

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ЦЕНОЗОВ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ЛАБИЛЬНЫХ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. В. А. Крылов^а, *, В. Г. Мамонтов^а^аРоссийский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Тимирязевская, 49, Москва, 127434 Россия

*e-mail: kryloff.vadim2015@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.09.2021 г.

После доработки 28.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

Изучение лабильных гумусовых веществ чернозема типичного различного использования (Курская область) с помощью термического метода показало, что они имеют сложный компонентный состав и состоят из неоднородных по термоустойчивости алифатических и циклических структур. Судя по коэффициенту Z (отношение потери массы в низкотемпературной области ($<400^{\circ}\text{C}$) к потере массы в высокотемпературной области ($>400^{\circ}\text{C}$)), равному 1.10, в составе лабильных гумусовых веществ целинного чернозема алифатические соединения преобладают над бензоидными циклическими структурами. Под влиянием бессменного выращивания озимой пшеницы и кукурузы усиливается минерализация алифатической части лабильных гумусовых веществ, и коэффициент Z уменьшается до 0.81–0.96. Наиболее интенсивная минерализация алифатических фрагментов лабильных гумусовых веществ происходит под влиянием бессменного пара, где коэффициент Z уменьшается до 0.76, и в составе лабильных гумусовых веществ отчетливо доминируют инертные циклические компоненты. Через 23 года после перевода бессменного пара в залежь компонентный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного не претерпел принципиальных изменений, отмечается лишь тенденция к усилению роли алифатических структур.

Ключевые слова: термический анализ, алифатические соединения, бензоидные циклические структуры, Naplic Chernozem (Loamic, Pachic)

DOI: 10.31857/S0032180X22040116

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим компонентом органического вещества почвы является гумус. Семенов и Когут [15, 34] определяют гумус как подсистему органического вещества почвы, включающую ряд пулов, различающихся растворимостью и доступностью микроорганизмам. Для оценки роли гумуса в плодородии почв и формировании урожая сельскохозяйственных культур получили развитие представления о лабильном (активном, легкоминерализуемом) компоненте органического вещества почвы [5–7, 15, 17, 29, 30, 35–39]. В его составе стали выделять группу соединений, относимых к лабильным (подвижным) гумусовым веществам [6–8, 12, 15, 29]. В нашей стране это направление в химии гумусовых веществ получило активное развитие после работ Дьяконовой [14].

Лабильные гумусовые вещества (ЛГВ) представляют собой сложную совокупность относительно легко трансформируемых органических соединений почвы. Образуются они при разложении

и гумификации различных органических остатков, корневых выделений, продуктов автолиза и метаболизма почвенной биоты и их взаимодействия между собой. В состав ЛГВ входят новообразованные гумусовые кислоты, неспецифические органические соединения, в той или иной мере зрелые гуминовые и фульвокислоты, непрочно связанные с минеральной частью почвы. Эти вещества принимают непосредственное участие в динамичных почвенных процессах – участвуют в агрегировании почвенной массы, проявляют физиологическую активность по отношению к корневым системам растений и микроорганизмам, одними из первых подвергаются минерализации и непосредственно участвуют в формировании эффективного плодородия почвы [1, 2, 12, 15, 37].

Несмотря на это, состав и свойства ЛГВ до настоящего времени исследованы не так обстоятельно, как собственно гуминовые или фульвокислоты. Обычно исследователи ограничиваются определением общего содержания ЛГВ в почве [4, 9, 10], значительно реже дополнительно опреде-

ляют содержание лабильных гуминовых и фульвокислот и их характеристики [7].

Некоторые исследователи [1, 7, 25] отмечают, что именно ЛГВ в первую очередь подвергаются трансформации при вовлечении почв в пашню. Поэтому изучение состава, свойств ЛГВ и особенностей их трансформации при различном использовании почв имеет большое научное и практическое значение. Для изучения состава и свойств гумусовых веществ почвы применяются различные инструментальные физико-химические методы [13, 22, 26, 30, 32]. К одному из них относится метод термического анализа, использующийся для изучения гумусовых веществ почв и других природных объектов [3, 13, 16, 20–24, 32, 35, 36, 39]. Предлагается использовать этот метод и для количественного определения содержания органического углерода в почве [33].

С помощью термического анализа удалось установить двучленный характер строения гумусовых кислот и выделить в их составе центральную и периферическую части молекулы [13, 22–24]. Показано, что взаимодействие гумусовых веществ с гидроксидами металлов и кремниевой кислотой способствует формированию более термодинамически устойчивых соединений гумуса, являющихся формой стабилизации биофильных элементов (C, S, Ca, Mg, P, микроэлементы) [20, 28].

Совместное использование гранулоденситометрического фракционирования и термического анализа позволило разделить органическое вещество почвы на инертные и более активно обновляемые компоненты [19, 20, 31]. По данным Травниковой [19], активные формы органического вещества почвы разрушаются при температуре $\sim 300^\circ\text{C}$. Разрушение более инертных органических веществ происходит при $450\text{--}470$ и $650\text{--}770^\circ\text{C}$. Установлено, что доли активного и инертного органического вещества в неудобряемых дерново-подзолистых почвах составляют примерно 60/40. По мере увеличения степени удобрения это соотношение увеличивается от 65/35 на фоне НРК до 70/30 на фоне совместного внесения НРК и навоза. В черноземе эти величины составляют 70/30 без удобрений и 75/25 при внесении навоза.

Изучение термолабильной и термостабильной фракций органического вещества черноземов типичных различного землепользования с помощью двухстадийного пиролиза с последующим газохроматографическим разделением и масс-детекцией продуктов показало, что продукты пиролиза термолабильных компонентов преимущественно состоят из полисахаридов, представленных фуруролом и метилфуруролом [21]. При дефиците свежего органического вещества в их составе увеличивается доля фурурола. Термостабиль-

ное органическое вещество характеризуется более разнообразным компонентным составом. Кроме полисахаридов, в нем обнаружены ароматические азотсодержащие группы веществ, количество которых наибольшее в варианте бесценного пара.

Цель работы – изучить термические характеристики лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области в условиях разных ценозов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служил чернозем типичный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozem). Почвенные образцы отбирали в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина на целинном участке Стрелецкой степи из гумусово-аккумулятивного горизонта А. Образцы пахотного чернозема типичного отобрали на стационарном полевом опыте Курского НИИ АПП, заложенном в 1964 г. Изучали следующие варианты опыта: бесценная озимая пшеница без удобрений, бесценная кукуруза без удобрений, бесценный пар. Размер делянок 296 м^2 . В 1998 г. 2/3 участка пара было оставлено под бесценное парование, а 1/3 участка отведена под залежь. К моменту отбора образцов бесценные культуры возделывали 56 лет, столько же лет бесценному пару; участок, отведенный под залежь, просуществовал 23 года. Сроки и технология возделывания сельскохозяйственных культур в опыте являются типичными для Курской области. Согласно полученным ранее данным [11], в результате экстенсивного сельскохозяйственного использования органическая часть чернозема претерпела существенную трансформацию. Так, содержание органического углерода уменьшилось на 1.14–2.27% от его содержания в целинной почве (табл. 1).

Реакция среды черноземов нейтральная, при этом наименьшие значения $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.20–6.22 присущи целинному и залежному черноземам, в пахотных почвах значения $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ возрастают до 6.33–6.77. В целинном и залежном черноземах величина гидролитической кислотности составила 5.52 и 5.41 смоль(экв)/кг, в пахотных почвах она снижается до 3.35–5.12 смоль(экв)/кг. Содержание доступного K_2O в черноземе типичном варьирует в пределах 119.7–173.6 мг/кг и находится на высоком уровне. Содержание доступного P_2O_5 в целинном черноземе равно 58.6 мг/кг. В пахотных почвах его количество возросло в 1.9–3.0 раза, что обусловлено минерализацией органического вещества и переходом ортофосфатов в минеральные формы.

Почвенные образцы для получения препаратов ЛГВ отбирали в июне 2021 г. из слоя мощно-

Таблица 1. Влияние разных ценозов на свойства чернозема типичного

Вариант	рН _{H₂O}	С, %	Гидролитическая кислотность, смоль(экв)/кг	К ₂ O		P ₂ O ₅	
				мг/кг почвы			
Некосимая степь	6.20	4.72	5.52	181.0	58.6		
Бессменная озимая пшеница	6.33	3.58	5.12	173.6	147.2		
Бессменная кукуруза	6.77	3.21	3.35	119.7	113.3		
Бессменный пар	6.42	2.45	4.38	123.0	177.8		
Залежь	6.22	2.90	5.41	122.3	97.0		
НСР ₀₅	0.07	0.16	0.69	39.30	31.6		

стью 0–20 см в 5-кратной повторности методом конверта. Препараты ЛГВ для термического анализа выделяли из средних смешанных образцов. Каждый смешанный образец готовили из пяти индивидуальных. ЛГВ экстрагировали 0.1 М раствором NaOH при соотношении почва : раствор, равном 1 : 20, и суточном настаивании [8]. Полученную вытяжку центрифугировали при 8000 тыс. об./мин, обрабатывали катионитом КУ-23 в Н-форме и высушивали на водяной бане.

Термический анализ ЛГВ выполняли на приборе SDTQ600 фирмы Intertech в атмосфере осушенного воздуха при скорости продува 100 мл/мин, скорость поднятия температуры 10 град/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При интерпретации данных, полученных с помощью термического анализа, принимали, что при температуре $\approx 100^\circ\text{C}$ удаляется гигроскопическая вода и, возможно, разрушаются наиболее нестойкие органические соединения, при температуре до 400°C термодеструкции подвергается периферическая часть молекулы, состоящая из компонентов алифатической природы, а при температуре $>400^\circ\text{C}$ разрушается их ядерная часть, представленная бензоидными циклическими структурами [13, 22–24].

Согласно данным дифференциально-термогравиметрического анализа (ДТГА), на кривых ЛГВ имеется от 5 до 8 термических эффектов. В ходе первой реакции в интервале температур $59\text{--}64^\circ\text{C}$ удаляется гигроскопическая вода. Судя по потере массы, которая варьирует в пределах 4.36–6.34% (табл. 2), следует допустить, что при этом разрушается и часть наиболее нестойких органических соединений, входящих в состав ЛГВ. Потеря массы в результате первой термической реакции у ЛГВ чернозема под бессменной озимой пшеницей и кукурузой на 0.45–0.96% больше, чем у ЛГВ целинной почвы, а наибольшая (6.18%) присуща ЛГВ бессменной озимой пшеницы.

На кривой ДТГА ЛГВ **целинного чернозема** имеется пять термических реакций, связанных с тер-

модеструкцией входящих в состав ЛГВ органических веществ. Компоненты алифатического типа, участвующие в формировании ЛГВ целинного чернозема, представлены двумя группами неоднородных по термоустойчивости структур.

Среди них доминируют менее термоустойчивые компоненты, разрушающиеся в результате интенсивной термической реакции при 272°C с потерей массы 30.17%. На высокотемпературном крыле этого пика отмечается полностью не разрешившаяся термическая реакция при 303°C с потерей массы 19.33%, обусловленная деструкцией несколько более термоустойчивых веществ. Общая потеря массы при термодеструкции алифатических компонентов, формирующих ЛГВ целинного чернозема, равна 49.5%.

Более неоднородны по термоустойчивости бензоидные циклические структуры, участвующие в формировании ЛГВ. Наименее термоустойчивые циклические компоненты разрушаются в процессе слабовыраженной термической реакции при 461°C . При этом разрушается небольшая часть веществ, потеря массы составила только 5.28%. Несколько более термоустойчивые циклические структуры разрушаются при 523°C в результате средней по интенсивности термической реакции с потерей массы 13.20%. Основная часть бензоидных циклических компонентов разрушается в результате интенсивной термической реакции при 672°C с потерей массы 26.64%. Общая потеря массы при разрушении бензоидных циклических компонентов ЛГВ целинного чернозема составила 45.12%.

Для количественной оценки вклада циклических компонентов и алифатических структур в состав молекул гумусовых кислот предложен коэффициент Z , представляющий отношение потери массы в низкотемпературной области ($<400^\circ\text{C}$) к потере массы в высокотемпературном интервале ($>400^\circ\text{C}$) [22–24].

У ЛГВ целинного типичного чернозема величина коэффициента Z составила 1.10 (табл. 3) и свидетельствует о том, что в их составе алифати-

Таблица 2. Термогравиметрическая характеристика ЛГВ чернозема типичного различного использования (над чертой – максимальная температура эффекта, °С; под чертой – потеря массы, % от общей массы)

Вариант	Температурные диапазоны, °С						
	0–100	100–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800
Целина	<u>64</u> 5.38	<u>272</u> 30.17	<u>303</u> 19.33	<u>461</u> 5.28	<u>523</u> 13.20	<u>672</u> 26.64	–
Бессменная озимая пшеница	<u>59</u> 6.34	<u>282</u> 25.77	<u>313</u> 6.80	–	<u>561</u> 36.70	<u>667</u> 14.95	–
Бессменная кукуруза	<u>61</u> 6.09	<u>209</u> 2.82	<u>362</u> 4.14	<u>400</u> 1.04	<u>512</u> 31.54	<u>643</u> 4.31	–
Бессменный пар	<u>55</u> 5.83	<u>278</u> 40.66	–	–	<u>533</u> 9.99	<u>606</u> 39.73	<u>727</u> 3.79
Залежь, 23 года	<u>62</u> 6.18	<u>278</u> 41.41	–	<u>435–459</u> 8.87	<u>509</u> 6.43	<u>679</u> 4.08	–
					<u>596</u> 33.03		

Таблица 3. Соотношение алифатических и циклических структур в составе лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области

Вариант	Потеря массы, % от общей		Z
	<400°С	>400°С	
Целина	49.50	45.12	1.10
Бессменная озимая пшеница	42.01	51.65	0.81
Бессменная кукуруза	46.09	47.82	0.96
Бессменный пар	40.66	53.50	0.76
Залежь	41.41	52.41	0.79

ческие компоненты преобладают над бензоидными циклическими структурами.

Несколько иная картина отмечается на кривой ДТГА ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы, хотя здесь также присутствует пять термических реакций, связанных с разрушением органических соединений, входящих в состав ЛГВ.

Компоненты алифатического типа преимущественно разрушаются в результате интенсивной термической реакции при 282°С с потерей массы 25.77%. При этом на высокотемпературной ветви кривой ДТГА отмечается еще две неразрешившиеся термические реакции, выраженные в виде уступов при 313 и 375°С с потерей массы 6.80 и 9.44% соответственно. Это свидетельствует о присутствии в общей массе однородных по термостойкости алифатических соединений несколь-

ко более термоустойчивых компонентов, а также о том, что под влиянием бессменной озимой пшеницы алифатические компоненты ЛГВ стали более неоднородными по термостойкости по сравнению с ЛГВ целинного чернозема. Общая потеря массы при термодеструкции алифатических компонентов ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы составила 42.01%. Это на 7.49% меньше по сравнению с ЛГВ целинного чернозема.

Устойчивые циклические компоненты, входящие в состав ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы, преимущественно разрушаются в результате очень интенсивной термической реакции при 561°С с потерей массы 36.70%. В гораздо меньшем количестве в составе ЛГВ присутствуют более термоустойчивые структуры, разрушение которых происходит

в результате интенсивной термической реакции при 667°C с потерей массы 14.95%. Общая потеря массы при термодеструкции бензоидных циклических компонентов ЛГВ составила 51.65%, что на 6.53% больше по сравнению с ЛГВ целинного чернозема.

Коэффициент Z оказался равным 0.81 и свидетельствует о том, что в составе ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы бензоидные циклические компоненты преобладают над алифатическими структурами. Следовательно, бессменное возделывание озимой пшеницы, сопровождающееся изменением условий гумификации, способствует минерализации наиболее лабильных алифатических компонентов ЛГВ и накоплением в их составе устойчивых циклических структур.

При бессменном возделывании кукурузы произошла наиболее заметная дифференциация веществ, участвующих в формировании ЛГВ чернозема типичного по термоустойчивости. Об этом свидетельствует наличие на кривой ДТГА семи термических реакций, связанных с разрушением компонентов, входящих в состав ЛГВ.

Алифатические компоненты преимущественно разрушаются в результате интенсивной термической реакции при 283°C, потеря массы при этом составила 39.13%. Наряду с этим отмечаются еще две полностью не разрешившиеся термические реакции, выраженные в виде уступа на кривой ДТГА при 209°C с потерей массы 2.82% и при 362°C с потерей массы 4.14%. Общая потеря массы при термодеструкции алифатических компонентов ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием кукурузы составила 46.09%. Это на 4.08% больше по сравнению с ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы и на 3.41% меньше по сравнению с ЛГВ целинного чернозема.

Заметно дифференцированы по термоустойчивости и циклические структуры, входящие в состав ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием кукурузы. Очень незначительная их часть (всего 1.04%) разрушается при 400.3°C. Наибольшая потеря массы (31.54%) происходит в результате очень интенсивной термической реакции при 512°C. На высокотемпературном крыле этой термической реакции отмечается еще один полностью не разрешившийся и выраженный в виде уступа на кривой ДТГА термический эффект при 539°C с потерей массы 10.93%.

Наиболее термоустойчивые циклические компоненты, присутствующие в составе ЛГВ этого варианта, разрушаются при 643°C с потерей массы 4.31%. Общая потеря массы при термодеструкции бензоидных циклических структур ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием кукурузы составила 47.82%. Это на 3.83% меньше по сравнению с ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием

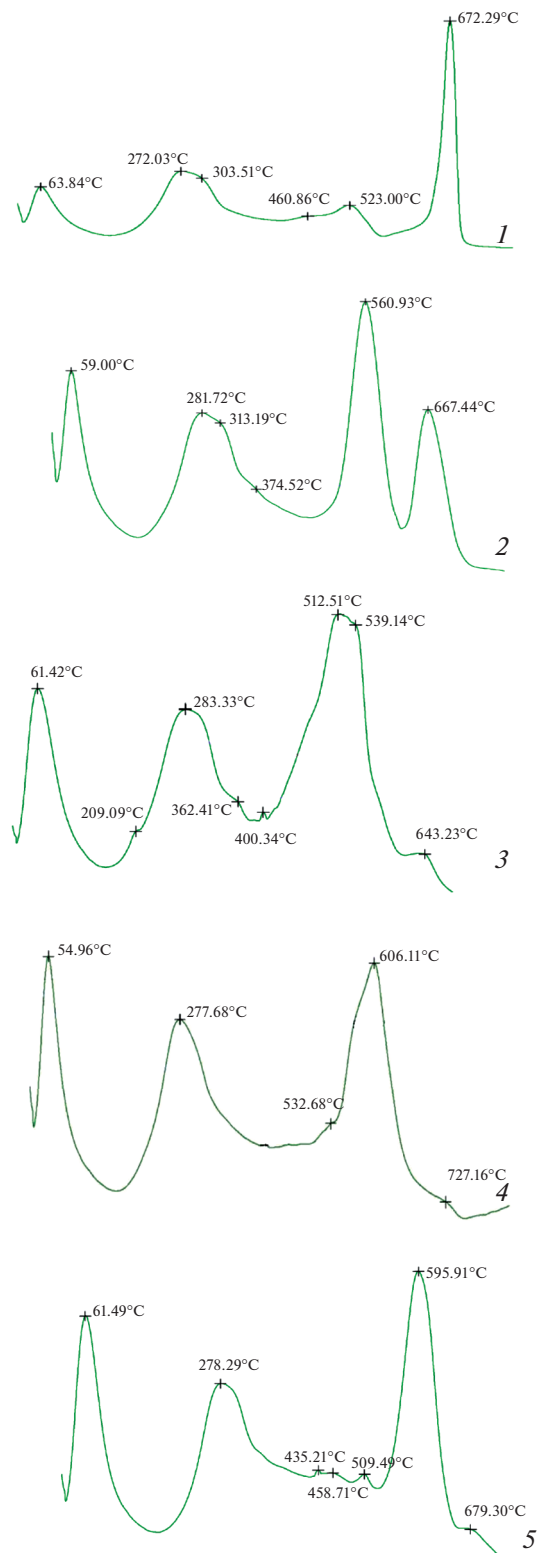


Рис. 1. Дифференциально-термогравиметрические кривые ЛГВ чернозема типичного: 1 – целина, 2 – бессменная озимая пшеница, 3 – бессменная кукуруза, 4 – бессменный пар, 5 – залежь.

ванием озимой пшеницы и на 2.70% больше по сравнению с ЛГВ целинного чернозема.

Коэффициент Z оказался равным 0.96 и свидетельствует о том, что в составе ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием кукурузы бензоидные циклические компоненты незначительно преобладают над алифатическими структурами.

Таким образом, по сравнению с ЛГВ целинного чернозема при бессменном возделывании озимой пшеницы и кукурузы в составе ЛГВ чернозема типичного возрастает дифференциация по термостойкости участвующих в их формировании алифатических компонентов, при этом под влиянием бессменной кукурузы усиливается дифференциация по термостойкости и бензоидных циклических структур. Судя по коэффициенту Z , в составе ЛГВ чернозема агроценозов начинают преобладать бензоидные циклические структуры. Изменение условий гумификации в черноземе агроценозов (масштабов и качества, ежегодно поступающих растительных остатков, условий аэрации) активизирует микробиологическую деятельность, что сопровождается минерализацией наиболее лабильных компонентов ЛГВ и накоплением в их составе устойчивых циклических структур.

Под влиянием бессменного пара вещественный состав ЛГВ чернозема типичного стал менее дифференцированным по компонентному составу по сравнению с ЛГВ целинного чернозема и чернозема с бессменным возделыванием культур, о чем можно судить по четырем термическим реакциям, проявляющимся на кривой ДТГА. Входящие в состав ЛГВ алифатические соединения представлены однородными по термостойкости структурами и разрушаются в результате одной интенсивной термической реакции при 278°C. Потеря массы при термодеструкции алифатических компонентов ЛГВ чернозема бессменного пара составила 40.66%. Это на 8.84% меньше по сравнению с ЛГВ целинного чернозема и на 1.35–5.43% меньше по сравнению с ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы и кукурузы.

Более дифференцированы по термостойкости входящие в состав ЛГВ бессменного пара бензоидные циклические структуры. Преобладающая их часть разрушается в результате интенсивной термической реакции при 606°C с потерей массы 39.73%. На крыльях этого термического пика имеется еще по одной не разрешившейся и выраженной в виде уступа термической реакции при 533 и 727°C с потерей массы 9.99 и 3.79% соответственно. Общая потеря массы при термодеструкции бензоидных циклических структур ЛГВ чернозема бессменного пара составила 53.50%. Это на 1.85–5.68% больше по сравнению с ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы и кукурузы и на 8.38% больше по сравнению с ЛГВ целинного чернозема.

Коэффициент Z оказался равным 0.76 и свидетельствует о том, что в составе ЛГВ чернозема бессменного пара бензоидные циклические компоненты отчетливо преобладают над алифатическими структурами. Таким образом, в условиях бессменного пара происходит активная минерализация лабильных алифатических компонентов ЛГВ, что сопровождается накоплением в их составе инертных бензоидных циклических структур. Наши данные согласуются с результатами, полученными ранее [3, 22], в которых показано, что в результате бессменного парования упрощается структура гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы с одновременным отбором термостабильных фрагментов в составе периферической и центральной части молекулы, при этом гумусовые кислоты приобретают наиболее термостабильную структуру.

При переводе бессменного пара в залежь компонентный состав ЛГВ усложняется, о чем свидетельствует наличие на кривой ДТГА шести термических связанных с термодеструкцией входящих в состав ЛГВ компонентов. Как и в случае ЛГВ чернозема бессменного пара алифатические компоненты ЛГВ чернозема залежи разрушаются в результате одной интенсивной термической реакции при 278°C. Потеря массы при термодеструкции алифатических компонентов ЛГВ чернозема залежи составила 41.41%, что всего лишь на 0.75% больше, нежели у ЛГВ чернозема бессменного пара.

Гораздо более дифференцированы по термостойкости бензоидные циклические структуры, участвующие в формировании вещественного состава ЛГВ чернозема залежи. В области 450°C разрушаются две группы циклических компонентов при 435 и 459°C с общей потерей массы 8.87%. Небольшое количество циклических структур (6.43%) разрушается в результате термической реакции при 509°C, представленной слабовыраженным пиком на кривой. Очень интенсивная термическая реакция при 596°C обусловлена термодеструкцией основной массы бензоидных циклических структур, потеря массы в результате этой реакции составила 33.03%. На высокотемпературном крыле этого пика проявляется еще одна полностью не разрешившаяся и выраженная в виде уступа термическая реакция разрушения циклических структур при 679°C с потерей массы 4.08%. Общая потеря массы при термодеструкции бензоидных циклических структур ЛГВ чернозема залежи составила 52.41%, что на 1.09% меньше, чем у ЛГВ чернозема бессменного пара.

Коэффициент Z равен 0.79, что не на много больше, нежели у ЛГВ чернозема бессменного пара и свидетельствует о преобладании в составе ЛГВ чернозема залежи бензоидных циклических структур над алифатическими компонентами.

Таким образом, перевод бессменного пара в залежь за истекший период (23 года) принципиальным образом не повлиял на компонентный состав ЛГВ чернозема типичного. Отмечается лишь тенденция к увеличению содержания в их составе структур алифатического типа. Наряду с этим в состав ЛГВ включаются новообразованные соединения, обогащенные циклическими структурами с невысокой термоустойчивостью.

Исходя из полученных данных можно предположить, что в интервале температур 100–200°C разрушаются наименее термоустойчивые фрагменты алифатической части ЛГВ, представленные углеводородными цепочками. Основная масса компонентов формирующих алифатическую часть ЛГВ разрушается вблизи 300°C. В интервале 300–400°C разрушаются более термоустойчивые структуры алифатической части ЛГВ, вероятно, включающие отдельные наименее термоустойчивые циклические компоненты.

В области 400–500°C разрушаются отдельные разобщенные слабтермоустойчивые циклические компоненты, в том числе, вероятно, изначально входившие в состав периферической части ЛГВ и не разрушившиеся при более низких температурах. В областях 500–600 и 600–700°C разрушается основная часть термоустойчивых циклических структур ЛГВ. При температуре >700°C термодеструкции подвергаются наиболее конденсированные и термоустойчивые циклические фрагменты ЛГВ, включающие, по-видимому, гетероциклические азотсодержащие соединения [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно данным термического анализа, ЛГВ чернозема типичного характеризуются неоднородным по термоустойчивости составом формирующих его компонентов. В ЛГВ целинного чернозема вещества алифатического типа преобладают над бензоидными циклическими структурами. Под бессменными культурами пахотного чернозема усиливаются минерализационные процессы, в результате чего увеличивается дифференциация по термоустойчивости компонентов, участвующих в формировании ЛГВ с преобладанием бензоидных циклических групп в их структуре.

Под влиянием бессменного пара протекает наиболее активная минерализация лабильных органических веществ, в результате алифатические компоненты становятся более однородными по термоустойчивости, а в составе ЛГВ начинают доминировать бензоидные циклические структуры.

В результате изменения условий гумусообразования вследствие перевода бессменного пара в залежь за 23 года не произошло радикального из-

менения компонентного состава ЛГВ. За счет включения в их состав новообразованных гумусовых веществ усиливается дифференциация циклических структур по термоустойчивости и проявляется тенденция к увеличению доли алифатических структур в ЛГВ. По-видимому, это обусловлено тем, что поступление свежих растительных остатков в выпаханный чернозем бессменного пара резко активизирует микробиологическую деятельность, и существенная часть остатков и продуктов гумификации минерализуется, а какая-то часть новообразованных гумусовых веществ, пройдя ряд превращений, включается в консервативные компоненты гумуса почвы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
2. *Артемьева З.С., Кириллова Н.П.* Роль продуктов органо-минерального взаимодействия в структурообразовании и гумусообразовании основных типов почв Центра Русской равнины // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. № 90. С. 73–95.
3. *Белопухов С.Л., Старых С.А., Курпьянов А.Н., Григорьева М.В.* Исследование качественного состава гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы методом термического анализа // Природообустройство. 2020. № 3. С. 36–45.
4. *Калужский А.Г., Масютенко Н.П., Масютенко М.Н.* Пространственная изменчивость содержания и состава лабильных гумусовых веществ в черноземе типичном в зависимости от экспозиции склона, агрогенных факторов и связь их с микробной биомассой // Вестник Курской ГСХА. 2013. № 4. С. 36–40.
5. *Кершенс М.* Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // Почвоведение. 1992. № 10. С. 122–131.
6. *Кирюшин В.И.* Агрономическое почвоведение. М.: КолосС, 2010. 687 с.
7. *Козут Б.М.* Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1998. № 7. С. 794–802.
8. *Козут Б.М., Булкина Л.Ю.* Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. 1987. № 4. С. 143–145.
9. *Кураченко Н.Л., Александрова С.В.* Подвижные гумусовые вещества в пространственной изменчивости агрегатного уровня структурной организации черноземов // Вестник КрасГАУ. 2012. № 8(71). С. 29–34.
10. *Лыкова Е.А., Мирошниченко Н.Н., Панасенко О.С., Сябрук О.П.* Лабильное органическое вещество как фактор мобилизации–иммобилизации микроэлементов в почве // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 1(50). С. 256–965.

11. Мамонтов В.Г., Артемьева 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.
12. Мамонтов В.Г., Афанасьев Р.А., Соколовская Е.Л. Лабильные гумусовые вещества – особая группа органических соединений чернозема обыкновенного // Плодородие. 2018. № 5(104). С. 15–19.
13. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. 335 с.
14. Рекомендации для исследования органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв / Состав. К.В. Дьяконова М.: ВАСХНИЛ, 1984. 96 с.
15. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
16. 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.
17. Титова Н.А., Козут Б.М. Трансформация органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Почвоведение и агрохимия. 1991. Т. 8. 154 с.
18. Тихова В.Д., Сартаков М.П. Термическая характеристика гуминовых кислот торфов среднего Приобья // Вестник Красноярского гос. аграрного ун-та. 2009. № 11. С. 26–29.
19. 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.
20. Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш. Продукты органо-минерального взаимодействия и устойчивость почв к деградации // Современные проблемы почвоведения. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2000. С. 356–368.
21. 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>
22. Черников В.А. Изменения гумусовых соединений почвы в длительном стационарном опыте ТСХА // Плодородие. 2002. № 4(7). С. 34–36.
23. Черников В.А., Кончиц В.А. Кинетика пиролиза фульвосоединений некоторых типов почв // Известия ТСХА. 2002. Вып. 1. С. 125–137.
24. Черников В.А., Кончиц В.А. Состав и свойства гуминовых кислот чернозема различной степени дисперсности // Почвоведение. 1978. № 12. С. 84–88.
25. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2001. 216 с.
26. Чуков С.Н., Лодыгин Е.Д., Абакумов Е.В. Использование ¹³C ЯМР-спектроскопии в исследовании органического вещества почв (обзор) // Почвоведение. 2018. № 8. С. 952–964.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X18080026>
27. Шаймухаметов М.Ш., Титова Н.А., Травникова Л.С., Лабинец Е.М. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131–141.
28. Шаймухаметов М.Ш., Шурыгина Е.А. Термографическая и ИК-спектроскопическая характеристика продуктов взаимодействия гуминовых кислот и гидроокисями железа и алюминия и кремнекислотой // Почвоведение. 1980. № 4. С. 59–72.
29. Шевцова Л.К. Программа и методы исследования гумусового состояния почв в длительных опытах геосети, реперных участках и полигонах агроэкологического мониторинга // Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество почв. М.: ВНИИА, 2010. С. 309–350.
30. Шевцова Л.К., Черников В.А., Сычев В.Г., Беличенко М.В., Рухович О.В., Иванова О.И. Влияние длительного применения удобрений на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот основных типов почв. Сообщение 1 // Агрохимия. 2019. № 10. С. 3–15.
31. 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.2021.105403>
32. Giovanela M., Crespo J.S., Antunes M., Adametti D.S., Fernandes A.N., Barison A., daSilva C.W.P., Motelica-Heino R.G.M. Chemical and spectroscopic characterization of humic acids extracted from the bottom sediments of Brazilian subtropical microbasin // J. Molecular Structure. 2010. V. 981(1–3). P. 111–119.
33. 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>
34. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. V. 528. P. 60–68.
35. Lützw, M.V., 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>
36. Pallasser R., Minasny B., McBratney A.B. Soil carbon determination by thermogravimetrics // PeerJ. 2013. P. 1–15. <https://peerj.com/articles/6.pdf>
37. Salnikov E., Cakmak D., Rahimgdieva S. Soil organic matter stability as affected by land management in Steppe Ecosystem // Intech J. 2013. Ch. 10. P. 269–310.
<https://doi.org/10.5772/53557>
38. Siewert C., Demyan M.S., Kučerik J. Interrelations between soil respiration and its thermal stability // J. Thermal Analysis Calorimetry. 2012. V. 110(1). P. 413–419.
<https://doi.org/10.1007/s10973-011-2099-z>
39. Wander M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function // Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca: CRC Press, 2004. P. 67–102.

Influence of Different Uses on Thermal Characteristics of Labile Humic Substances of Chernozem Typical Kursk Region

V. A. Krylov^{1, *} and V. G. Mamontov¹

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

*e-mail: kryloff.vadim2015@yandex.ru

The study of labile humic substances of chernozem of typical various uses (Kursk region) using the thermal method showed that they have a complex component composition and consist of aliphatic and cyclic structures that are heterogeneous in terms of thermal stability. Judging by the coefficient Z (the ratio of weight loss in the low-temperature region (<400°C) to weight loss in the high-temperature region (>400°C)) equal to 1.10, in the composition of labile humic substances of virgin chernozem, aliphatic compounds prevail over benzoic compounds, cyclical structures. Under the influence of permanent cultivation of winter wheat and corn, the mineralization of the aliphatic part of labile humic substances increases, and the Z coefficient decreases to 0.81–0.96. The most intense mineralization of aliphatic fragments of labile humic substances occurs under the influence of permanent vapor, where the Z coefficient decreases to 0.76, and inert cyclic components clearly dominate in labile humic substances. 23 years after the transfer of permanent steam to the deposit, the component composition of labile humic substances of typical chernozem did not undergo fundamental changes, only a tendency towards an increase in the role of aliphatic structures is noted.

Keywords: thermal analysis, aliphatic compounds, benzoic cyclic structures, Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)