

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛАБИЛЬНЫХ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. В. А. Крылов^{а, *}, В. Г. Мамонтов^а, В. И. Лазарев^б, О. В. Рыжков^с

^аРоссийский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434 Россия

^бКурский ФАНЦ, пос. 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: kryloff.vadim2015@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.01.2022 г.

После доработки 16.02.2022 г.

Принята к публикации 24.02.2022 г.

Изучен элементный состав лабильных гумусовых веществ, переходящих в непосредственно 0.1 М NaOH вытяжку, чернозема типичного, находящегося под различными ценозами. Судя по величине отношения Н : С, изменяющейся в пределах 1.55–1.91, в их составе алифатические структуры преобладают над циклическими компонентами. Под влиянием агрогенного воздействия развиваются процессы деметилирования, дегидрогенизации и окисления лабильных гумусовых веществ чернозема. В результате лабильные гумусовые вещества теряют алифатические компоненты и обогащаются окисленными азотсодержащими циклическими структурами. Интенсивность данного процесса увеличивается в ряду бессменная озимая пшеница > бессменная кукуруза > бессменный пар. При этом лабильные гумусовые вещества чернозема бессменного пара являются наименее энергоемкими соединениями, судя по значениям теплоты сгорания, найденным на основании данных элементного анализа. За 23 года, прошедших после перевода бессменного пара в залежь (представлена злаково-разнотравной ассоциацией), в элементном составе лабильных гумусовых веществ чернозема типичного не произошло существенных изменений, отмечается лишь тенденция к обогащению их новообразованными алифатическими азотсодержащими восстановленными и более энергоемкими соединениями.

Ключевые слова: теплота сгорания органического вещества, степень окисленности гумусовых веществ, графико-статистический анализ, *Нарліс Чернозем*

DOI: 10.31857/S0032180X22080081

ВВЕДЕНИЕ

Большое содержание гумуса – характерный признак черноземов, во многом обуславливающий их высокий уровень плодородия [18, 28, 32, 41]. Не случайно черноземная зона является важнейшим сельскохозяйственным регионом страны. Именно здесь сосредоточено более половины пахотных угодий и производится около двух третей всей сельскохозяйственной продукции [40].

Однако за длительный период интенсивного использования в сельскохозяйственном производстве черноземы во многом утратили изначально высокий уровень плодородия в значительной степени вследствие уменьшения содержания гумуса [10, 11, 26, 41]. Потери гумуса в пахотных черноземах по сравнению с целинными почвами обычно составляют 20–40%, хотя могут достигать

40–60% [10, 24, 26, 41]. Обусловлены они уменьшением в 2–8 раз количества поступающих в пахотные почвы растительных остатков по сравнению с целинными аналогами, усилением процессов минерализации вследствие активизации микробиологической и ферментативной активности, эрозии и дефляции из-за механической обработки почвы особенно в паровых полях [10, 17, 20, 32, 33, 42]. Одна из главных причин дегумификации – разрушение почвенной структуры [16], поскольку до 80% органического углерода находится в составе макроагрегатов [48].

Под влиянием агрогенного воздействия изменяется не только содержание гумуса, но и состав формирующих его компонентов, в том числе лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) [11, 22]. ЛГВ являются динамичным компонентом гумуса почвы, прочно связанным с ее минеральной частью

и относительно легко доступным микроорганизмам, играющим важную роль в проявлении эффективного плодородия почв и чутко реагирующим на изменение условий почвообразования. Поэтому изучение состава и свойств ЛГВ при различном агрогенном воздействии имеет большое теоретическое и практическое значение.

Важнейшей характеристикой органических соединений почвы, в том числе гумусовых веществ, является элементный состав. В частности, содержание углерода 36–61% и азота 3–6% входит в перечень обязательных показателей при отнесении органических соединений к классу гумусовых кислот [30].

Элементный состав является традиционным показателем, используемым при характеристике и сравнительной оценке гумусовых кислот почв разных типов [8, 18, 27, 37, 49]. Элементный состав гумусовых кислот и их фракций может служить основой для углубленной генетической и экологической характеристики почв, для прогностических целей и выявления структурных особенностей гумусовых кислот [3, 19, 27, 31, 37, 43, 49].

Данные элементного анализа служат для отработки методики экстрагирования гумусовых кислот из почвы. Показано [34], что в препаратах гуминовых кислот при их последовательном экстрагировании из почвы от экстракции к экстракции происходит уменьшение содержания углерода, увеличиваются отношение Н : С и доля алифатических фрагментов, уменьшается количество ароматических и карбоксильных групп, увеличиваются средние величины молекулярных масс. При этом определяющий вклад в структурно-групповой и молекулярно-массовый состав среднего образца гуминовых кислот вносит первая экстракция. Установлено, что экстрагирование гуминовых кислот из минеральных горизонтов чернозема в атмосфере азота нецелесообразно, тогда как в случае дерново-подзолистых почв этот прием следует использовать, особенно если в дальнейшем предполагается изучать реакции окисления гуминовых кислот [9].

Не случайно к настоящему времени получен большой объем информации, отражающей особенности элементного состава гуминовых кислот и фульвокислот не только целинных и пахотных почв, но и других природных объектов [4, 6, 8, 18, 21, 27, 31, 37–39, 43, 44, 47, 49]. Особую значимость данные элементного состава приобретают при оценке характера и направленности трансформации компонентов гумуса под влиянием агрогенного воздействия. В частности, установлено, что элементный состав гуминовых кислот различается не только в зональном ряду, но и в пределах каждого типа почвы в зависимости от примененной системы удобрения. Под влиянием минераль-

ных систем удобрения формируются неустойчивые, обогащенные алифатическими компонентами гумусовые вещества, которые быстро разлагаются, не достигая зрелых, устойчивых форм [37, 38].

Изучению элементного состава ЛГВ или их отдельных компонентов посвящено ограниченное количество работ [14, 23]. Поэтому в задачу наших исследований входило исследование влияния различного землепользования на элементный состав ЛГВ чернозема типичного Курской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служил чернозем типичный: AU1–AU2–AU3ca–AU4ca–BCAmc–BCca–Cca. Название почвы по WRB (2014) *haplic Chernozem (Loamic, Pachic)*, согласно КиДПР (2004) – чернозем миграционно-мицелярный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном лёссовидном суглинке. Почвенные образцы отбирали в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина на участке целинной некосимой степи из гумусово-аккумулятивного горизонта А чернозема. Образцы пахотного чернозема типичного отобрали на стационарном полевом опыте Курского НИИ АПП, заложенном в 1964 г. Изучали следующие варианты опыта: бессменная озимая пшеница без удобрений, бессменная кукуруза без удобрений, бессменный пар. Размер делянок – 296 м². В 1998 г. 2/3 участка пара было оставлено под бессменное парование, а 1/3 участка отведена под залежь. К моменту отбора почвенных образцов бессменные культуры возделывались 56 лет, столько же лет бессменному пару; участок, отведенный под залежь, просуществовал 23 года. Сроки и технология возделывания сельскохозяйственных культур в опыте были типичными для Курской области.

Свойства почв этих объектов подробно изучены, данные опубликованы [12, 24, 35]. Содержание илистой фракции составило 18.4–22.9%, почвы характеризуются нейтральной реакцией среды рН_{н₂о} 6.20–6.77, величина гидролитической кислотности 3.35–5.52 смоль(экв)/кг, содержание С_{орг} – 2.79–5.72%, N – 0.23–0.48%, Са_{обм} – 48.5–55.2 смоль(экв)/кг, доступных К₂O и P₂O₅ – 119.7–181.0 и 58.6–177.8 мг/кг почвы.

Индивидуальные почвенные образцы для получения препаратов ЛГВ отбирали в июне 2021 г. из слоя мощностью 0–20 см в 5-кратной повторности методом конверта. Для получения препаратов ЛГВ использовали смешанные образцы, составленные из индивидуальных почвенных образцов. ЛГВ экстрагировали из смешанных образцов 0.1 М раствором NaOH при соотношении почва : раствор, равном 1 : 20, и суточном настаивании [13]. Полученную вытяжку центрифугировали при 8000 тыс. об./мин, обрабатывали

Таблица 1. Элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного при различном землепользовании, $M \pm m_{0.5}$ (среднее \pm доверительный интервал), мас. %

Вариант	Гигроскопическая влажность, %	Зольность, %	С	Н	N	O
Целина	5.18 \pm 0.89	7.32 \pm 0.51	42.63 \pm 0.89	6.84 \pm 0.76	3.49 \pm 0.51	47.04 \pm 0.25
Бессменная озимая пшеница	6.14 \pm 1.40	6.30 \pm 1.91	40.22 \pm 0.38	6.14 \pm 0.64	4.68 \pm 0.76	48.96 \pm 0.13
Бессменная кукуруза	5.95 \pm 1.65	6.85 \pm 0.64	41.17 \pm 0.89	5.94 \pm 0.25	4.95 \pm 0.25	47.94 \pm 0.38
Бессменный пар	5.53 \pm 0.64	6.25 \pm 0.89	39.97 \pm 0.76	5.21 \pm 0.38	4.07 \pm 0.76	50.75 \pm 0.38
Залежь	5.94 \pm 1.14	7.53 \pm 1.40	39.88 \pm 0.51	5.45 \pm 0.51	4.09 \pm 0.64	50.58 \pm 0.76

Таблица 2. Влияние бессменной культуры, пара и залежи на элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области, ат. %

Вариант	С	Н	N	O	Н : С	O : С	С : N	ω
Целина	26.3	50.1	1.8	21.8	1.91	0.83	14.6	-0.25
Бессменная озимая пшеница	26.1	47.4	2.6	23.9	1.82	0.92	10.0	+0.02
Бессменная кукуруза	27.1	46.4	2.8	23.7	1.71	0.88	9.7	+0.04
Бессменный пар	27.8	43.2	2.4	26.6	1.55	0.96	11.6	+0.36
Залежь	27.3	44.3	2.4	26.0	1.62	0.95	11.4	+0.28

катионитом КУ-23 в Н-форме и высушивали на водяной бане. В образцах определяли гигроскопическую влагу высушиванием в эксикаторе над P_2O_5 , зольность весовым методом после сухого сжигания, содержание С, Н, N на автоматическом анализаторе CHNS-varioMicrocube, содержание O находили по разности, степень окисленности и теплоту сгорания по эмпирическим формулам [1, 27]. Теплоту сгорания рассчитывали по элементному составу ЛГВ, используя формулу: $Q = 90[C] + 34.4[H] - 50(0.84[O] - 4[N])$ [1, 27], где Q – теплота сгорания, кДж/г; [C], [H], [O], [N] – содержание элемента в препарате, мас. %. Математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову и с помощью программы R-Studio.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным данным, больше всего ЛГВ содержат кислорода, содержание которого варьирует в пределах 47.04–50.75 мас. %. Вторым по значимости элементом является углерод, на который приходится 39.88–42.63 мас. %. Содержание водорода составило 5.21–6.84 мас. %, а азота – 3.49–4.95 мас. % (табл. 1).

Такой элементный состав характерен для гумусовых веществ почвы. Об этом можно судить на основании данных работы [47], авторы которой, обобщив результаты анализов 410 образцов гуминовых кислот и 214 образцов фульвокислот, полученных из разных источников, установили, что содержание основных химических элементов в гумусовых кислотах почв колеблется в следую-

щих пределах: С – 37.18–64.1%, Н – 1.64–8.0%, N – 0.50–7.00%, O – 27.1–51.98%. Авторы отмечают, что в природе существует оптимальный состав гуминовых веществ. Близкие результаты приводятся в работе Перминовой [31].

Согласно полученным данным, ЛГВ целинного чернозема по сравнению с таковыми почв агроценозов содержат больше углерода и водорода на 1.46–2.66 и 0.7–1.63 мас. % соответственно. В то же время у них меньше содержание кислорода и азота соответственно на 0.9–3.71 и 0.58–1.46 мас. %.

Считается, что использование данных элементного состава гумусовых веществ в массовых (весовых) процентах не позволяет получить правильное и полное представление о роли отдельных элементов в построении их молекул и о тех изменениях, которые происходят с гумусовыми веществами под воздействием природных и антропогенных факторов. Истинное представление можно получить, используя при интерпретации данных элементного анализа атомные проценты, которые показывают число атомов данного элемента в процентах к общему числу атомов в молекуле вещества [27]. Элементный состав ЛГВ чернозема типичного в атомных процентах представлен в табл. 2.

Согласно полученным данным, в элементном составе ЛГВ целинного чернозема преобладает водород, на долю которого приходится 50.1 ат. %. Это согласуется с ранее полученными данными, согласно которым водород преобладает в элементном составе ЛГВ, а также составе лабильных

гуминовых кислот и фульвокислот, являющихся важнейшими компонентами ЛГВ [11, 23]. Следующим по значимости элементом является углерод, содержание которого составило 26.3 ат. %, содержание кислорода равно 21.8 ат. %, меньше всего содержится азота — 1.8 ат. %. Судя по величине отношения Н : С и степени окисленности, равным 1.91 и -0.25 соответственно, в составе ЛГВ целинного чернозема типичного преобладают восстановленные алифатические соединения. Величина отношения С : N равна 14.6 и, согласно существующим критериям [29], ЛГВ целинного чернозема характеризуются очень низкой обогащенностью азотом.

В результате бессменного возделывания озимой пшеницы содержание углерода в ЛГВ практически не изменилось, тогда как содержание водорода уменьшилось на 2.7 ат. %, а количество кислорода и азота возросло на 2.1 и 0.8 ат. % соответственно. Это отразилось на величинах атомных отношений. Отношение Н : С уменьшилось от 1.91 до 1.82, а С : N с 14.6 до 10.0, тогда как отношение О : С увеличилось от 0.83 до 0.92.

Все это свидетельствует о том, что под влиянием бессменного возделывания озимой пшеницы происходит изменение элементного состава ЛГВ, проявляющееся в увеличении в их молекулах доли окисленных азотсодержащих циклических структур. Об этом можно судить по уменьшению отношения Н : С, изменению обогащенности ЛГВ азотом с очень низкой до средней и степени окисленности от -0.25 до 0.02. Подобный характер трансформации ЛГВ, скорее всего, обусловлен изменившимися условиями гумификации и происходит как в результате соответствующих изменений самих молекул ЛГВ, так и за счет включения в их состав качественно иных новообразованных соединений.

Под влиянием возделывания бессменной кукурузы содержание водорода в составе ЛГВ чернозема типичного уменьшилось на 3.7 ат. %, в то время как количество остальных элементов возросло, углерода на 0.8 ат. %, азота — на 1.0 ат. %, кислорода — на 1.9 ат. %. В связи с этим изменились и величины атомных отношений. Отношения Н : С и С : N уменьшились до 1.71 и 9.7 соответственно, а величина отношения О : С несколько возросла и составила 0.88. Степень окисленности ЛГВ достигла 0.04 при средней обогащенности ЛГВ азотом.

Полученные данные показывают, что под влиянием бессменной кукурузы трансформация элементного состава ЛГВ чернозема типичного такая же, как под влиянием бессменной озимой пшеницы, но протекает интенсивнее, видимо, это обусловлено технологией ее возделывания, и проявляется в накоплении в составе ЛГВ окисленных азотсодержащих циклических структур.

Наиболее заметные изменения в элементном составе ЛГВ чернозема типичного произошли под влиянием бессменного пара. Содержание водорода уменьшилось на 6.9 ат. %, а углерода возросло на 1.5 ат. %, азота — на 0.6 ат. %, кислорода — на 4.8 ат. %. Эти изменения отразились на величинах атомных отношений. По сравнению с ЛГВ целинного чернозема типичного величины атомных отношений Н : С и С : N у ЛГВ чернозема бессменного пара уменьшились с 1.91 до 1.55 и с 14.6 до 11.6 соответственно, тогда как величина отношения О : С увеличилась с 0.83 до 0.96. При этом резко изменилась степень окисленности ЛГВ, с -0.25 до 0.36, а обогащенность азотом достигла низкого уровня.

По сравнению с ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием сельскохозяйственных культур ЛГВ чернозема бессменного пара содержат больше углерода и кислорода на 0.7–1.7 и 2.7–2.9 ат. % соответственно и меньше водорода и азота на 3.2–4.2 и 0.2–0.4 ат. %. Для них присущи более широкие отношения О : С и С : N, более узкое отношение Н : С и большая степень окисленности.

Таким образом, ЛГВ чернозема бессменного пара являются более окисленными и обедненными азотом соединениями, нежели ЛГВ чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы и кукурузы. Поскольку в бессменный пар не поступают свежие растительные остатки и отсутствует пополнение фонда ЛГВ новообразованными гумусовыми веществами, то в их составе накапливаются преимущественно наиболее устойчивые, в том числе гетероциклические азотсодержащие соединения [35].

В результате перевода бессменного пара в залежь за прошедшие 23 года не произошло существенного изменения элементного состава ЛГВ. Можно отметить лишь тенденцию к обогащению ЛГВ новообразованными алифатическими азотсодержащими недоокисленными соединениями. На это указывает изменение атомных отношений Н : С от 1.55 до 1.62, С : N от 11.6 до 11.4 и степени окисленности от 0.36 до 0.28. Оно обусловлено тем, что при поступлении свежих растительных остатков в максимально выпаханную почву происходит резкая активизация микробиологических процессов [15]. При этом утилизации микроорганизмами подвергаются не только свежие растительные остатки, но и часть инертного гумуса [45].

Может иметь место и механизм, названный Фокиным [33], “матричной достройкой гумуса”, когда уже сформированный почвенный гумус как бы регулирует свое не только количество, но и качественное воспроизводство, действуя как своеобразная матрица. Это явление было отнесено к способности системы гуминовых веществ почвы к саморегуляции и самовосстановлению [7]. В пользу

данного предположения свидетельствуют данные о том, что в первые 17 лет залежи ежегодное приращение $S_{\text{орг}}$ составляло $\sim 0.05\%$ [36].

Применение метода главных компонент для анализа данных по элементному составу ЛГВ, выраженных в ат. %, показало, что наибольшее отличие между образцами наблюдается по координатам СНО, то есть 72.5% отличий между образцами, объясняется отличиями в содержании водорода, углерода, в меньшей степени кислорода (рис. 1).

Отличие в содержании азота в первую очередь выделило группу почв, которые находятся в сельскохозяйственном обороте. По основной главной компоненте явно выделяются три кластера, залежь + пар, кукуруза + пшеница и целина. Стоит отметить, что элементный состав ЛГВ залежного чернозема не претерпел значительных изменений и все еще близок к элементному составу ЛГВ чернозема бессменного пара.

Гумус, в том числе ЛГВ – основной источник энергии для протекающих в почве превращений органических и минеральных соединений, биосинтетических и органо-минеральных реакций, жизнедеятельности микрофлоры [1, 32]. Энергетический потенциал ЛГВ можно оценить по теплоте сгорания. Расчет теплоты сгорания ЛГВ на основании результатов элементного анализа приведен в табл. 3.

По имеющимся данным теплота сгорания гуминовых кислот почв разных типов варьирует в интервале 18.30–22.15 кДж/г, фульвокислот – 6.36–11.68 кДж/г [1]. Теплота сгорания ЛГВ исследуемых почв находится в интервале 9.97–11.79 кДж/г, она меньше, чем у гуминовых кислот, и сопоставима или превосходит теплоту сгорания фульвокислот. Отсюда следует, что ЛГВ играют немаловажную роль в энергетическом балансе почвы.

Теплота сгорания ЛГВ целинного чернозема равна 11.40 кДж/г. Под влиянием бессменных озимой пшеницы и пара формируются ЛГВ с более низкой теплотой сгорания, на 0.36 и 1.43 кДж/г соответственно. В то же время под влиянием бессменной кукурузы формируются ЛГВ с большей величиной теплоты сгорания, которая на 0.39 и 0.75 кДж/г больше, чем теплота сгорания ЛГВ целинного чернозема и чернозема с бессменным возделыванием озимой пшеницы. По-видимому, в варианте с бессменным возделыванием кукурузы складываются несколько иные условия гумусообразования, вследствие чего в состав ЛГВ включа-

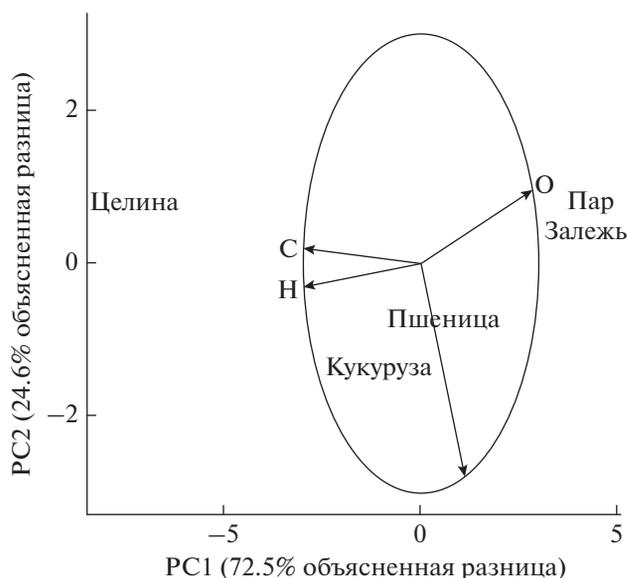


Рис. 1. Диаграмма распределения элементного состава ЛГВ чернозема типичного (ат. %), метод главных компонент.

ются органические соединения с большим энергетическим потенциалом.

При переводе бессменного пара в залежь теплота сгорания ЛГВ очень незначительно, всего на 0.07 кДж/г, увеличивается, что обусловлено включением в их состав новообразованных гумусовых веществ. Незначительное изменение теплоты сгорания ЛГВ чернозема залежи по сравнению с ЛГВ чернозема бессменного пара подтверждает сказанное ранее, что восстановление содержания гумуса и, вероятно, свойств, присущих его компонентам в выпаханых почвах, происходит очень медленно.

Одним из способов интерпретации данных элементного состава гумусовых веществ является графико-статистический анализ по Д. Ван Кревелену с использованием диаграммы атомных соотношений в координатах $H : C - O : C$ [6, 8, 21]. Считается, что этот анализ позволяет установить природу изменений гумусовых веществ под влиянием различных факторов [30, 37]. Результаты графико-статистического анализа ЛГВ представлены на рис. 2.

Согласно полученным данным, по сравнению с ЛГВ целинного чернозема под влиянием бессменных озимой пшеницы, кукурузы и пара ЛГВ чернозема типичного подвергаются процессам деметилирования и окисления, дополняемых процессом дегидрогенизации. При этом при переходе от ЛГВ

Таблица 3. Величина теплоты сгорания лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области при различном землепользовании, кДж/г

Целина	Бессменная озимая пшеница	Бессменная кукуруза	Пар	Залежь
11.40	11.04	11.79	9.97	10.04

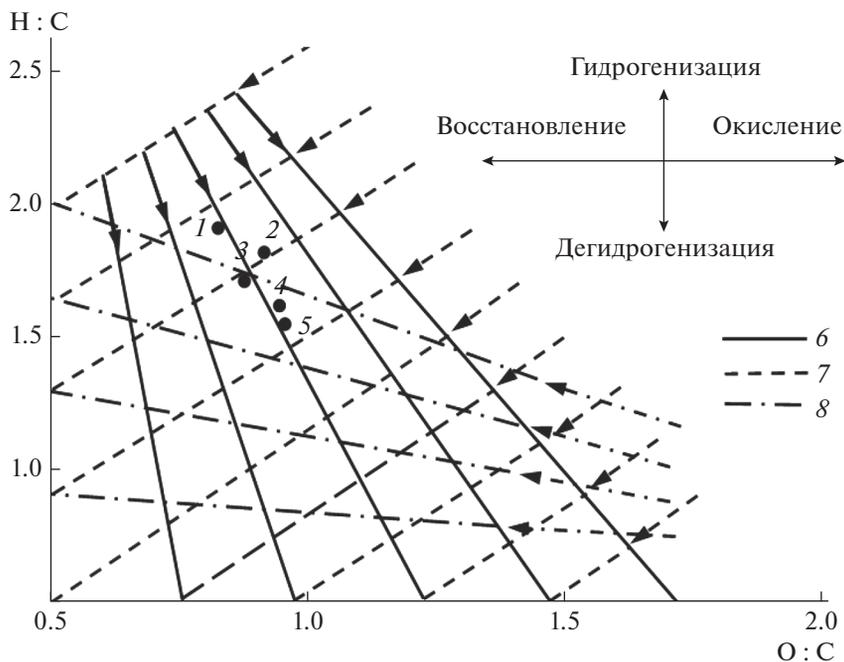


Рис. 2. Диаграмма атомных отношений Н : С—О : С (по Д. Ван Кревелену): 1 – целина, 2 – бессменная озимая пшеница без удобрений, 3 – бессменная кукуруза без удобрений, 4 – залежь, 5 – бессменный пар; направления: 6 – деметилирования, потеря CH_3 , 7 – дегидратации, 8 – декарбосилирования.

чернозема с бессменной озимой пшеницей к ЛГВ чернозема с бессменной кукурузой развиваются процессы дегидратации и дегидрогенизации, что свидетельствует о наличии качественных различий между компонентами, входящими в состав ЛГВ этих вариантов. После замены бессменного пара залежью трансформация ЛГВ чернозема типичного, по-видимому, обусловлена процессами

метилирования, гидрогенизации и слабовыраженного восстановления.

В работе использовали подход, предложенный Глебовой [5], согласно которому строится диаграмма, на которой по оси ординат откладываются значения отношения Н : С, а по оси абсцисс вместо отношения О : С откладываются значения степени окисленности (рис. 3). Таким способом показано, что под влиянием органических и минеральных удобрений формируются гуминовые кислоты с большим содержанием водорода и меньшим содержанием углерода, менее окисленные и химически зрелые [38].

На диаграмме отчетливо видно, что относительно расположения ЛГВ целинного чернозема область размещения ЛГВ черноземов, подвергшихся агрогенному воздействию, расположена ниже и сдвинута вправо. Это свидетельствует о том, что под влиянием бессменных культур и пара ЛГВ теряют метоксильные группировки, обогащаются карбоксильными группами и подвергаются окислению. Аналогичные данные приводятся и в литературе. Установлено, что гуминовые кислоты пахотных почв, в том числе лабильные гуминовые кислоты, по сравнению с гуминовыми кислотами целинной почвы характеризуются большим содержанием карбоксильных групп и имеют более высокую степень окисленности [2].

В литературе приводятся и противоположные данные, согласно которым в гуминовых кислотах

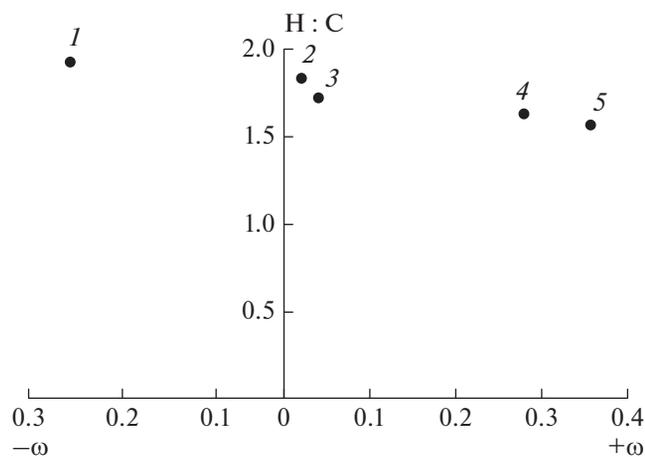


Рис. 3. Диаграмма атомных отношений Н : С и степени окисленности: 1 – целина, 2 – бессменная озимая пшеница без удобрений, 3 – бессменная кукуруза без удобрений, 4 – залежь, 5 – бессменный пар.

пахотных почв по сравнению с целинными аналогами количество карбоксильных групп и степень окисленности уменьшаются [25]. Однако с учетом дефицита свежих растительных остатков и изменением водно-воздушного режима, что характерно для пахотных почв, следует признать более реальной окислительную деструкцию гумусовых веществ почв агроценозов. Это неоднократно отмечалось в литературе [2, 7, 10, 18, 27, 32, 33, 42].

При этом перевод бесменного пара в залежь за прошедшее время радикальным образом не повлиял на молекулярную структуру ЛГВ, отмечается лишь некоторое увеличение в их составе доли алифатических компонентов, обогащенных водородом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под влиянием бесменных культур и пара изменения в элементном составе ЛГВ обусловлены увеличением в них доли окисленных азотсодержащих циклических структур. Интенсивность трансформации ЛГВ увеличивается в ряду бесменная озимая пшеница > бесменная кукуруза > бесменный пар. ЛГВ чернозема бесменного пара являются более окисленными, обедненными азотом и менее энергоемкими соединениями, нежели ЛГВ чернозема с бесменным возделыванием кукурузы и озимой пшеницы.

В результате перевода бесменного пара в залежь за прошедшие 23 года не произошло существенного изменения элементного состава ЛГВ, отмечается лишь тенденция к обогащению их новообразованными алифатическими азотсодержащими восстановленными соединениями.

Трансформация ЛГВ в условиях экстенсивного использования чернозема обусловлена процессами деметилирования, дегидрогенизации и окисления. При переводе бесменного пара в залежь формирование ЛГВ сопряжено с процессами метилирования, гидрогенизации и слабовыраженного восстановления.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев С.А. Энергетика почвообразования. Новосибирск, 1985. 27 с.
2. Багаутдинов Ф.Я., Хазиев Ф.Х. Состав, свойства гуминовых кислот целинных и пахотных почв и новообразованных гумусовых веществ // Научные доклады Высшей школы. Биологические науки. 1991. № 10. С. 136–141.
3. Багаутдинова Л.В., Рюмин А.Г., Кечайкина И.О., Чуков С.Н. Трансформация гуминовых кислот пахотных почв // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. 2012. Сер. 3. Вып. 2. С. 92–108.
4. Бажина Н.Л., Захарова Е.С., Дергачева М.И. Сравнительный анализ гумусовой составляющей тундровых почв Тувы и горного Алтая, сформировавшихся в одинаковых экологических условиях // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. 2019. Т. 43. № 4. С. 337–343. <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-4-337-347>
5. Глебова Г.И., Орлов Д.С. Элементный состав и коэффициенты экстинкции гематомелановых кислот // Научные доклады Высшей школы. Биологические науки. 1980. № 9. С. 95–107.
6. Горбов С.Н. Генезис, классификация, экологическая роль городских почв юга Европейской части России (на примере Ростовской агломерации). Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2018. 49 с.
7. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв: поведение в меняющейся обстановке при антропогенных воздействиях // Методы исследования органического вещества почв. М., 2005. С. 252–274.
8. Дергачева М.И., Некрасова М.А., Васильева Д.И., Фадеева В.И. Элементный состав гуминовых кислот целинных черноземов разных условий формирования // Вестник ОГУ. 2012. № 10(146). С. 87–92.
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. Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С., Орлов Д.С., Титлянова А.А., Фокин А.Д. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М., 1993. 99 с.
11. Козут Б.М. Органическое вещество чернозем // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 39–55. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-39-55>
12. Козут Б.М., Артемьева З.С., Кириллова Н.П., Яшин М.А., Сошникова Е.И. Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водостойчивых макроагрегатов типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170. <https://doi.org/10.1134/S106422931902008X>
13. Козут Б.М., Булкина Л.Ю. Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. 1987. № 4. С. 143–145.
14. Козут Б.М., Дьяконова К.В., Травникова Л.С. Состав и свойства гуминовых кислот различных вытяжек и фракций типичного чернозема // Почвоведение. 1987. № 7. С. 38–45.
15. Козут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., Данченко Н.Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода // Агрохимия. 2021. № 5. С. 3–13.

16. 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.
17. Коковина Т.П. О почвенных процессах в типичном мощном черноземе под пашней // Почвоведение. 1978. № 9. С. 13–23.
18. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 315 с.
19. Куликова Н.А., Перминова И.В. Сравнительная характеристика элементного состава водорастворимых гуминовых веществ, гуминовых и фульвокислот дерново-подзолистых почв // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2010. № 4. С. 16–19.
20. Кутюва О.В., Тхакахова А.К., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Гаджиумаров Р.Г., Стукалов Р.С., Иванова Е.А., Никитин Д.А. Сравнительная оценка влияния нулевой и традиционной обработки на биологическую активность агрочерноземов Ставропольского края // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. № 100. С. 159–189.
<https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-100-159-189>
21. Лодыгин Е.Д. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ таежных и тундровых почв Европейского Северо-Востока России. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2016. 46 с.
22. Мамонтов В.Г. Изменение компонентного состава гумуса чернозема обыкновенного под влиянием агрогенеза // Международный сельскохозяйственный журнал 2020. Т. 63. № 4. С. 83–86.
23. 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.
24. Мамонтов В.Г., Соколовская Е.Л. Элементный и молекулярно-массовый состав лабильных гумусовых веществ чернозема обыкновенного Каменной Степи // Известия ТСХА. 2018. Вып. 1. С. 130–138.
25. Назарова А.В. О трансформации гуминовых кислот в почвах // Органическое вещество почв и методы его исследования. Л., 1990. С. 11–19.
26. Орлов Д.С. Методы определения и показатели гумусового состояния почв // Методы изучения и повышения плодородия засоленных почв. М., 1986. С. 91–98.
27. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 324 с.
28. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
29. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
30. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высш. шк., 2005. 558 с.
31. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2000. 50 с.
32. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
33. Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на земле. М.: Наука, 1986. 75 с.
34. Холодов В.А., Константинов А.И., Беляева Е.Ю., Куликова Н.А., Кирюшин А.В., Перминова И.В. Строение гуминовых кислот, извлекаемых в ходе последовательной щелочной экстракции из типичного чернозема // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1177–1183.
35. 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>
36. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Яшин М.А., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Иванов А.Л. Оптические характеристики экстрагируемых фракций органического вещества типичных черноземов в многолетних полевых опытах // Почвоведение. 2020. № 6. С. 691–702.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X20060052>
37. Черников В.А. Методы структурной диагностики органического вещества почв // Методы исследования органического вещества почв. М., 2005. С. 135–147.
38. 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 // Агрехимия. 2019. № 10. С. 3–15.
39. Шигабаева Г.Н. Элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения // Вестник Тюменского гос. ун-та. 2014. № 12. Экология. С. 45–53.
40. Щеглов Д.И. Черноземы центральных областей России: современное состояние и направление эволюции // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования. Воронеж: Издательско-полиграфический центр “Научная книга”, 2017. С. 5–18.
41. Щербаков А.П., Васенев И.И. Русский чернозем на рубеже веков // Антропогенная эволюция черноземов. Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2000. С. 32–67.
42. Cade-Menun B.J., Bainard L.D., LaForge K., Schellenberg M., Houston B., Hamel C. Long-term agricultural land use affects chemical and physical properties of soils from southwest Saskatchewan // Can. J. Soil Sci. 2017. V. 97. № 4. P. 650–666.

43. *El-Metwally S.M., Taha A.A., Mosa A.A., El-Agamy M.A.* Chemical composition of humic substances extracted from salt affected Egyptian soils // *Life Sci. J.* 2014. V. 11. № 9. P. 197–206.
44. *Giovanella M., Crespo J.S., Antunes M., Adametti D.S., Fernandes A.N., Barison A., da Silva 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.
45. *Kuzyakov Y., Friedel J.K., Stahr K.* Review of mechanisms and quantification of priming effects // *Soil Biol. Biochem.* 2000. V. 32. P. 1485–1498.
46. *Lal R.* Challenges and opportunities in soil organic matter research // *Eur. J. Soil Sci.* 2009. V. 60. P. 158–169.
47. *Rice J.A., MacCarthy P.* Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances // *Org. Geochem.* 1991. V. 17. № 5. P. 635–648.
48. *Six J., Paustian K., Elliott E.T., Combrink C.* Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000. V. 64. P. 681–689.
49. *Stevenson F.J.* Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. N.Y.: John Wiley & Sons, 1994. 443 p.

The Influence of Different Land Use on the Elemental Composition of Labile Humus Substances of Chernozem Typical of the Kursk Region

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

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

² *Bkursky FANC, Cheryomushki, 10, Kursk Region, 305526 Russia*

³ *Central Chernozem State Natural Biosphere Reserve named after Professor Alyokhin, Kursk District, Zapovednoye settlement, Kursk Region, 305528 Russia*

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

The study of the elemental composition of labile humus substances passing into the direct 0.1 M NaOH extract of typical chernozem under various ecosystem showed that, judging by the magnitude ratio of the H : C ratio varying within 1.55–1.91, aliphatic structures prevail over cyclic components in their composition. Under the influence of agrogenic impact, the proof demethylation, dehydrogenation and oxidation of organic substances of chernozem develops. As a result, labile humic substances lose their aliphatic components and are enriched with oxidized nitrogen-containing cyclic structures. The intensity of this process increases in the series permanent steam > permanent corn > permanent winter wheat. At the same time, the labile humic substances of the permanent fallow chernozem are the least energy-intensive compounds, judging by the values of the heat of combustion found on the basis of elemental analysis data. During the 23 years that have passed since the transfer of permanent steam to the deposit (represented by the cereal and grass association), there have been no significant changes in the elemental composition of labile humus substances of typical chernozem, there is only a tendency to enrich them with newly formed aliphatic nitrogen-containing reduced compounds.

Keywords: heat of combustion, degree of oxidation, graph-statistical analysis, Haplic Chernozem Haplic Chernozem