



Научная статья
УДК 631.417.7:631.445.41
doi: 10.55186/25876740_2023_66_5_522

ВЛИЯНИЕ БЕСМЕННОГО ПАРОВАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Г. Мамонтов, С.А. Беляева

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

Аннотация. Цель исследования — изучить влияние бесменного пара на элементный состав лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) и гуматов кальция (ГК-2) чернозема типичного Курской области. Препараты ЛГВ и ГК-2 получали в результате последовательной экстракции из одной навески почвы 0,1 н. раствором NaOH. Данные элементного состава выражали в массовых и атомных процентах. Согласно полученным результатам в составе ЛГВ целинного чернозема преобладают алифатические восстановленные структуры, о чем свидетельствуют величина атомного отношения H:C, равная 1,91, и степень окисленности, составившая -0,19. Под влиянием бесменного пара вследствие активизации процессов минерализации ЛГВ теряют алифатические фрагменты и обогащаются устойчивыми окисленными азотсодержащими циклическими структурами. На это указывает уменьшение величины атомного отношения H:C с 1,91 (целина) до 1,79 (пар) и увеличение степени окисленности с -0,19 до +0,25. ГК-2 целинного чернозема преимущественно состоят из окисленных, конденсированных циклических структур, о чем говорят отношения H:C, равное 0,71; O:C, равное 0,45 и C:N, составившее 19,7. Степень окисленности имеет значение +0,18. В результате бесменного парования величина атомного отношения H:C уменьшилась с 0,71 до 0,65, тогда как атомное отношение O:C возросло с 0,45 до 0,47, а атомное отношение C:N — с 19,7 до 21,0, при этом степень окисленности изменилась с +0,18 до +0,29. Это свидетельствует о потере ГК-2 алифатических азотсодержащих фрагментов и увеличении в их составе доли окисленных, обедненных азотом циклических структур. Согласно данным графико-статистического анализа трансформация гумусовых веществ чернозема типичного в условиях бесменного парования преимущественно обусловлена процессами деметилирования и окисления и, судя по теплоте сгорания, сопровождается уменьшением их энергетического потенциала.

Ключевые слова: лабильные гумусовые вещества, гуматы кальция, чернозем типичный, бесменный пар, элементный состав, графико-статистический анализ

Благодарности: статья подготовлена в рамках научного фронта «Приоритет 2030».

Original article

INFLUENCE OF CONTINUOUS FALLOWING ON THE ELEMENTAL COMPOSITION OF HUMUS SUBSTANCES IN THE TYPICAL CHERNOZEM OF THE KURSK REGION

V.G. Mamontov, S.A. Belyaeva

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

Abstract. The purpose of the research is to study the effect of continuous bare fallow on the elemental composition of labile humic substances (LHS) and calcium humates in a typical chernozem of the Kursk region. LHS and calcium humates preparations were obtained as a result of successive extraction from one sample of the soil with 0.1 n. NaOH solution. The elemental composition data were expressed in mass and atomic percent. According to the results obtained, aliphatic reduced structures predominate in the composition of LHS of virgin chernozem, as evidenced by the value of the atomic ratio H:C equal to 1.91, and the degree of oxidation was -0.19. Under the influence of continuous bare fallow, due to the activation of mineralization processes, LHS lose aliphatic fragments and are enriched in stable nitrogen-containing cyclic structures. Along with this, in their composition significantly increases the proportion of components enriched in oxygen-containing groups, which is indicated by a change in the values of atomic ratios: the H:C ratio decreased from 1.91 (virgin soil) to 1.79 (bare fallow), and the O:C ratio increased from 0.86 to 1.02, respectively. The degree of oxidation increased from -0.19 to +0.25. Calcium humates of virgin chernozem predominantly consist of nitrogen-depleted, oxidized cyclic structures, as evidenced by the ratios H:C equal to 0.71, O:C equal to 0.45 and C:N amounting to 19.7. The degree of oxidation has a value of +0.18. As a result of continuous fallowing, the value of the atomic ratio H:C decreased from 0.71 to 0.65, while the atomic ratio O:C increased from 0.45 to 0.47, and the atomic ratio C:N from 19.7 to 21.0, while the degree of oxidation changed from +0.18 to +0.29. This indicates the loss of aliphatic nitrogen-containing fragments in the calcium humates and an increase the proportion of oxidized cyclic structures in their composition. According to graphostatistical analysis, the transformation of humus substances of typical chernozem under conditions of continuous fallowing is mainly due to the processes of demethylation and oxidation, and judging by the heat of combustion, is accompanied by a decrease in their energy potential.

Keywords: labile humic substances, calcium humates, typical chernozem, continuous fallow, elemental composition, graphostatistical analysis

Acknowledgments: the article was prepared within the framework of the scientific frontier "Priority 2030".

Введение. Благодаря высокому уровню плодородия почв черноземная зона издавна была житницей России, в настоящее время здесь производится около двух третей всей сельскохозяйственной продукции [19]. Высокое потенциальное и эффективное плодородие черноземов во многом обусловлено большим содержанием гумуса. Однако за длительное время интенсивного сельскохозяйственного использования органическая часть черноземов претерпела существенную трансформацию. В первую очередь это обусловлено резким уменьшением количества растительных остатков, ежегодно поступа-

ющих в почву, масштабы которых по имеющимся оценкам снизились в 2-8 раз [9, 18]. Немаловажное значение имеет и заметная активизация процессов, вызывающих минерализацию органического вещества черноземов. В результате этого происходит изменение как содержания, так и состава гумуса пахотных почв [10, 14].

Гумус является важнейшим компонентом органической части почвы. По своей природе это сложная система, состоящая из совокупности разнообразных соединений, различающихся между собой строением, составом, свойствами и подвижностью в почвенном профиле [1, 7, 15-

17, 21]. В состав гумуса входят специфические гуминовые вещества, неспецифические органические соединения, промежуточные продукты распада и гумификации [11, 15]. К главным компонентам гумуса относятся гумусовые кислоты, включающие гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты и гиматомелановые кислоты. Наряду с этим в последнее время при агрономической характеристике гумуса в его составе стали выделять группу лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) [5, 12].

Характерная особенность гумуса черноземов — высокое содержание гуминовых кислот, а среди них гуминовых кислот второй



фракции (ГК-2) или гуматов кальция [10, 11, 14]. При оценке гумуса черноземов считается, что если ЛГВ принимают непосредственное участие в формировании эффективного плодородия почвы, то гуматы кальция обеспечивают стабильность инертной части гумуса черноземов и в конечном итоге устойчивость их органопротифила, а также ряда фундаментальных свойств, при этом ЛГВ предохраняют гуматы кальция от ускоренной минерализации микроорганизмами [4, 10-12]. Поэтому всестороннее изучение этих компонентов гумуса имеет большое теоретическое и практическое значение.

Цель исследований — изучить влияние бесменного пара на элементный состав ЛГВ и гуматов кальция чернозема типичного Курской области.

Методика исследований. Объектом исследования служил чернозем типичный миграционно-мицелярный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке. Почвенные образцы отбирали в 2021 г., в Центральном Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алекина в трехкратной повторности на участках целинной некосимой степи и бесменного пара, заложенного в 1947 г. К моменту отбора почвенных образцов бесменный пар просуществовал 74 года.

Для получения препаратов ЛГВ и гуматов кальция проводили последовательные экстракции из одной навески почвы. Сначала выделяли ЛГВ, которые экстрагировали 0,1 н. раствором NaOH при соотношении почва:раствор равном 1:20 и суточном настаивании [6]. Вытяжку от остатка почвы отделяли центрифугированием 20 мин при 3000 об/мин. Полученный экстракт ЛГВ дополнительно очищали от минеральных коллоидов центрифугированием при 8000 об/мин в течение 20 мин, обрабатывали катионитом КУ-23 в H⁺-форме и высушивали на водяной бане.

После выделения ЛГВ остаток почвы подвергали декальцинированию 0,05 н. раствором HCl до отсутствия качественной реакции на обменный кальций. После вытеснения обменного кальция почву промывали дистиллированной водой для удаления избытка кислоты и экстрагировали гуматы кальция 0,1 н. раствором NaOH при соотношении почва:раствор равном 1:20. Вытяжку от остатка почвы отделяли центрифугированием 20 мин при 3000 об/мин. Полученный экстракт гуматов кальция дополнительно очищали от минеральных коллоидов центрифугированием при 8000 об/мин в течение 20 мин. Гуминовые кислоты осаждали подкислением вытяжки 1 н. раствором HCl, гель гуминовых кислот отделяли от надосадочной жидкости центрифугированием 10 мин при 3000 об/мин. Для освобождения от механически задержанных фульвокислот гель гуминовых кислот растворяли в 0,1 н. растворе NaOH и повторно осаждали гуминовые кислоты 1 н. раствором HCl.

Надосадочную жидкость отделяли центрифугированием и промывали осадок ГК дистиллированной водой до появления первых признаков пептизации гуминовых кислот, после этого гель ГК диализировали и высушивали на водяной бане.

В полученных препаратах ЛГВ и ГК-2 определяли элементный состав на автоматическом анализаторе CHNS-vario MICRO cube, содержание кислорода находили по разности, зольность весовым методом. Степень окисленности и теплоту сгорания находили расчетным путем по

эмпирическим формулам, графико-статистический анализ проводили по Д. Ван Кревелену [15].

Результаты и обсуждение. По элементному составу гумусовые вещества чернозема типичного несколько различаются между собой (табл. 1).

В элементном составе ЛГВ преобладает кислород, содержание которого варьирует в пределах 47,94-52,01 мас.%, далее следуют углерод — 38,14-41,76 мас.% и водород — 5,75-6,72 мас.%. Меньше всего ЛГВ содержат азота — только 3,58-4,10 мас.%.

В элементном составе ГК-2 преобладает углерод, на долю которого приходится 57,78-58,31 мас.%. Следующим по значимости элементом является кислород, количество которого составило 34,83-35,85 мас.%. Содержание водорода находится в пределах 3,15-3,49 мас.%, а азота — 3,22-3,37 мас.%.

Таким образом, в гумусовых веществах чернозема типичного содержание углерода колеблется в пределах 38,14-58,31 мас.%, водорода — 3,15-6,72 мас.%, азота — 3,22-4,10 мас.% и кислорода — 34,83-52,01 мас.%.

Такой элементный состав является типичным для гумусовых веществ почвы. Об этом свидетельствуют данные работы [20], в которой авторы, обобщив результаты элементного анализа 624 образцов гумусовых веществ, выделенных из разных источников, пришли к выводу, что их элементный состав колеблется в следующих интервалах: С — 37,18-64,1 мас.%, Н — 1,64-8,0 мас.%, N — 0,50-7,00 мас.%, O — 27,1-51,98 мас.%.

Длительное бесменное парование оказало определенное воздействие на элементный состав гумусовых веществ чернозема типичного. Так, ЛГВ целинного чернозема по сравнению с ЛГВ чернозема бесменного пара содержат больше углерода и водорода на 3,62 и 0,97 мас.%, но меньше азота и кислорода на 0,52 и 4,07 мас.% соответственно.

В случае ГК-2 изменения в элементном составе менее существенные. Так, ГК-2 целинного чернозема и чернозема бесменного пара достоверно не различаются содержанием азота. В то же время под влиянием бесменного парования в ГК-2 уменьшилось содержание углерода и водорода на 0,53 и 0,34 мас.% соответственно, тогда как содержание кислорода возросло на 1,02 мас.%.

Гумусовые вещества почвы служат важнейшим источником энергии, необходимой для протекания в почве многочисленных биологических и абиотических реакций и процессов. Их энергетический потенциал можно оценить по теплоте сгорания, определив ее расчетным путем, на основании данных элементного анализа, выраженного в мас.% [8, 15]. Величины теплоты сгорания гумусовых веществ чернозема приведены в таблице 2.

Как следует из полученных данных, под влиянием бесменного пара теплота сгорания гумусовых веществ чернозема уменьшается, причем у ЛГВ это происходит в большей мере, нежели у ГК-2, что обусловлено их более интенсивной минерализацией. При этом теплота сгорания ГК-2 заметно больше, чем у ЛГВ. Вероятно, это связано с тем, что ГК-2 преимущественно состоят из конденсированных циклических структур, обладающих высоким энергетическим потенциалом.

По мнению Д.С. Орлова, данные элементного состава гумусовых веществ, выраженные в масовых (весовых) процентах, не дают истинного представления о том, какую роль играют отдельные химические элементы в формировании молекул гумусовых веществ и о том, какие изменения они претерпевают под влиянием различных факторов. Истинное представление можно получить лишь только в том случае, когда элементный состав выражается в атомных процентах [13].

Элементный состав гумусовых веществ чернозема типичного в атомных процентах приведен в таблице 3.

Как следует из полученных данных, в элементном составе ЛГВ целинного чернозема преобладает водород, на долю которого приходится 49,7 ат.%. Это согласуется с ранее полученными результатами, согласно которым водород является доминирующим химическим элементом в составе ЛГВ почвы [5, 8].

Содержание углерода составило 26,0 ат.%, а кислорода — 22,4 ат.%. Меньше всего ЛГВ содержат азота — 1,90 ат.%. Величина атомного отношения Н:С равна 1,91, а степень окисленности — 0,19. Судя по этим данным, в составе ЛГВ целинного чернозема преобладают алифатические восстановленные структуры. Величина атомного отношения С:N равна 13,7 и свидетельствует о низкой обогащенности ЛГВ азотом.

Таблица 1. Элементный состав гумусовых веществ чернозема типичного при различном землепользовании, М±m·t₀₅, мас.%

Table 1. Elemental composition of humic substances in the typical chernozem under different land use, M±m·t₀₅, wt.%

Уголье, вещество	Зольность, %	С	Н	N	O
Целина, ЛГВ	7,01±1,16	41,76±2,66	6,72±0,45	3,58±0,20	47,94±3,92
Пар, ЛГВ	6,54±0,84	38,14±2,18	5,75±0,17	4,10±0,37	52,01±2,11
Целина, ГК-2	6,14±0,74	58,31±0,47	3,49±0,32	3,37±0,24	34,83±0,85
Пар, ГК-2	5,74±0,55	57,78±0,38	3,15±0,25	3,22±0,15	35,85±0,64

Таблица 2. Влияние бесменного пара на теплоту сгорания гумусовых веществ чернозема типичного, кДж/г

Table 2. Effect of continuous bare fallow on the heat of combustion of humus substances in the typical chernozem, kJ/g

ЛГВ, целина	ЛГВ, пар	ГК-2, целина	ГК-2, пар
11,01	9,19	19,01	18,45



Таблица 3. Влияние бесменного пара на элементный состав гумусовых веществ чернозема типичного, ат.%.
Table 3. Effect of continuous bare fallow on the elemental composition of humic substances in the typical chernozem, atom. %

Угодье, вещество	C	H	N	O	H:C	O:C	C:N	ω
Целина, ЛГВ	26,0	49,7	1,90	22,4	1,91	0,86	13,7	-0,19
Пар, ЛГВ	25,6	45,9	2,3	26,2	1,79	1,02	11,1	+0,25
Целина, ГК-2	45,2	32,2	2,3	20,3	0,71	0,45	19,7	+0,18
Пар, ГК-2	46,2	30,0	2,2	21,6	0,65	0,47	21,0	+0,29

Под влиянием бесменного пара в составе ЛГВ на 3,8 ат.% уменьшилось содержание водорода, тогда как количество азота и кислорода возросло на 0,4 и 3,8 ат.% соответственно, в то время как содержание углерода практически не изменилось. Это отразилось на величинах атомных отношений. Отношение H:C снизилось до 1,79, а отношение O:C возросло до 1,02. Величина отношения C:N оказалась равной 11,1. Несмотря на увеличение количества азота в составе ЛГВ чернозема бесменного пара, обогащенность их азотом остается на низком уровне. Степень окисленности возросла до +0,25.

Как известно, в паровые поля растительные остатки не поступают, что на фоне усиления аэрации пахотного слоя, обусловленного ежегодными механическими обработками, способствует активной микробиологической деструкции наиболее нестойких органических соединений почвы. В результате этого, согласно данным элементного анализа в условиях бесменного пара, вследствие активизации минерализационных процессов ЛГВ чернозема типичного теряют алифатические фрагменты и обогащаются устойчивыми азотсодержащими циклическими структурами. Наряду с этим в их составе существенно возросла доля компонентов, обогащенных кислородсодержащими группировками.

В отличие от ЛГВ в элементном составе ГК-2 целинного чернозема преобладает углерод, содержание которого составило 45,2 ат.%.

Следующим по значимости элементом является водород, содержащийся в количестве 32,2 ат.%, далее следуют кислород и азот, их содержание равно 20,3 и 2,3 ат.% соответственно. Величина атомного отношения H:C равна 0,71 и свидетельствует о заметном вкладе конденсированных циклических структур в состав молекул ГК-2 чернозема. ГК-2 целинного чернозема имеют очень низкую обогащенность азотом, на что указывает величина отношения C:N равная 19,7. Величина атомного отношения O:C равна 0,45, а степень окисленности +0,18.

Таким образом, в отличие от ЛГВ ГК-2 целинного чернозема преимущественно состоят из обедненных азотом, окисленных циклических структур.

Под влиянием бесменного пара с элементарным составом ГК-2 произошли определенные изменения. Содержание водорода уменьшилось на 2,2 ат.%, тогда как количество кислорода возросло на 1,3 ат.%. Изменения с содержанием углерода и азота менее существенные. Величина атомного отношения H:C уменьшилась с 0,71 до 0,65, а атомные отношения O:C, C:N и степень окисленности возросли с 0,45 до 0,47, с 19,7 до 21,0 и с +0,18 до +0,29 соответственно.

Таким образом, трансформация ГК-2 чернозема типичного под влиянием бесменного пара обусловлена потерей ими алифатических азотсодержащих фрагментов и увеличением в их составе доли окисленных циклических структур.

В целом гуматы кальция по сравнению с лабильными гумусовыми веществами оказались более устойчивыми к микробиологическому воздействию, хотя основные черты их трансформации схожи и заключаются в увеличении доли окисленных циклических компонентов в составе молекул.

Результаты элементного анализа обычно используются для графико-статистического анализа по Д. Ван Кревелену, позволяющему выяснить направленность трансформации гумусовых веществ [3, 8, 15].

Согласно полученным данным (рис. 1), трансформация ЛГВ и ГК-2 чернозема типичного под влиянием бесменного пара обусловлена процессами деметилирования (потеря групп CH_3), окисления и дегидрогенизации. При переходе от ЛГВ к ГК-2 отчетливо выражены процессы дегидратации и дегидрогенизации.

Наряду с этим для интерпретации данных элементного анализа был использован подход, предложенный Г.И. Глебовой [2], представляющий собой построение диаграммы в координатах: степень окисленности (ω) — величина отношения H:C (рис. 2). Из рисунка 2 следует, что ЛГВ целинного чернозема расположены в верхней левой части диаграммы. Область расположения ЛГВ чернозема бесменного пара расположена ниже и существенно сдвинута вправо. Обусловлено это тем, что ЛГВ при бесменном паровании чернозема в результате активно протекающих минерализационных процессов теряют алифатические группы CH_2 и CH_3 , обогащаются кислородсодержащими группировками и подвергаются окислению. Очень интенсивно проявляются эти процессы при переходе от ЛГВ к ГК-2 одинакового земледелия, а в наибольшей мере они характерны для ГК-2 чернозема бесменного пара.

Заключение. В составе ЛГВ чернозема целинного преобладают алифатические восстановленные структуры с низкой обогащенностью азотом. В составе ГК-2, напротив, ведущую роль играют конденсированные циклические структуры, обуславливающие более высокий энергетический потенциал этой фракции.

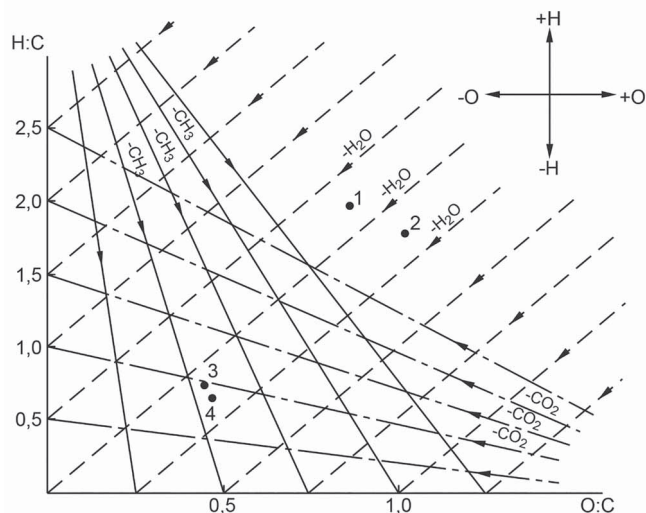


Рисунок 1. Диаграмма атомных отношений H:C-O:C (по Д. Ван Кревелену):
1 — целина ЛГВ; 2 — пар ЛГВ; 3 — целина ГК-2; 4 — пар ГК-2
Figure 1. Diagram of atomic ratios H:C-O:C (according to D. Van Crevelen):
1 — virgin soil LHS; 2 — bare fallow LHS; 3 — virgin soil calcium humates;
4 — bare fallow calcium humates

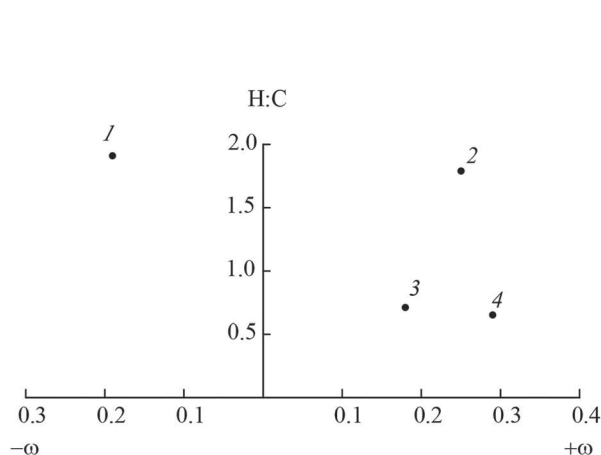


Рисунок 2. Диаграмма атомных отношений H:C и степени окисленности:
1 — целина ЛГВ; 2 — пар ЛГВ; 3 — целина ГК-2; 4 — пар ГК-2
Figure 2. Diagram of H:C atomic ratios and oxidation level: 1 — virgin soil LHS;
2 — bare fallow LHS; 3 — virgin soil calcium humates; 4 — bare fallow calcium humates



Под влиянием бесменного пара активизируются процессы минерализации, ЛГВ и ГК-2 чернозема типичного теряют алифатические фрагменты и обогащаются устойчивыми окисленными циклическими структурами.

Отсутствие ежегодно поступающих растительных остатков, изменение гидротермического режима и усиление аэрации в условиях бесменного парования способствуют тому, что трансформация ЛГВ и ГК-2 чернозема типичного под влиянием бесменного пара преимущественно обусловлена процессами деметилирования (потеря групп CH_3), окисления и дегидрогенизации. При переходе от ЛГВ к ГК-2 отчетливо выражены процессы дегидратации и дегидрогенизации. В целом гуматы кальция по сравнению с лабильными гумусовыми веществами характеризуются гораздо более высокой степенью конденсированности и окисленности молекул и более высоким энергетическим потенциалом.

Список источников

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 288 с.
2. Глебова Г.И., Орлов Д.С. Элементный состав и коэффициенты экстинкции гематомелановых кислот // Научные доклады Высшей школы. Биологические науки. 1980. № 9. С. 95-107.
3. Дергачева М.И., Некрасова М.А., Васильева Д.И., Фадеева В.И. Элементный состав гуминовых кислот целинных черноземов разных условий формирования // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 10 (146). С. 87-92.
4. Кленов Б.М., Якутин М.В. Экологическая устойчивость гумуса почв Западной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 4. № 2. С. 10-16.
5. Когут Б.М. Органическое вещество чернозема // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 39-55. doi: 10.19047/0136-1694-2017-90-39-55
6. Когут Б.М., Булкина Л.Ю. Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. 1987. № 4. С. 143-145.
7. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
8. 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
9. Лебедева И.И., Королева И.Е., Гребенников А.М. Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 16-26. doi: 10.19047/0136-1694-2013-71-16-26
10. Мамонтов В.Г. Изменение компонентного состава гумуса чернозема обыкновенного под влиянием агрогенеза // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63. № 4 (376). С. 83-86.
11. Мамонтов В.Г. Общее почвоведение. 2-е изд., перераб. и доп. М.: КНОРУС, 2023. 554 с.

Информация об авторах:

Мамонтов Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2563-8783>, Scopus ID: 5761147770, Researcher ID: AAE-7138-2022, mamontov1954@inbox.ru

Беляева Светлана Алексеевна, аспирант, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1347-0741>, Researcher ID: GZM-5052-2022, belyaeva@rgau-msha.ru

Information about the authors:

Vladimir G. Mamontov, doctor of biological sciences, professor, professor of the department of soil science, geology and landscape science,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2563-8783>, Scopus ID: 5761147770, Researcher ID: AAE-7138-2022, mamontov1954@inbox.ru

Svetlana A. Belyaeva, post-graduate student, assistant of the department of soil science, geology and landscape science,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1347-0741>, Researcher ID: GZM-5052-2022, belyaeva@rgau-msha.ru

12. Мамонтов В.Г., Соколовская Е.Л. Элементный и молекулярно-массовый состав лабильных гумусовых веществ чернозема обыкновенного Каменной Степи // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018. Вып. 1. С. 130-138.

13. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Московского университета, 1990. 324 с.

14. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.

15. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высшая школа, 2005. 558 с.

16. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

17. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.

18. Фокин А.Д., Идеи В.В. Докучаева и проблема органического вещества почв // Почвоведение. 1996. № 2. С. 187-196.

19. Щеглов Д.И. Черноземы центральных областей России: современное состояние и направление эволюции // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования. Воронеж: Научная книга, 2017. С. 5-18.

20. Rice, J.A., MacCarthy, P. (1991). Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Org. Geochem.*, vol. 17, no. 5. pp. 635-648.

21. Stevenson, F.J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reaction*. N.Y., JohnWiley&Sons, 496 p.

References

1. Aleksandrova, L.N. (1980). *Organicheskoe veshchestvo pochvy i protsessy ego transformatsii* [Soil organic matter and processes of its transformation]. Leningrad, Nauka Publ., 288 p.
2. Glebova, G.I., Orlov, D.S. (1980). Ehlementnyi sostav i koefffitsienty ehkhtintskiiy gematomelanovykh kislot [Elemental composition and extinction coefficients of hematomelanic acids]. *Nauchnye doklady Vyshei shkoly. Biologicheskaya nauka*, no. 9, pp. 95-107.
3. Dergacheva, M.I., Nekrasova, M.A., Vasil'eva, D.I., Fadeeva, V.I. (2012). Ehlementnyi sostav guminovykh kislot tselinykh chernozemov raznykh usloviiy formirovaniya [Elemental composition of humic acids of virgin chernozems of different conditions of formation]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of the Orenburg State University], no. 10 (146), pp. 87-92.
4. Klenov, B.M., Yakutin, M.V. (2019). Ehkologicheskaya ustoichivost' gumusa pochv Zapadnoi Sibiri [Ecological sustainability of humus in soils of Western Siberia]. *Interehkspo Geo-Sibir* [Interexpo GEO-Siberia], vol. 4, no. 2, pp. 10-16.
5. Kogut, B.M. (2017). Organicheskoe veshchestvo chernozema [Chernozem organic matter]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev soil bulletin], issue 90, pp. 39-55. doi: 10.19047/0136-1694-2017-90-39-55
6. Kogut, B.M., Bulkina, L.Yu. (1987). Sravnitel'naya otsenka vzproizvodimosti metodov opredeleniya labil'nykh form gumusa chernozemov [Comparative evaluation of the reproducibility of methods for determining labile forms of chernozem humus]. *Pochvovedenie* [Soil science], no. 4, pp. 143-145.
7. Kononova, M.M. (1963). *Organicheskoe veshchestvo pochvy. Ego priroda, svoystva i metody izucheniya* [Soil organic matter. Its nature, properties and methods of study]. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 314 p.

8. Krylov, V.A., Mamontov, V.G., Lazarev, V.I., Ryzhkov, O.V. (2022). Vliyanie razlichnogo zemlepol'zovaniya na ehlementnyi sostav labil'nykh gumusovykh veshchestv chernozema tipichnogo Kurskoi oblasti [The influence of different land use on the elemental composition of labile humus substances of typical chernozem of the Kursk region]. *Pochvovedenie* [Soil science], no. 8, pp. 981-989. doi: 10.31857/S0032180X22080081

9. Lebedeva, I.I., Koroleva, I.E., Grebennikov, A.M. (2013). Kontseptsiya ehvolyutsii chernozemov v usloviyakh agroehkosisistem [The concept of the evolution of chernozems in agroecosystems]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev soil bulletin], issue 71, pp. 16-26. doi: 10.19047/0136-1694-2013-71-16-26

10. Mamontov, V.G. (2020). Izmenenie komponentnogo sostava gumusa chernozema obyknovennogo pod vliyaniem agrogenеза [Change in the component composition of humus of ordinary chernozem under the influence of agro-genesis]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaystvennyi zhurnal* [International agricultural journal], vol. 63, no. 4 (376), pp. 83-86.

11. Mamontov, V.G. (2023). *Obshchee pochvovedenie* [General soil science]. Moscow, KNORUS Publ., 554 p.

12. Mamontov, V.G., Sokolovskaya, E.L. (2018). Ehlementnyi i molekulyarno-massovyi sostav labil'nykh gumusovykh veshchestv chernozema obyknovennogo Kamennoi Stepi [Elemental and molecular-mass composition of labile humus substances in the ordinary chernozem of the Kamennaya Steppe]. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaystvennoi akademii* [Izvestiya of Timiryazev agricultural academy], issue 1, pp. 130-138.

13. Orlov, D.S. (1990). *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii* [Soil humic acids and the general theory of humification]. Moscow, Moscow University Publishing house, 324 p.

14. Orlov, D.S., Biryukova, O.N., Sukhanova, N.I. (1996). *Organicheskoe veshchestvo pochv Rossiiskoi Federatsii* [Organic matter of soils of the Russian Federation]. Moscow, Nauka Publ., 256 p.

15. Orlov, D.S., Sadovnikova, L.K., Sukhanova, N.I. (2005). *Khimiya pochv* [Soil chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 558 p.

16. Semenov, V.M., Kogut, B.M. (2015). *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow, GEOS Publ., 233 p.

17. Tyurin, I.V. (1937). *Organicheskoe veshchestvo pochv i ego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii. Uchenie o pochvennom gumuse* [Soil organic matter and its role in pedogenesis and fertility. The doctrine of soil humus]. Moscow, Leningrad, Sel'khozgiz Publ., 287 p.

18. Fokin, A.D. (1996). Idei V.V. Dokuchaeva i problema organicheskogo veshchestva pochv [V.V. Dokuchaev's ideas and the problem of soil organic matter]. *Pochvovedenie* [Soil science], no. 2, pp. 187-196.

19. Shcheglov, D.I. (2017). Chernozemy tsentral'nykh oblastei Rossii: sovremennoe sostoyanie i napravlenie ehvolyutsii [Chernozems of the central regions of Russia: current state and direction of evolution]. *Chernozemy tsentral'noi Rossii: genезis, ehvolyutsiya i problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Proceedings of the Chernozems of Central Russia: genesis, evolution and problems of rational use: a collection of materials of a scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the Department of Soil Science and Land Management]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publ., pp. 5-18.

20. Rice, J.A., MacCarthy, P. (1991). Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Org. Geochem.*, vol. 17, no. 5. pp. 635-648.

21. Stevenson, F.J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reaction*. N.Y., JohnWiley&Sons, 496 p.

