



Научная статья
УДК 631.417.7:631.445.41
doi: 10.55186/25876740_2023_66_4_403

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАБИЛЬНЫХ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

В.Г. Мамонтов¹, В.А. Крылов², С.А. Беляева¹, А.С. Чекалова¹

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Фирма «Август», Москва, Россия

Аннотация. Целью исследования является изучение влияния различного землепользования на оптические свойства лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) чернозема типичного Курской области. Согласно полученным данным УФ-видимой спектроскопии рассчитаны основные оптические показатели $SUVA_{254}$, E_2/E_3 , E_4/E_6 , $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$. Установлено, что при переходе от ЛГВ целинного чернозема к ЛГВ чернозема с бесменным возделыванием озимой пшеницы и кукурузы величины отношений E_2/E_3 и E_4/E_6 последовательно уменьшаются с 3,32 до 3,00-3,01 и с 5,02 до 4,67-4,78 соответственно, тогда как величина $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ возрастает с 0,011 до 0,020-0,021. Самые низкие значения отношений E_2/E_3 и E_4/E_6 — 2,76 и 4,52 и самая высокая величина $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ — 0,031 отмечаются у ЛГВ чернозема бесменного пара. Это свидетельствует о том, что в пахотном черноземе в результате активно протекающей минерализации ЛГВ теряют алифатические фрагменты и обогащаются окисленными циклическими структурами. Наиболее активно этот процесс протекает в черноземе бесменного пара. В результате перевода бесменного пара в залежь величина отношения E_2/E_3 возрастает с 2,76 до 2,92, а E_4/E_6 с 4,52 до 4,69, тогда как величина показателя $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ уменьшается с 0,031 до 0,018. Эти данные показывают, что в залежном черноземе ЛГВ пополняются новообразованными слабо окисленными гумусовыми веществами алифатической природы. Однако этот процесс протекает очень медленно, поэтому по своему составу и оптическим свойствам ЛГВ чернозема залежи, заметно отличаются от ЛГВ целинного чернозема и лишь приближаются к ЛГВ чернозема с возделыванием сельскохозяйственных культур. ИК-спектры черноземов, находящихся под различными ценозами, представляют собой однотипную картину. В просушенных образцах полоса поглощения в области 1075-1043 см^{-1} , обусловленная полисахаридами имеет самую большую интенсивность, это свидетельствует о том, что полисахариды и продукты их трансформации играют важную роль в формировании ЛГВ чернозема типичного.

Ключевые слова: чернозем типичный, ИК-спектроскопия, УФ-видимая спектроскопия, лабильные гумусовые вещества, плодородие, землеустройство, $SUVA_{254}$, E_2/E_3 , E_4/E_6 , $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$

Original article

THE INFLUENCE OF DIFFERENT LAND USES ON THE OPTICAL PROPERTIES OF LABILE HUMUS SUBSTANCES OF TYPICAL CHERNOZEM

V.G. Mamontov¹, V.A. Krylov², S.A. Belyaeva¹, A.S. Chekalova¹

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²«Avgust» Company, Moscow, Russia

Abstract. The aim of the research is to study the influence of different land use on the optical properties of labile humic substances (LHS) of a typical chernozem of the Kursk region. According to the obtained data of UV-visible spectroscopy, the main optical parameters of $SUVA_{254}$, E_2/E_3 , E_4/E_6 , $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$, are calculated. It is established that, during the transition from LHS of virgin chernozem to LHS of chernozem with continuous cultivation of winter wheat and corn, the values of the ratios E_2/E_3 and E_4/E_6 consistently decrease from 3.32 to 3.00-3.01 and from 5.02 to 4.67-4.78, respectively, while the value of $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ increases from 0.011 to 0.020-0.021. The lowest values of the ratios E_2/E_3 and E_4/E_6 — 2.76 and 4.52, and the highest value of $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ — 0.031 are observed in LHS of continuous bare fallow chernozem. This indicates that in arable chernozem, as a result of actively occurring mineralization, LHS lose aliphatic fragments and are enriched with oxidized cyclic structures. This process is most active in the chernozem of continuous bare fallow. As a result of the transfer of continuous bare fallow to the lea land, the value of the ratio E_2/E_3 increases from 2.76 to 2.92, and E_4/E_6 from 4.52 to 4.69, while the value of the parameter $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ decreases from 0.031 to 0.018. These data show that in the lea land chernozem LHS are replenished with newly formed slightly oxidized humus substances of aliphatic nature. However, this process proceeds very slowly, therefore, in terms of their composition and optical properties, the LHS of the lea land chernozem differ markedly from the LHS of virgin chernozem and only approach the LHS of chernozem with the cultivation of agricultural crops. IR spectra of chernozems under different cenesos represent a similar picture. In the dried samples, the absorption band in the region of 1075-1043 cm^{-1} due to polysaccharides, has the highest intensity, which indicates that polysaccharides and their transformation products play an important role in the formation of typical chernozem LHS.

Keywords: typical chernozem, IR spectroscopy, UV-visible spectroscopy, labile humus substances, fertility, land utilization, $SUVA_{254}$, E_2/E_3 , E_4/E_6 , $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$

Введение. Органическое вещество имеет большое значение для генезиса и плодородия почвы, поскольку от его содержания и состава прямо или косвенно зависят многие почвенные свойства и режимы. Органическое вещество почвы — совокупность разнообразных соединений, различающихся между собой строением, составом и свойствами, прочностью связи с минеральными компонентами почвы, подвижностью в почвенном профиле, доступностью микроорганизмам и растворимостью [11, 18]. Его генетическая и агрономическая значимость

неодинакова. Так, с помощью известной системы показателей гумусового состояния можно получить исчерпывающую генетическую характеристику органического вещества почвы. Однако эта система показателей не позволяет дать качественную оценку органического вещества почвы в целом и его отдельных составляющих.

Поэтому для качественной оценки органического вещества почвы в последние десятилетия было предложено выделять в его составе лабильные (активные, легкоминерализуемые) вещества [11, 15].

В составе лабильных веществ была выделена группа лабильных (подвижных) гумусовых веществ (ЛГВ) [4, 11]. Необходимость выделения ЛГВ была впервые обоснована работами Дьяконовой [10].

Считается, что ЛГВ активно участвуют в динамичных почвенных процессах и в формировании эффективного плодородия почвы [11]. Однако до настоящего времени ЛГВ изучены не так подробно, как другие вещества органической части почвы, особенно его специфические компоненты.

Для изучения органического веществ почв и других природных объектов широко применяются различные инструментальные физико-химические методы анализа [2, 8, 9, 18].

Простой и при этом довольно информативный способ охарактеризовать гумусовые вещества — получить их спектры поглощения в ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК) области [8, 9, 14, 16, 17, 18, 20].

При оценке спектров поглощения в УФ-видимой области используется ряд показателей. Традиционным является нахождение отношения E_4/E_6 . Считается, что с помощью этого показателя получают представление о соотношении алифатических компонентов и ароматических структур в молекулах гумусовых веществ при их сравнительной характеристике [8, 9, 18]. Наряду с этим был предложен показатель $E_{1\text{см},465\text{нм}}^{0,001\%}$, представляющий собой оптическую плотность раствора при 465 нм, содержащего 1 мг гумусового вещества в 100 мл раствора и толщине просматриваемого слоя 1 см [9].

В работах по изучению природных вод на основании данных УФ-спектроскопии находят ряд показателей, которые позволяют оценить качество растворенного органического вещества. Один из них $SUVA_{254}$, который рассчитывают, как отношение оптической плотности при 254 нм к концентрации органического углерода в мг/л, и называют относительной ароматичностью поскольку он показывает хорошую корреляцию с содержанием ароматических структур в органическом веществе, определенных методами с более высоким разрешением, в частности ЯМР ^{13}C [19].

Другой показатель — E_2/E_3 — соотношение интенсивностей поглощения при 250 и 350 нм часто рассматривают как показатель степени гумификации органического вещества [17].

Эти подходы стали использовать при изучении гумусовых веществ почвы [6]. Поскольку оптические свойства ЛГВ до настоящего времени все еще изучены, то представляет большой интерес определить эти показатели. Поэтому цель нашей работы — изучить влияние различного землепользования на оптические свойства ЛГВ чернозема типичного.

Объекты и методы. Объектом исследования служил чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном лёссовидном суглинке. Почвенные образцы отбирались в 2021 году. Образец целинного чернозема был отобран на участке целинной некосимой степи в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина. Образцы пахотного чернозема 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, где также были отобраны почвенные образцы. К моменту отбора почвенных образцов бессменные культуры возделывались 56 лет, столько же лет бессменному пару; участок, отведенный под залежь, просуществовал 23 года. Свойства почв этих объектов были изучены ранее и приведены в литературе [3, 7, 13].

Почвенные образцы отбирали из слоя мощностью 0–20 см. ЛГВ экстрагировали 0,1 М раствором NaOH при соотношении почва : раствор, равном 1 : 20, и суточном настаивании

с последующим центрифугированием вытяжки при 8000 об/мин [4]. Содержание органического углерода в вытяжках определяли по методу Тюрина. Для получения препаратов ЛГВ, необходимых для определения величины $E_{1\text{см},465\text{нм}}^{0,001\%}$ и съемки ИК-спектров поглощения, вытяжки, относящиеся к одному варианту, объединяли и обрабатывали катионитом КУ-23 в Н-форме с последующим высушиванием на водяной бане.

Спектры поглощения в УФ-видимой области снимали на спектрофотометре УФ-2000 в интервале 200–700 нм. Показатели $SUVA_{254}$, E_2/E_3 и $E_{1\text{см},465\text{нм}}^{0,001\%}$ находили согласно рекомендациям [9, 17, 19]. Поскольку в области 400–600 нм значения оптической плотности приобретают очень низкие значения, то это может вызвать большие ошибки измерения [9, 14]. Поэтому для нахождения показателя E_4/E_6 оптическую плотность измеряли на спектрофотометре КФК-3 используя разные кюветы [9].

ИК-спектры поглощения были получены при помощи ИК Фурье-спектрометра Spectrum One фирмы PerkinElmer (США), оснащенного детектором LiTaO₃ и KBr-светоделителем. Съемка образцов производилась в средней области (4000–400 см⁻¹) с точностью 100 сканирований/образец и разрешением 4 см⁻¹ с помощью KBr-техники. Для исключения вклада гигроскопической воды образцы помещались в эксикатор с CaCl₂ и прогревались в течение 20–24 ч при температуре 105 °С. Обработка полученных спектров поглощения и коррекция базовой линии была проведена с использованием линейной функции при помощи программы OMNIC 9.9.535, ThermoFisher Scientific Inc. Расшифровка ИК-спектров проведена с использованием соответствующих руководств [1, 12].

Результаты и обсуждение. Спектры поглощения ЛГВ чернозема различного землепользования в ультрафиолетовой и видимой области имеют вид пологих кривых с постепенным уменьшением величины оптической плотности

по мере увеличения длины волны. При этом на спектрофотометрических кривых в области 250–290 нм отмечается слабо выраженный максимум поглощения (рис. 1). Наличие слабо выраженного максимума поглощения в области 240–300 нм было ранее зафиксировано у различных фракций органических веществ чернозема типичного. Обычно этот максимум связывают с присутствием в составе органических веществ компонентов циклической природы [17, 20].

На рисунке 1 спектрофотометрические кривые ЛГВ располагаются в разных областях в соответствии со значениями оптической плотности, зависящей от концентрации и структурных особенностей ЛГВ.

Для количественной оценки спектров поглощения ЛГВ были рассчитаны показатели $SUVA_{254}$, $E_{1\text{см},465\text{нм}}^{0,001\%}$, отношения E_4/E_6 и E_2/E_3 , приведенные в таблице 1.

Согласно полученным данным самая низкая величина показателя $SUVA_{254}$ — 0,030 отмечается у ЛГВ целинного чернозема. Под влиянием бессменной кукурузы и озимой пшеницы величина $SUVA_{254}$ возрастает до 0,040 и 0,042 соответственно. Значение $SUVA_{254}$ ЛГВ чернозема бессменного пара практически такое же, как и у ЛГВ целинного чернозема и равно 0,031. В результате перевода бессменного пара в залежь величина показателя $SUVA_{254}$ возросла до 0,036. Принято считать, что чем больше величина $SUVA_{254}$, тем более весом вклад ароматических соединений в состав органических веществ. В целинном черноземе процессы минерализации и гумификации достигли равновесного уровня.

В пахотном черноземе процессы, связанные с круговоротом органического вещества, вследствие изменения условий гумусообразования сдвигаются в сторону минерализации. В первую очередь минерализации будут подвергаться наименее стойкие органические соединения, обычно формирующие алифатическую часть молекулы гумусовых веществ.

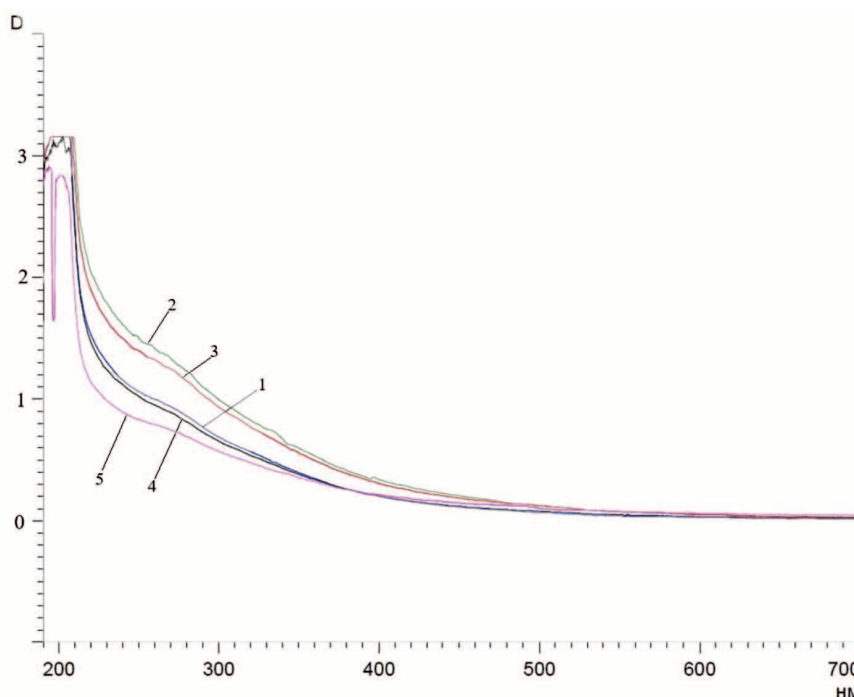


Рисунок 1. Спектры поглощения ЛГВ в ультрафиолетовой и видимой области: 1— целина, 2 — бессменная озимая пшеница, 3 — бессменная кукуруза, 4 — бессменный пар, 5 — залежь
Figure 1. LHV absorption spectra in the ultraviolet and visible regions: 1 — virgin, 2 — continuous winter wheat, 3 — continuous corn, 4 — continuous bare fallow, 5 — lea land



В результате этого в пахотных почвах, по сравнению с целинными аналогами, в составе ЛГВ как уже существующих в почве, так и новообразованных в результате гумификации растительных остатков, ежегодно поступающих в почву, будет происходить увеличение доли устойчивых компонентов ароматической природы, которым и будут свойственны более высокие значения показателя $SUVA_{254}$. Аналогичный механизм реализуется и в черноземе залежи. Однако при этом не все новообразованные гумусовые вещества включаются в группу ЛГВ. Это обусловлено тем, что при поступлении свежих растительных остатков в сильно выплаханную почву, которую представляет чернозем бесменного пара, переведенный в залежь, происходит резкая активизация микробиологической деятельности. В результате этого микробиологической деструкции подвергается не только свежее органическое вещество, но и часть инертных гумусовых соединений, представленных в основном циклическими компонентами [5]. Поэтому величина показателя $SUVA_{254}$ ЛГВ чернозема залежи только приближается к значениям присущим ЛГВ чернозема с бесменными культурами. В черноземе бесменного пара наряду с преимущественной минерализацией алифатических компонентов ЛГВ вероятно происходит пополнение этой группы веществ продуктами деструкции инертной части гумусовых соединений почвы.

Величина отношения E_2/E_3 у ЛГВ целинного чернозема равна 3,32. В условиях пашни у ЛГВ чернозема под бесменными культурами этот показатель уменьшается до 3,00-3,01 и до 2,76 у ЛГВ чернозема бесменного пара. После перевода бесменного пара в залежь величина отношения E_2/E_3 возросла до 2,92. Считается, что по мере увеличения значений этого отношения уменьшаются ароматичность и молекулярные массы органических соединений [17]. При замене бесменного пара залежью вполне возможно уменьшение ароматичности ЛГВ за счет включения в их состав новообразованных компонентов алифатической природы. Однако в других вариантах опыта подобный путь трансформации

ЛГВ вряд ли следует ожидать. По-видимому, отношение E_2/E_3 скорее всего следует рассматривать как отношение неокисленных ароматических структур к окисленным. В этом случае при переходе от ЛГВ целинного чернозема к ЛГВ чернозема с бесменным возделыванием сельскохозяйственных культур величина отношения E_2/E_3 закономерно снижается в связи с увеличением в составе ЛГВ пахотного чернозема окисленных фрагментов. При этом самое низкое значение отношения наблюдается у ЛГВ чернозема бесменного пара, где наиболее интенсивно протекает процесс минерализации. В результате замены бесменного пара залежью величина отношения возрастает в связи с включением в состав ЛГВ новообразованных слабо окисленных структур.

Ранее на основании данных элементного анализа для этих объектов было показано, что под влиянием сельскохозяйственного использования ЛГВ чернозема обогащаются окисленными циклическими соединениями, причем в наибольшей мере этот процесс присущ ЛГВ чернозема бесменного пара, а при переводе бесменного пара в залежь степень окисленности ЛГВ и доля циклических компонентов в их составе снижается [5].

Отношение E_4/E_6 , которое иногда называют коэффициентом цветности (Q_4/E_6), традиционно используется для сравнительной характеристики гумусовых кислот почвы [8, 18]. Принято считать, что чем меньше величина отношения E_4/E_6 , тем более весом вклад конденсированных циклических структур в формирование молекулы гумусовой кислоты по сравнению с алифатическими группировками.

Согласно нашим данным (табл. 1), величина отношения E_4/E_6 у ЛГВ целинного чернозема равна 5,02. При бесменном возделывании сельскохозяйственных культур она уменьшилась до 4,67 у ЛГВ чернозема под бесменной озимой пшеницей и до 4,68 у ЛГВ чернозема под бесменной кукурузой. Самая низкая величина этого отношения — 4,52 отмечается у ЛГВ чернозема бесменного пара. Полученные данные свидетельствуют о том, что в пахотных почвах

в результате активно протекающих процессов минерализации лабильных алифатических фрагментов ЛГВ чернозема обогащаются устойчивыми циклическими компонентами. В результате перевода бесменного пара в залежь величина отношения E_4/E_6 возросла до 4,69 и стала сопоставимой с величинами этого показателя свойственными ЛГВ чернозема с бесменными культурами. Это обусловлено включением в состав ЛГВ новообразованных гумусовых веществ, содержащих алифатические фрагменты.

По данным Кононовой величина отношения E_4/E_6 у гуминовых кислот чернозема равна 3-3,5, а у фульвокислот находится на уровне 6-8,5. В нашем случае величина отношения E_4/E_6 ЛГВ находится в интервале 4,52-5,02 и занимает промежуточное положение между гуминовыми кислотами и фульвокислотами. В целом величина этого показателя свидетельствует о том, что в формировании ЛГВ чернозема типичного заметную роль играют компоненты алифатического типа.

Показатель $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ последовательно возрастает от 0,011 у ЛГВ целинного чернозема до 0,020-0,021 у ЛГВ чернозема под бесменными культурами и до 0,031 у ЛГВ чернозема бесменного пара. Исходя из представлений об этом показателе, можно предположить, что в этой же последовательности возрастает степень окисленности ЛГВ и доля циклических компонентов в их составе. Аналогичного рода результаты были получены ранее с помощью анализа элементного состава ЛГВ [5]. При переводе бесменного пара в залежь величина $E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$ уменьшилась до 0,018, что обусловлено включением в состав ЛГВ новообразованных слабоокисленных алифатических веществ.

ИК-спектры ЛГВ чернозема различного землепользования имеют однотипный характер (рис. 2). На них выделяется ряд полос поглощения характерных для специфических гумусовых кислот почвы. В первую очередь следует отметить три интенсивные полосы поглощения расположенных в областях при 3400, 1630 и 1046 см^{-1} в значительной мере определяющих внешний облик всего спектра.

В области 3400 см^{-1} поглощение преимущественно обусловлено валентными колебаниями групп ОН, связанных межмолекулярными водородными связями и частично группами NH (табл. 2). Существенное влияние на поглощение в этой области оказывает гигроскопическая вода. Об этом свидетельствует уменьшение интенсивности поглощения в 2,4-3,9 раза в просушенных образцах ЛГВ. При этом самое существенное снижение интенсивности поглощения отмечается у ЛГВ целинного чернозема. На длинноволновом крыле этой полосы отмечается довольно интенсивное поглощение в области 2935 см^{-1} обусловленное валентными колебаниями алифатических CH_2 и CH_3 групп. Здесь также существенный вклад в поглощение вносит гигроскопическая вода, о чем свидетельствует уменьшение интенсивности поглощения в просушенных образцах в 1,6-1,8 раза. Деформационные колебания алифатических CH_2 и CH_3 групп отмечаются в области 1404-1384 см^{-1} .

Интенсивная полоса поглощения в области 1640-1630 см^{-1} имеет сложную природу и обусловлена связями $\text{C}=\text{C}$ ароматических структур, амид I и гигроскопической водой. В просушенных образцах поглощение в этой области снижается в 1,3-1,4 раза.

Таблица 1. Оптические свойства ЛГВ чернозема типичного различного землепользования в УФ-видимой области, М±m

Table 1. Optical properties of LHS of typical chernozem different land use in the UV-visible region, M±m

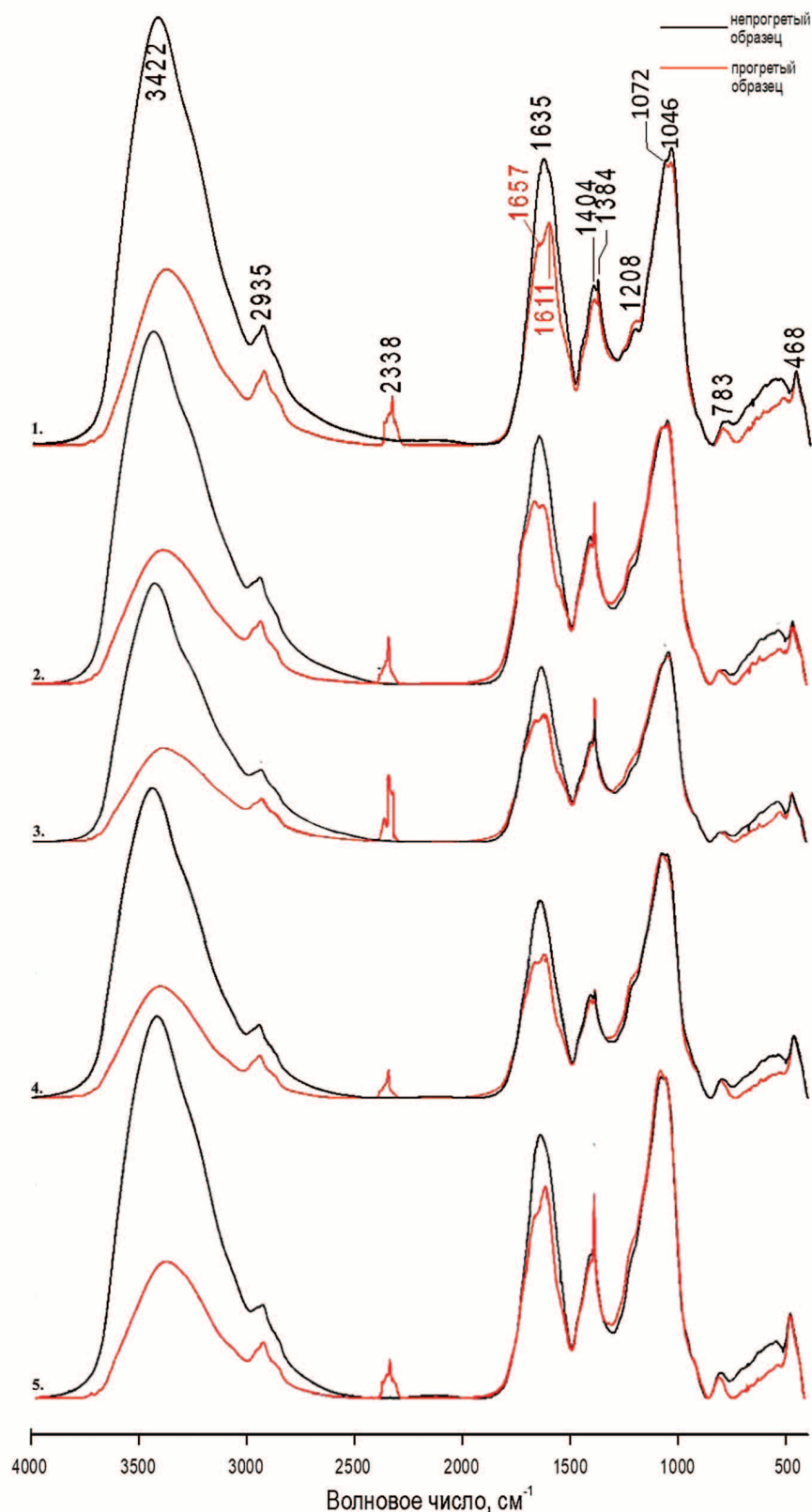
Вариант	$SUVA_{254}$, л/(мг·см)	E_2/E_3	E_4/E_6	$E_{1\text{ см}, 465\text{ нм}}^{0,001\%}$
Целина	0,030±0,002	3,32±0,04	5,02±0,12	0,011±0,003
Бесменная озимая пшеница	0,042±0,005	3,01±0,05	4,67±0,02	0,021±0,003
Бесменная кукуруза	0,040±0,006	3,00±0,04	4,78±0,07	0,020±0,002
Бесменный пар	0,031±0,001	2,76±0,02	4,52±0,03	0,031±0,005
Залежь	0,036±0,002	2,92±0,06	4,69±0,13	0,018±0,004

Таблица 2. Полосы поглощения в ИК-спектрах ЛГВ чернозема типичного

Table 2. Absorption bands in the IR spectra of typical chernozem

Область, см^{-1}	Группы, колебания
3400	Валентные колебания ОН групп, связанных межмолекулярными водородными связями, частично NH-групп, гигроскопическая вода
2935	Валентные колебания алифатических CH_2 и CH_3 групп, гигроскопическая вода
2338	Группы $\text{C}=\text{NH}^+$ циклических азотсодержащих соединений типа пиридина и оснований Шиффа
1640-1630	Сложная полоса поглощения сформированная группами $\text{C}=\text{C}$, амид I, гигроскопической водой
1404-1384	Деформационные колебания алифатических CH_2 и CH_3 групп, частично гигроскопическая вода
1210-1205	Карбоксильные группы карбоновых кислот, частично гигроскопическая вода
1075-1043	Полисахариды
800-783	Группы СН ароматических соединений





1. - Целина
2. - Озимая пшеница
3. - Кукуруза
4. - Пар
5. - Залежь

Рисунок 2. ИК-спектры поглощения ЛГВ чернозема различного земледелия. 1- целина; 2 — бессменная озимая пшеница; 3 — бессменная кукуруза; 4 — бессменный пар; 5 — залежь
Figure 2. IR absorption spectra of chernozems LHS of various land uses. 1 — virgin, 2 — continuous winter wheat, 3 — continuous corn, 4 — continuous bare fallow, 5 — lea land

Интенсивная полоса поглощения в области 1075-1043 см^{-1} обусловлена полисахаридами. В просушенных образцах она имеет самую большую интенсивность. Это свидетельствует о том, что полисахариды и продукты их трансформации играют важную роль в формировании ЛГВ чернозема типичного. На коротковолновом крыле этой полосы в области 1210-1205 см^{-1} отмечается не разрешившаяся и выраженная в виде уступа слабая полоса поглощения, принадлежащая карбоксильным группам карбоновых кислот.

Наряду с этим на ИК-спектрах ЛГВ имеются еще полосы поглощения, принадлежащие группировкам, участвующим в формировании ЛГВ. В области 2338 см^{-1} после просушивания препаратов обнаруживается слабая полоса поглощения, принадлежащая группе $\text{C}=\text{NH}^+$ циклических азотсодержащих соединений типа пиридина и оснований Шиффа. При 800-783 см^{-1} отмечаются слабые полосы поглощения группы C-H ароматических соединений.

Заключение. Агрогенное воздействие оказало существенное влияние на оптические свойства лабильных гумусовых веществ чернозема типичного. Интерпретация результатов УФ-видимой спектроскопии и определение отношений E_2/E_3 , E_4/E_6 и показателя $E_{1\text{cm},465\text{nm}}^{0,001\%}$ свидетельствует о том, что при экстенсивном сельскохозяйственном использовании чернозема происходит активная минерализация алифатической части молекул лабильных гумусовых веществ и увеличение в их составе доли устойчивых окисленных компонентов ароматической природы. При этом наиболее существенные изменения произошли с ЛГВ чернозема бессменного пара.

В результате перевода бессменного пара в залежь в состав ЛГВ включаются новообразованные недоокисленные гумусовые вещества алифатической природы, что вызывает изменение оптических свойств ЛГВ, которые по своим показателям стали приближаться к свойствам ЛГВ чернозема с возделыванием сельскохозяйственных культур.

ИК-спектры черноземов различного земледелия имеют однотипный характер, обусловленный присутствием на них полос поглощения характерных для специфических гумусовых кислот почвы. При этом важную роль в формировании ЛГВ чернозема типичного играют полисахариды и продукты их трансформации, о чем свидетельствует самая высокая интенсивность полосы поглощения при 1075-1040 см^{-1} .

Список источников

1. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Иностранная литература. 1963. 591 с.
2. 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. DOI: 10.1134/S0032180X19080161
3. Когут 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 земледелия // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161-170. <https://doi.org/10.1134/S106422931902008X>
4. Когут Б.М., Булкина Л.Ю. Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. 1987. № 4. С. 143-145.



5. Крылов В.А., Мамонтов В.Г., Лазарев В.И., Рыжков О.В. Влияние различного землепользования на элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области // Почвоведение. 2022. № 8. С. 981–989. DOI: 10.31857/S0032180X22080081
6. Мальцева А.Н., Пинский Д.Л. Спектральные характеристики водорастворимого органического вещества органо-минеральных субстратов различного состава // Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 70–75.
7. 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.
8. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Издательство Московского университета, 1974. 335 с.
9. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: МГУ. 1981. 272 с.
10. Рекомендации для исследования органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв / Составитель К.В. Дьяконова. М.: ВАСХНИЛ, 1984. 96 с.
11. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
12. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрофотометрическая идентификация органических соединений. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 557 с.
13. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходова Ю.Р., Яшина М.А., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Иванова А.Л. Оптические характеристики экстрагируемых фракций органического вещества типичных черноземов в многолетних полевых опытах // Почвоведение. 2020. № 6. С. 691–702. DOI: 10.31857/S0032180X20060052
14. Chin Y-P, Alken G., O'Loughlin E. Molecular Weight, Polydispersity, and Spectroscopic Properties of Aquatic Humic Substances // Environmental Science & Technology. 1994. V. 28. № 11. P. 1853–1858.
15. 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. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00809
16. Nuzzo A.P., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A. Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence // Chemical and Biological Technologies in Agriculture (2020) 7:6 DOI: 10.1186/s40538-019-0172-1
17. Peuravuori J., Pihlaja K. Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substance // Analytica Chimica Acta. 1997. V. 337. P. 133–149.
18. Stevenson F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reaction. N.Y.: John Wiley & Sons. 1994. 496 p.
19. Weishaar J.L., Aiken G.R., Bergamaschi B.A., Fram M.S., Fujii R., Mopper K. Evaluation of Specific Ultraviolet Absorbance as an Indicator of the Chemical Composition and Reactivity of Dissolved Organic Carbon // Environmental Science & Technology. 2003. V. 37. № 20. P. 4702–4708.
20. Yan M., Dryer D., Korshin G.V. Spectroscopic characterization of changes of DOM deprotonation–protonation properties in water treatment processes // Chemosphere. 2016. V. 148(4). P. 426–435.
8. Orlov D.S. (1974). *Gumusovye kisloty pochv* [Soil humic acids], Moscow: Moscow university press, 335 p.
9. Orlov D.S., Grishina L.A. (1981). *Praktikum po khimii gumusa* [Workshop on humus chemistry], Moscow: Moscow state university, 272 p.
10. D'yakonova K.V. (ed.) (1984). *Rekomendatsii dlya issledovaniya organicheskogo veshchestva pri sel'skokhozyaistvennom ispol'zovanii i intensivnom okul'turivanii pochv* [Recommendations for the study of organic matter in agricultural use and intensive cultivation of soils], Moscow: Lenin all-union academy of agricultural sciences, 96 p.
11. Semenov V.M., Kogut B.M. (2015). *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil organic matter], Moscow: Geos, 233 p.
12. Sil'verstein R., Webster F., Kiml D. (2014). *Spektrofotometricheskaya identifikatsiya organicheskikh soedinenii*. [Spectrophotometric identification of organic compounds] Moscow, Binomial, Knowledge laboratory, 557 p.
13. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodova YU.R., Yashina M.A., Lazarev V.I., Il'in B.S., Filippova O.I., Volikov A.B., Ivanova A.L. (2020). *Opticheskie kharakteristiki ehkstragiruemykh fraktsii organicheskogo veshchestva tipichnykh chernozemov v mnogoletnikh polevykh opytakh* [Optical characteristics of extractable fractions of organic matter of typical chernozems in long-term field experiments], *Pochvovedenie* [Soil science], no. 6, pp. 691–702. DOI: 10.31857/S0032180X20060052
14. Chin Y-P, Alken G., O'Loughlin E. (1994). Molecular Weight, Polydispersity, and Spectroscopic Properties of Aquatic Humic Substances. *Environmental Science & Technology*, vol. 28, no. 11, pp. 1853–1858.
15. Lützw, M.V., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B., Flessa H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions — a review. *Eurasian Journal of Soil Science*, vol. 57, pp. 426–445. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00809
16. Nuzzo A.P., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A. (2020). Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 7:6 DOI: 10.1186/s40538-019-0172-1
17. Peuravuori J., Pihlaja K. (1997). Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substance. *Analytica Chimica Acta*, vol. 337, pp. 133–149.
18. Stevenson F.J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reaction*. N.Y.: John Wiley & Sons. 496 p.
19. Weishaar J.L., Aiken G.R., Bergamaschi B.A., Fram M.S., Fujii R., Mopper K. (2003). Evaluation of Specific Ultraviolet Absorbance as an Indicator of the Chemical Composition and Reactivity of Dissolved Organic Carbon. *Environmental Science & Technology*, vol. 37, no. 20, pp. 4702–4708.
20. Yan M., Dryer D., Korshin G.V. (2016) Spectroscopic characterization of changes of DOM deprotonation–protonation properties in water treatment processes. *Chemosphere*, vol. 148(4), pp. 426–435.

Информация об авторах:

- Мамонтов Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2563-8783>, mamontov1954@inbox.ru
- Крылов Вадим Александрович**, кандидат биологических наук, агроном группы полевой опытной станции, АО Фирма «Август», ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8437-9772>, kryloff.vadim2015@yandex.ru
- Беляева Светлана Алексеевна**, аспирант, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1347-0741>, belyaeva@rgau-msha.ru
- Чекалова Александра Сергеевна**, магистрант, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Chekalova140599@gmail.com

Information about the authors:

- Vladimir G. Mamontov**, doctor of biological sciences, professor of the department of soil science, geology and landscape science, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2563-8783> mamontov1954@inbox.ru
- Vadim A. Krylov**, candidate of biological sciences, agronomist of the field experimental station group, JSC Firm «August», ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8437-9772>, kryloff.vadim2015@yandex.ru
- Svetlana A. Belyaeva**, post-graduate student, assistant of the department of soil science, geology and landscape science, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1347-0741> belyaeva@rgau-msha.ru
- Alexandra S. Chekalova**, master student, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Chekalova140599@gmail.com

