. *Kucerik J., Demyan M.S., Siewert C.* Practical application of thermogravimetry in soil science. Part 4. Relationship between clay, organic carbon and organic matter contents // J. Thermal Analysis Calorimetry. 2016. V. 123. P. 2441–2450. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5141-8>
 54. *Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A.* Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence // Chem. Biol. Technol. Agriculture 2020. V. 7. P. 6. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0172-1>
 55. *Swift R.S.* Organic matter characterization // Methods of Soil Analysis. Madison, WI: Soil Sci. Soc. Am. 1996. Part 3. P. 1018–1020.
 56. *von Lützw M., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B., Flessa H.* Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review // Eur. J. Soil Sci. 2006. V. 57. P. 426–445. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>

Influence of Permanent Crops and Fallow on the Thermal and Optical Properties of Typical Chernozem

V. G. Mamontov¹, V. I. Lazarev², O. V. Ryzhkov³, and S. A. Belyaeva^{1, *}

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, Moscow, 127434 Russia

²Kursk FANTS, Cheremushki settlement, Kursk region, 305526 Russia

³Central Chernozem State Natural Biosphere Reserve named after Professor V.V. Alyokhin, Zapovednoye, Kursk region, 305528 Russia

*e-mail: belyaeva@rgau-msha.ru

Using the thermal method and IR spectroscopy, a typical chernozem (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)) of various land uses was studied. According to the data obtained, the organic matter of the chernozem mainly consists of weakly thermally stable aliphatic compounds such as polysaccharides. This is evidenced by the mass loss in the low-temperature region, which varies within 68.15–71.54%, and the intense absorption band at 1083 cm⁻¹, which determines the shape of the IR spectra of the chernozem. Under the influence of extensive agricultural use, the mineralization of labile aliphatic compounds and an increase in stable cyclic structures in the composition of the organic matter of chernozem occurred. This is indicated by a decrease in the Chernikov–Konchits Z coefficient from 3.16 to 2.47–2.73 and the intensity of most absorption bands in the IR spectra. The most noticeable negative impact on the organic matter of a typical chernozem was caused by bare fallow.

Keywords: thermal analysis, IR spectroscopy, aliphatic compounds, cyclic structures, polysaccharides, Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)