

Особенности содержания и состава подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных агрегатах чернозема типичного при применении агробиотехнологий

Н. П. МАСЮТЕНКО, А. А. ДЮКАРЕВА, М. Н. МАСЮТЕНКО, А. В. КУЗНЕЦОВ

Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70 б, Курск, 305021, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью изучения особенностей распределения содержания и состава подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных агрегатах чернозема типичного слабоэродированного при применении агробиотехнологий. Работу выполняли в 2022–2024 гг. в Курской области. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: измельченная побочная продукция сельскохозяйственных культур (ПП); ПП + 10 кг д.в. N на 1 т ПП (ПП+N); ПП + микробиологические препараты (ПП+МБП); ПП+МБП+N. Контролем служил вариант без применения ПП, N и МБП. Побочную продукцию после обработки микробиологическими препаратами и внесения азота заделывали в слой почвы 10...12 см. Основную обработку проводили через 1,0...1,5 месяца. Основу МБП составляли грибы *Trichoderma longibrachiatum* и консорциум бактерий родов *Lactobacillus*, *Azotobacter* и др. В рамках изучаемых агробиотехнологий этими препаратами обрабатывали семена, почву, посевы и ПП. В варианте ПП+МБП выявлена тенденция к повышению содержания углерода подвижных гумусовых веществ (Спгв) в агрегатах 5...3, 2...1 и 1...0,5 мм, подвижных гуминовых кислот (Спгк) – в агрегатах 2...1 мм, подвижных фульвокислот (Спфк) – в агрегатах 5...3 и 1...0,5 мм, по отношению к контролю. Добавление N к ПП+МБП способствовало достоверному увеличению содержания и накоплению в агрегатах 5...3 мм Спгв, Спгк и Спфк, в агрегатах 2...1 и 1...0,5 мм – Спгв и Спфк, по сравнению с контролем. В варианте ПП+МБП+N установлена очень высокая положительная корреляция между содержанием Спгв и диаметром агрегатов ($r=0,99$). В контрольном варианте выявлена тенденция к повышению содержания Спгв в агрегатах 2...1 мм, Спгк – в агрегатах 1...0,5 мм, Спфк – в агрегатах 2...1 мм. Изученные агрономически ценные агрегаты отличаются большей обогащенностью Спгк (33,1...38,9 %) и лучшим качеством ПГВ, чем нефракционированная почва (31,7...34,7 %), особенно агрегаты 5...3 мм.

Ключевые слова: агробиотехнологии; микробиологические препараты; побочная продукция; азотные минеральные удобрения; чернозем типичный слабоэродированный; агрономически ценные агрегаты, подвижные гумусовые вещества, подвижные гуминовые кислоты, подвижные фульвокислоты.

Сведения об авторах: Н. П. Масютенко, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник (e-mail: vninp@mail.ru); А. А. Дюкарева, аспирант (e-mail: ok.anan@yandex.ru); М. Н. Масютенко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: avatar_dark@mail.ru); А. В. Кузнецов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: kuznecov.1983@mail.ru).

Для цитирования: Особенности содержания и состава подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных агрегатах чернозема типичного при применении агробиотехнологий / Н. П. Масютенко, А. А. Дюкарева, М. Н. Масютенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2026. Т. 40. № 4. С. 5–11. doi: 10.53859/02352451_2026_40_4_5.

Features of the content and composition of mobile humic substances in agronomically valuable aggregates of typical chernozem using agrobiotechnology

N. P. Masyutenko, A. A. Dyukareva, M. N. Masyutenko, A. V. Kuznetsov

Federal Agricultural Kursk Research Center, ul. Karla Marksa, 70 b, Kursk, 305021, Russian Federation

Abstract. The study was conducted to investigate the distribution characteristics of the content and composition of mobile humic substances in agronomically valuable aggregates of typical slightly eroded chernozem using agrobiotechnology. The work was carried out in 2022–2024 in the Kursk region. The experimental design involved studying the following options: crushed by-products of agricultural crops (CP); CP + 10 kg of active ingredient N per 1 ton of CP (CP + N); CP + microbiological preparations (CP + MBP); CP + MBP + N. The control option was without the use of CP, N, or MBP. After treatment with microbiological preparations and the application of nitrogen, the by-products were incorporated into the soil layer of 10–12 cm. The main treatment was carried out after 1.0–1.5 months. The MBP were based on *Trichoderma longibrachiatum* fungi and a consortium of bacteria of the *Lactobacillus*, *Azotobacter*, and other genera. Within the framework of the studied agrobiotechnologies, these preparations were used to treat seeds, soil, crops, and CP. In the CP+MBP variant, a tendency towards an increase in the carbon content of mobile humic substances (C_{mhs}) in aggregates of 5–3, 2–1, and 1–0.5 mm, mobile humic acids (C_{mha}) in aggregates of 2–1 mm, and mobile fulvic acids (C_{mfa}) in aggregates of 5–3 and 1–0.5 mm, compared to the control, was revealed. The addition of N to CP+MBP contributed to a reliable increase in the content and accumulation of C_{mhs} , C_{mha} , and C_{mfa} in aggregates of 5–3 mm, and C_{mhs} and C_{mfa} in aggregates of 2–1 and 1–0.5 mm, compared to the control. In the CP+MBP+N variant, a very high positive correlation was established between the C_{mhs} content and aggregate diameter ($r=0.99$). In the control variant, a tendency towards an increase in the C_{mhs} content was revealed in aggregates of 2–1 mm, C_{mha} – in aggregates of 1–0.5 mm, C_{mfa} – in aggregates of 2–1 mm. The studied agronomically valuable aggregates were characterised by a higher enrichment in C_{mha} (33.1–38.9%) and better quality of the mobile humic substances than the unfractionated soil (31.7–34.7%), especially in aggregates of 5–3 mm.

Keywords: agrobiotechnology; microbiological preparations; by-products; nitrogen mineral fertilizers; typical slightly eroded chernozem; agronomically valuable aggregates, mobile humic substances, mobile humic acids, mobile fulvic acids.

Author Details: N. P. Masyutenko, D. Sc. (Agr.), chief research fellow (e-mail: vninp@mail.ru); A. A. Dyukareva, post graduate student (e-mail: ok.anan@yandex.ru); M. N. Masyutenko, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: avatar_dark@mail.ru); A. V. Kuznetsov, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: kuznecov.1983@mail.ru).

For citation: Masyutenko NP, Dyukareva AA, Masyutenko MN, et al. [Features of the content and composition of mobile humic substances in agronomically valuable aggregates of typical chernozem using agrobiotechnology]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2026;40(4):5–11. Russian. doi: 10.53859/02352451_2026_40_4_5.

Агрегатобразование выступает одним из важнейших механизмов физической стабилизации и связывания органического углерода в почве, при котором создаётся её сложная структура [1, 2]. Почвенная структура защищает органическое вещество, ограничивая его доступность для редуцентов, и влияет на скорость его оборачиваемости и плодородие почв [3, 4]. В то же время содержание органического углерода в почве служит одним из основных факторов, контролирующих устойчивость её агрегатов [5, 6, 7]. По мнению исследователей, основная часть органического углерода ($C_{орг}$) сосредоточена в макроагрегатах [7, 8]. Потери $C_{орг}$ почвой больше связаны с разрушением макроагрегатов, нежели микроагрегатов [9]. Их разрушение становится ведущей причиной потерь $C_{орг}$ в результате землепользования. При сокращении доли крупных агрегатов в распахаемых почвах происходит их обеднение потенциально-минерализуемыми формами гумусовых веществ.

Особую роль в формировании почвенной структуры играет активная часть гумуса – подвижные гумусовые вещества [10, 11, 12]. Они выступают молодой и наиболее трансформируемой фракцией почвенного органического вещества, непрочной связанной с минеральной частью и обогащенной азотом ($C:N < 12$) [13]. Н. Л. Кураченко в своих исследованиях подтверждает роль подвижных гумусовых соединений в процессах возникновения, развития, стабилизации и деградации структурных элементов в агрегатах [14]. Однако участие новообразованных гумусовых веществ в формировании агрономически ценной и водопрочной структуры изучено еще недостаточно.

С другой стороны, современная агроэкологическая концепция воспроизводства почвенного органического вещества предполагает закрепление в почве углерода органических субстратов (секвестрацию) со снижением их минерализации [15, 16, 17]. Следует подчеркнуть, что образование крупных агрегатов служит необходимым условием секвестрации (связывания) органического углерода в почвах [18, 19, 20]. К крупным относят агрегаты размером $> 0,25$ мм.

В последние годы актуальна разработка агробиотехнологий, способствующих увеличению секвестрации углерода (C sequestration), то есть переводу CO_2 атмосферы в живое органическое вещество растений (фотосинтез) с последующей трансформацией формирующейся мортмассы в гумус с периодом полного разложения (минерализации) составляющих его новообразованных компонентов от 10 до 100 лет [14]. Агробиотехнологии необходимы для технологического обеспечения биоэкономики.

Нами предложены агробиотехнологии, включающие применение микробиологических препаратов (МБП) (на основе почвенного гриба и спор *Trichoderma longibrachiatum* и консорциума бактерий рода *Lactobacillus* и др.) и измельченной побочной продукции (ПП) сельскохозяйственных культур без или с азотными минеральными удобрениями [21, 22, 23]. МБП обрабатывают семена, почву перед посевом, посевы во время вегетации, измельченную побочную продукцию сельскохозяйственных культур перед заделкой в почву, компостируют в течение 1,0...1,5 месяца, затем проводят основную обработку. При применении этих агробиотехнологий проис-

ходит улучшение структурного состояния почвы [22, 23].

Исходя из сказанного, изучение содержания подвижных гумусовых веществ и их состава в агрономически ценных макроагрегатах различного диаметра при применении агробиотехнологий, актуально и перспективно. Это особенно важно для выяснения механизмов секвестрации органического углерода и стабилизации его в почвенных агрегатах. Эти вопросы сегодня недостаточно изучены.

Цель исследований – изучить особенности распределения содержания и состава подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных агрегатах чернозема типичного слабоэродированного при применении агробиотехнологий.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в полевом стационарном опыте с агробиотехнологиями в 2022–2024 гг. на опытном поле Курского ФАНЦ (с. Панино, Медвенский р-н, Курская обл.), расположенном в середине склона северной экспозиции с уклоном $1,5...3,0^\circ$, в звене зернопропашного севооборота: овес посевной сорта Борец – люпин белый сорта Дега – ячмень сорта Суздавец. Схема опыта включала следующие варианты: 1) без ПП, N и МБП (контроль); 2) ПП; 3) ПП + 10 кг д.в. N на 1 т побочной продукции (ПП+N); 4) ПП + МБП; 5) ПП + МБП + N.

В опыте применяли микробиопрепараты на основе почвенного гриба и спор *Trichoderma longibrachiatum* (ПР-1) и консорциума бактерий *Lactobacillus plantarum* 34, *Lactobacillus fermentum* 27, *Lactobacillus lactis* subsp. *lactis* AMS, *Saccharomyces cerevisiae* (carlsbergensis), *Azotobacter chroococcum* A-41, *Bacillus megaterium* Ф-3 (ПР-2). Во избежание конфликта интересов марки препаратов и производители не указаны. Микробиопрепаратами проводили обработку семян (2 л/т ПР-1 + 1 л/т ПР-2), почвы перед посевом (5 л/га ПР-1 + 2 л/га ПР-2), посевов (2 л/га ПР-1 + 1 л/га ПР-2) 2 раза в течение вегетации (овса посевного – в фазе кущения и фазе трубкования; люпина белого – в фазе всходов и фазе ветвления; ячменя – в фазе кущения и через 2 недели после выхода в трубку), измельченной побочной продукции (5 л/га ПР-1 + 2 л/га ПР-2). Обработанную МБП или N измельченную побочную продукцию заделывали в почву на глубину 10...12 см, а через 1,0...1,5 месяца проводили основную обработку почвы.

Общая площадь опыта – 0,52 га, размер делянки – 240 м² (40 м × 6 м), учетная площадь – 152 м² (38 м × 4 м), количество вариантов – 5, повторность – 3-кратная, размещение вариантов – систематическое. Технология возделывания сельскохозяйственных культур – общепринятая для региона, за исключением изучаемых приемов.

В опыте в качестве азотных минеральных удобрений использовали аммиачную селитру, которую вносили навесным разбрасывателем РН-0,8. Обработку измельченных растительных остатков биопрепаратами после уборки культур проводили опрыскивателем ОП-2000/24, заделку измельченных растительных остатков в почву – дисковыми боронами на глубину 10...12 см.

Почва опытного участка – чернозем типичный среднеэродированный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. В слое почвы 0...20 см содержание гумуса (по Тюрину) составляло $5,24 \pm 0,07$ %;

подвижного фосфора (по Чирикову) – $11,4 \pm 0,3$ мг/100 г; подвижного калия (по Чирикову) – $9,9 \pm 0,3$ мг/100 г; обменного кальция – $21,1 \pm 0,3$ мг-экв./100 г, обменного магния – $5,2 \pm 0,1$ мг-экв./100 г (трилонометрическим методом); реакция среды слабокислая ($pH_{вод.} - 6,3 \pm 0,1$; $pH_{KCl} - 5,3 \pm 0,1$, потенциометрическим методом).

Для изучения содержания и состава подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных фракциях в опыте отбирали ненарушенные образцы почвы массой по 2 кг по диагонали делянки из 3 точек лопатой в слое 0...20 см после уборки урожая перед заделкой в почву измельченной побочной продукции сельскохозяйственных культур и через 1,0...1,5 месяца перед основной обработкой почвы. Свежие образцы почвы просеивали через набор сит 5, 3, 2, 1, 0,5 мм. Оставляли для изучения три фракции агрономически ценных агрегатов: 5...3, 2...1, 1...0,5 мм. В выделенных почвенных фракциях и в нефракционированной почве определяли содержание и состав подвижных гумусовых веществ – в 0,1 н вытяжке NaOH без декальцирования в модификации Почвенного института им. В. В. Докучаева [12], влажность – общепринятым термостатно-весовым методом.

Оценку гидротермических условий проводили по авторской методике (*Методика проведения комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов* / Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, М. Н., Масютенко и др. Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. 37 с.). Установлено, что 2022 (ГТК=1,13) и 2023 (ГТК=1,15) годы характеризовались обеспеченным увлажнением, 2024 г. был засушливым (ГТК=0,78). Отклонения ГТК от среднепогодной в 2022 и 2023 гг. – низкие, а в 2024 г. – выше среднего. Неустойчивость ГТК по месяцам отмечена в 2022 и 2023 гг. как высокая, а в 2024 г. – средняя. Среднее многолетнее значение ГТК для территории опытного поля – 1,1 ед.

Экспериментальные данные обработаны методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием программных средств Microsoft office EXCEL, STATISTIKA, STATGRAF.

Результаты и обсуждение. Ранее нами показано, что агрегаты 5...3, 2...1 и 1...0,5 мм в черноземе типичном составляют 58...78 % от агрономически ценных агрегатов (10...0,25 мм) [22, 23].

За период с осени 2022 г. по осень 2024 г. (5 сроков) среднее содержание подвижных гумусовых веществ (Спгв) в агрономически ценных почвенных агрегатах 5...3 мм в слое почвы 0...20 см было наибольшим при применении ПП+МБП+N (табл. 1). Оно достоверно превышало содержание Спгв в контроле на 567 мг/кг. Также за этот период времени применение ПП+МБП+N способствовало повышению содержания подвижных гуминовых кислот в агрономически ценных агрегатах почвы 5...3 мм, его средние значения достоверно превышали таковое в контроле на 285 мг/кг.

При использовании с измельченной побочной продукцией микробиологических препаратов отмечена тенденция к увеличению содержания Спгв, по сравнению с контролем, в агрегатах 5...3 мм на 235 мг/кг при $HCP_{05} = 334$ мг/кг и содержания Спгк на 74 мг/кг при $HCP_{05} = 200$ мг/кг.

Достоверное влияние на содержание подвижных фульвокислот (Спфк) в агрегатах 5...3 мм почвы за изучаемый период оказало применение ПП+МБП+N

Таблица 1. Содержание и состав подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных агрегатах чернозема типичного слабокислого (среднее за период с 01.09 2022 г. по 11.11.2024 г., $n=5$)

Вариант	Спгв, мг/кг	Спгк, мг/кг	Спфк, мг/кг	Спгк/ Спфк
5...3 мм				
Контроль	3776	1403	2372	0,61
ПП	3853	1410	2443	0,57
ПП + N	3692	1266	2426	0,52
ПП + МБП	4011	1477	2534	0,59
ПП + МБП + N	4343	1688	2655	0,64
HCP_{05}	334	200	144	0,05
2...1 мм				
Контроль	3852	1433	2399	0,60
ПП	3780	1364	2479	0,56
ПП + N	3697	1261	2479	0,52
ПП + МБП	3999	1501	2477	0,60
ПП + МБП + N	4226	1615	2661	0,63
HCP_{05}	270	186	131	0,05
1...0,5 мм				
Контроль	3791	1450	2341	0,63
ПП	3864	1379	2485	0,55
ПП + N	3668	1215	2453	0,49
ПП + МБП	3998	1422	2577	0,55
ПП + МБП + N	4201	1613	2587	0,63
HCP_{05}	266	186	131	0,06

и ПП+МБП. При этом содержание Спфк было выше, чем в контроле, при применении ПП+МБП+N на 283, а ПП+МБП – на 162 мг/кг.

При применении ПП + МБП + N выявлена тенденция к увеличению отношения углерода подвижных гуминовых кислот к углероду подвижных фульвокислот (Спгк/Спфк), характеризующего качество подвижных гумусовых веществ, в агрегатах 5...3 мм за период исследования на 0,03 при $HCP_{05} = 0,05$.

Содержание подвижных гумусовых веществ (Спгв) в агрономически ценных почвенных агрегатах 2...1 мм и 1...0,5 мм также было наибольшим в опыте при применении ПП+МБП+N, и достоверно превышало содержание в контроле соответственно на 374 и на 410 мг/кг (см. табл.1). Также за этот период времени применение ПП+МБП+N способствовало повышению содержания подвижных фульвокислот в рассматриваемых агрономически ценных агрегатах почвы. Их средние значения были достоверно выше, чем в контроле, в агрегатах 2...1 мм на 262 мг/кг и в агрегатах 1...0,5 мм – на 246 мг/кг.

При использовании ПП+МБП и ПП+МБП+N, по сравнению с контролем, отмечена лишь тенденция к увеличению содержания Спгк в агрегатах 2...1 мм (при $HCP_{05} = 186$ мг/кг): при ПП+МБП – на 68 мг/кг, ПП+МБП+N – на 182 мг/кг. В агрегатах 1...0,5 мм тенденция к увеличению содержания Спгк выявлена только при применении ПП+МБП+N, где оно было на 182 мг/кг больше, чем в контроле, при $HCP_{05} = 186$ мг/кг.

Следует отметить, что при применении ПП+N отмечена тенденция к снижению содержания Спгв и Спгк, по сравнению с использованием только ПП, в агрегатах 5...3 мм, соответственно на 161 мг/кг ($HCP_{05} = 334$ мг/кг) и на 144 мг/кг ($HCP_{05} = 200$ мг/кг), в агрегатах 2...1 мм – на 83 мг/кг ($HCP_{05} = 270$ мг/кг) и на 103 мг/кг ($HCP_{05} = 186$ мг/кг), в агрегатах 1...0,5 мм

на 196 мг/кг ($HCP_{05}=266$ мг/кг) и на 164 мг/кг ($HCP_{05}=186$ мг/кг). Содержание Спфк в агрегатах 5...3 мм и 2...1 мм в вариантах ПП и ПП+N примерно одинаково, различия составляют 2...16 мг/кг, а в агрегатах 1...0,5 мм незначимо больше на 32 мг/кг в варианте с ПП.

При использовании ПП+МБП+N отмечена слабая тенденция снижения отношения Спгк/Спфк от 0,64 до 0,63 в ряду агрегатов 5...3 мм → 2...1 мм → 1...0,5 мм. Тенденции снижения отношения Спгк/Спфк в ряду агрегатов 5...3 мм → 1...0,5 мм отмечены и в других вариантах, за исключением контроля, в котором выявлена тенденция к увеличению отношений Спгк/Спфк в агрегатах 1...0,5 мм.

В контроле установлена тенденция к повышению Спгв в агрегатах 2...1 мм, по сравнению с агрегатами размером 5...3 мм и 1...0,5 мм (рис. 1), соответственно на 77 и 61 мг/кг ($HCP_{05}=105$ мг/кг), тогда как при применении измельченной побочной продукции, напротив, наименьшее в опыте содержание Спгв отме-

нию с агрегатами 5...3 мм на 47 мг/кг и с агрегатами 2...1 мм на 17 мг/кг при $HCP_{05}=62$ мг/кг (рис. 2). В ряду агрегатов 5...3 мм → 2...1 мм → 1...0,5 мм отмечена тенденция к снижению в них содержания Спгк при применении ПП+МБП+N с 1688 до 1613 мг/кг ($HCP_{05}=111$ мг/кг), а ПП+N – с 1266 до 1215 мг/кг ($HCP_{05}=73$ мг/кг). В остальных вариантах изменения в содержании Спгк по агрегатам были незначительными.

Зависимости содержания подвижных фульвокислот от размера агрономически ценных агрегатов в слое 0...20 см чернозема типичного слабоэродированного в изучаемых вариантах различны (рис. 3). В контроле и варианте с применением ПП+N содержание Спфк в агрегатах 2...1 мм незначимо превышало таковое в агрегатах 5...3 мм на 27 мг/кг и на 58 мг/кг в агрегатах 1...0,5 мм ($HCP_{05}=75$ мг/кг).

При внесении измельченной побочной продукции отмечена тенденция к увеличению содержания Спфк с уменьшением диаметра изучаемых агрегатов на 42 мг/кг при $HCP_{05}=58$ мг/кг. При добавлении к измельченной побочной продукции N отмечена тенденция к снижению содержания Спфк в агрегатах 5...3 мм и 1...0,5 мм на 50 и 23 мг/кг ($HCP_{05}=65$ мг/кг). Содержание Спфк в агрегатах 2...1 мм такое же, как при применении ПП без N.

При использовании с ПП микробиологических препаратов, по сравнению с агрегатами 2...1 мм, выявлена тенденция к повышению содержания Спфк в агрегатах 5...3 мм на 43 мг/кг и достоверное повышение его в агрегатах 1...0,5 мм на

100 мг/кг ($HCP_{05}=100$ мг/кг). То есть отмечено накопление подвижных фульвокислот в агрегатах 5...3 мм и 1...0,5 мм.

При использовании измельченной побочной продукции с N и с МБП значимых различий в содержании Спгв в изучаемых почвенных агрегатах не установлено. Выявлено недостоверное снижение содержания Спгв от 4343 до 4226 мг/кг ($HCP_{05}=141$ мг/кг) при применении ПП+МБП+N в ряду агрегатов: 5...3 мм → 2...1 мм → 1...0,5 мм. Установлена очень высокая положительная корреляция содержания Спгв с диаметром изучаемых агрегатов ($r=0,99$).

В контроле отмечена тенденция к повышению содержания Спгк в агрегатах 1...0,5 мм, по сравне-

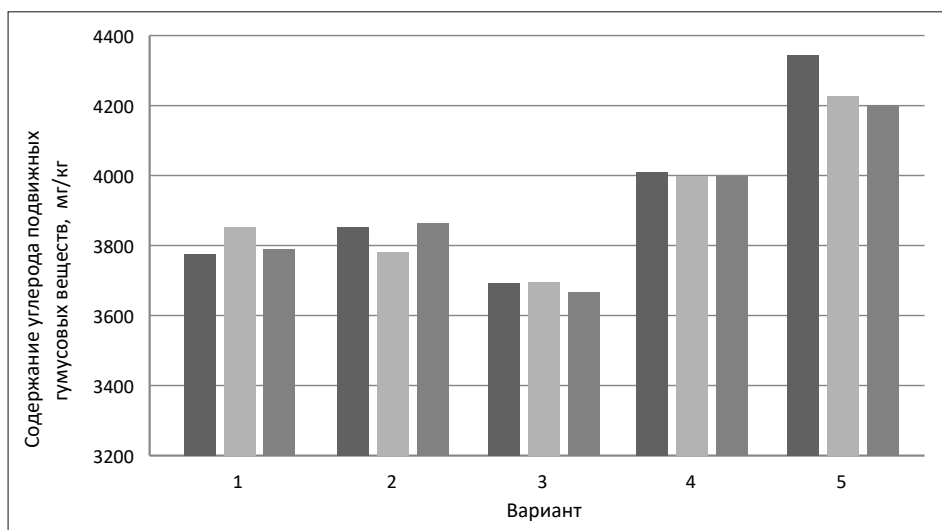


Рис. 1. Зависимость содержания подвижных гумусовых веществ от размера агрономически ценных агрегатов в слое 0...20 см чернозема типичного слабоэродированного: ■ – 5...3 мм, □ – 2...1 мм, ▒ – 1...0,5 мм.

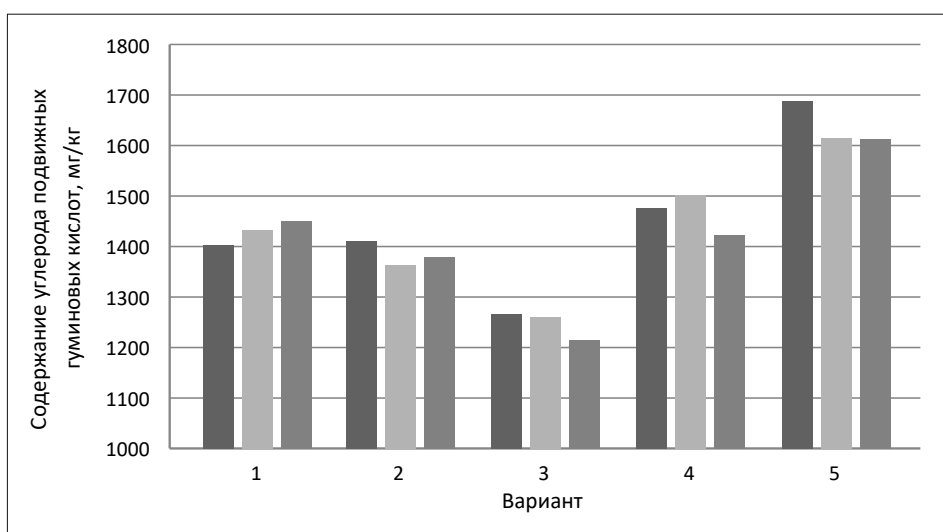


Рис. 2. Зависимость содержания подвижных гуминовых кислот от размера агрономически ценных агрегатов в слое 0...20 см чернозема типичного слабоэродированного: ■ – 5...3 мм, □ – 2...1 мм, ▒ – 1...0,5 мм.

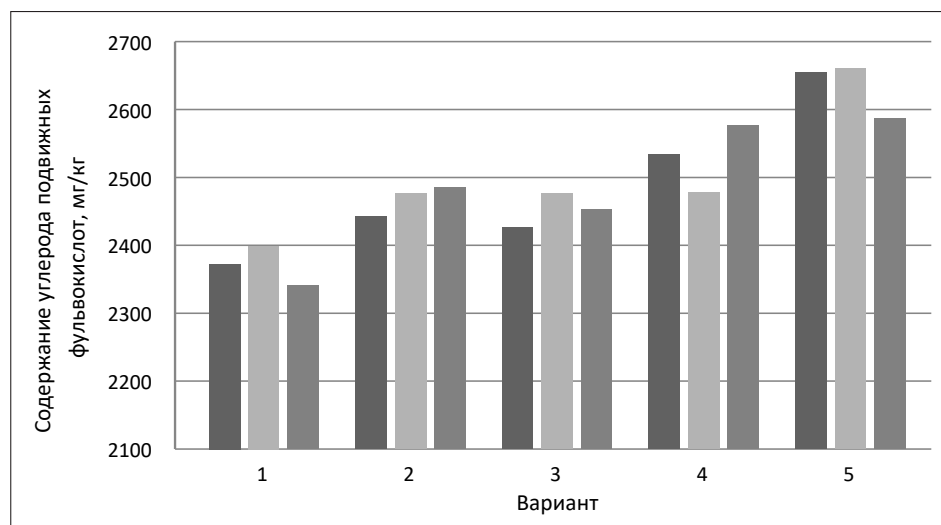


Рис. 3. Зависимость содержания подвижных фульвокислот от размера агрономически ценных агрегатов в слое 0...20 см чернозема типичного слабоэродированного: ■ – 5...3 мм, ■ – 2...1 мм, ■ – 1...0,5 мм.

При внесении ПП с N и МБП выявлена тенденция к накоплению Спфк в агрегатах 5...3 мм и 2...1 мм, по сравнению с агрегатами 1...0,5 мм на 68 и 74 мг/кг. Следует отметить, что содержание Спфк в агрегатах 5...3 мм и 2...1 мм превышает таковое в варианте ПП+МБП на 121 и 110 мг/кг, а его содержание в агрегатах 1...0,5 мм примерно одинаково при обеих технологиях.

Таблица 2. Содержание и состав подвижных гумусовых веществ в нефракционированном черноземе типичном слабоэродированном (среднее за период с 01.09.2022 г. по 11.11.2024 г., n=5)

Вариант	Спгв, мг/кг	Спгк, мг/кг	Спфк, мг/кг	Спгк/Спфк
Контроль	3862	1211	2651	0,46
ПП	4083	1354	2729	0,51
ПП + N	3496	1086	2410	0,45
ПП + МБП	3815	1312	2503	0,53
ПП + МБП + N	4404	1639	2765	0,59
НСР ₀₅	438	268	167	0,07

Особенности распределения Спфк по почвенным фракциям зависят от изучаемых факторов. Применение ПП способствует увеличению Спфк в агрегатах 1...0,5 мм, добавление N (ПП+N) – его снижению в агрегатах 5...3 мм и 1...0,5 мм. Применение ПП+МБП обеспечивает повышение Спфк в агрегатах 5...3 мм и 1...0,5 мм, а ПП+МБП+N – в агрегатах 5...3 мм и 2...1 мм.

Изучение содержания и состава подвижных гумусовых веществ в нефракционированной почве за этот период показало, что закономерности, выявленные

при исследовании агрегатов, по влиянию на содержание в них Спгв, Спгк, Спфк, изучаемых факторов, сохранились (табл. 2). Наибольшее в опыте влияние на содержание и состав подвижных гумусовых веществ в нефракционированной почве оказало применение ПП+МБП+N, выражающееся в значимом повышении величины изучаемых показателей, по сравнению с контролем.

Следует отметить, что в некоторых вариантах (контроле, ПП, ПП+МБП+N) содержание Спгв и Спфк в нефракционированной почве несколько превышает таковое в агрегатах. Из этого

следует, что их повышенное содержание может быть и в других неизучаемых фракциях.

С другой стороны, выявлено, что содержание Спгк выше в агрегатах 5...3, 2...1, 1...0,5 мм, чем в нефракционированной почве. Следовательно, изучаемые агрегаты отличаются большей обогащенностью Спгк, чем нефракционированная почва. Отсюда и более низкие значения отношения Спгк/Спфк в нефракционированной почве, и достоверное его увеличение, по сравнению с контролем, при применении ПП+МБП и ПП+МБП+N на 0,07 и 0,13 при $НСР_{05}=0,07$ ед.

Во всех вариантах опыта отмечено, что в составе подвижных гумусовых веществ агрономически ценных агрегатов за изучаемый период содержалось больше подвижных гуминовых кислот, чем в неразделенной на структурные отделности почве (табл. 3). Если в нефракционированной почве содержание Спгк составляло 31,7...34,7 % от Спгв, то в изучаемых структурных почвенных отделностях – от 33,1 до 38,9 %. Следовательно, агрономически ценные агрегаты обогащены подвижными гуминовыми кислотами, из них в большей степени агрегаты 5...3 мм (34,3...38,9 %).

В нефракционированной почве при применении ПП+МБП+N выявлено достоверное увеличение Спгк в составе подвижных гумусовых веществ, по сравнению с контролем, на 1,9 %. В агрегатах 5...3 мм и 2...1 мм установлена тенденция к увеличению Спгк в составе Спгв на 1,7 % при $НСР_{05}=2,5$ % и на 1,0 % при $НСР_{05}=2,5$ %, по сравнению с контролем, а в агрегатах 1...0,5 мм различия незначительны.

Таблица 3. Состав подвижных гумусовых веществ в нефракционированной почве и в агрономически ценных агрегатах (среднее за период с 01.09.2022 г. по 11.11.2024 г.), %

Вариант	Почва нефракционированная		Агрономически ценные агрегаты					
			5...3 мм		2...1 мм		1...0,5 мм	
	Спгк	Спфк	Спгк	Спфк	Спгк	Спфк	Спгк	Спфк
Контроль	32,8	67,2	37,2	62,8	37,2	62,3	38,3	61,7
ПП	31,7	68,3	36,6	63,4	36,1	65,5	35,7	64,3
ПП + N	32,4	67,6	34,3	65,7	34,1	67,0	33,1	66,9
ПП + МБП	33,3	66,7	36,8	63,2	37,5	61,9	35,6	64,4
ПП + МБП + N	34,7	65,3	38,9	61,1	38,2	63,0	38,4	61,6
НСР ₀₅	1,5	1,5	2,1	2,1	2,1	2,5	2,5	2,5

Выводы. Впервые выявлены особенности распределения содержания и состава подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных агрегатах в слое 0...20 см чернозема типичного слабородированного при применении агробиотехнологий, необходимые для понимания механизмов связывания в них органического углерода молодой фракции лабильной части гумусовых веществ. При опрыскивании на протяжении трех лет измельченной побочной продукции после уборки сельскохозяйственных культур микробиологическими препаратами с последующей заделкой их в слой почвы 0...12 см на 1,0...1,5 месяца и дальнейшим проведением основной обработки почвы выявлено достоверное увеличение содержания Спфк в агрегатах 5...3 мм, по сравнению с контролем, на 162 мг/кг.

Добавление к МБП при обработке измельченной побочной продукции 10 кг д.в. N на 1 т обеспечило достоверное повышение содержания подвижных гумусовых веществ в агрономически ценных почвенных агрегатах 5...3 мм, по сравнению с контролем, на 567 мг/кг, подвижных гуминовых кислот – на 285 мг/кг; подвижных фульвокислот – на 283 мг/кг. При использовании сочетания ПП+МБП+N установлено, что очень высокая положительная корреляция между

содержанием Спгв и диаметром изучаемых агрегатов ($r=0,99$).

Агрономически ценные агрегаты (5...3, 2...1, 1...0,5 мм), особенно размером 5...3 мм, отличаются большей обогаченностью Спгк (от 33,1 до 38,9 %), чем нефракционированная почва (от 31,7 до 34,7 %). Наибольшее в опыте влияние на содержание и состав подвижных гумусовых веществ в нефракционированной почве оказало применение ПП+МБП+N.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа финансируется за счет средств бюджета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Курский федеральный аграрный научный центр» по теме государственного задания № FGZU-2026-0002. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. *Microbial community structure varies across soil organic matter aggregate pools during tropical land cover change* / A. P. Smith, E. Marin-Spiotta, M.A. de Graaff, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 77. P. 292–303. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.05.030.
2. Взаимосвязь размера агрегатов, содержания дисперсного органического вещества и разложения растительных остатков в почве / В. М. Семенов, Т. Н. Лебедева, Н. Б. Паутова и др. // *Почвоведение*. 2020. № 4. С. 430–443. doi: 10.31857/S0032180X20040139.
3. Elliott E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils // *Soil Science Society of America Journal*. 1986. Vol. 50. P. 627–633.
4. Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водоустойчивых макроагрегатов 2–1 мм типичного чернозема в условиях контрастного земледелия / Б. М. Козут, З. С. Артемьева, Н. П. Кириллова и др. // *Почвоведение*. 2019. № 2. С. 161–170. doi: 10.1134/S0032180X19020084.
5. Distribution and storage of crop residue carbon in aggregates and its contribution to organic carbon of soil with low fertility / S. Li, X. Gu, J. Zhuang, et al. // *Soil and Tillage Research*. 2016. Vol. 155. P. 199–206. doi: 10.1016/j.still.2015.08.009.
6. Carbon and nutrient mineralization dynamics in aggregate-size classes from different tillage systems after input of canola and wheat residues / J. R. Sarker, B. P. Singh, A. L. Cowie, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 116. P. 22–38. doi: 10.1016/j.soilbio.2017.09.030.
7. Carbon and nitrogen mineralization in hierarchically structured aggregates of different size / C. Bimüller, O. Kreyling, A. Kölbl, et al. // *Soil and Tillage Research*. 2016. Vol. 160. P. 23–33. doi: 10.1016/j.still.2015.12.011.
8. Семенов В. М., Лебедева Т. Н., Паутова Н. Б. Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // *Почвоведение*. 2019. № 4. С. 440–450. doi: 10.1134/S0032180X19040130.
9. Effect of soil aggregate size and long-term contrasting tillage, stubble and nitrogen management regimes on CO₂ fluxes from a Vertisol / S. H. Reeves, J. Somasundaram, W. J. Wang, et al. // *Geoderma*. 2019. Vol. 337. P. 1086–1096. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.11.022.
10. Масютенко Н. П., Дубовик Е. В. Связь содержания и состава органического вещества чернозема типичного с размером почвенных агрегатов и их водопрочностью // *Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации*. М.: Изд-во МГУ, 2003. С. 78–80.
11. Дубовик Е. В., Дубовик Д. В. Взаимосвязь содержания углерода органических соединений и структурного состояния чернозема типичного // *Почвоведение*. 2019. № 2. С. 171–183.
12. Связь структурно-агрегатного состава чернозема типичного слабородированного с содержанием и составом подвижных гумусовых веществ при разложении растительных остатков / М. Н. Масютенко, Н. П. Масютенко, А. В. Кузнецов и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 7. С. 5–11.
13. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв / Сост. К. В. Дьяконова. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1984. 96 с.
14. Кураченко Н. Л., Александрова С. В. Подвижные гумусовые вещества в пространственной изменчивости агрегатного уровня структурной организации черноземов // *Вестник КрасГАУ*. 2012. № 8 (71). С. 29–34.
15. Деаэмузирование и почвенная секвестрация углерода / Б. М. Козут, В. М. Семёнов, З. С. Артемьева и др. // *Агрохимия*. 2021. № 5. С. 3–13. doi: 10.31857/S0002188121050070.
16. Soil Quality Refurbishment through Carbon Sequestration in Climate Change: A Review / V. Kumar, K. Sharma, V. Sharma, et al. // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6. P. 1210–1223. doi: 10.20546/ijcmas.2017.605.131.
17. Семёнов В. М., Козут Б. М., Иванов А. Л. Почвенная секвестрация углерода в агроландшафтах: продовольственный императив климатической повестки // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2025. № 124. С. 11–69. doi: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69.
18. Šimansky V., Bajčan D. Stability of soil aggregates and their ability of carbon sequestration // *Soil Water Res.* 2014. Vol. 9. No. 3. P. 111–118. doi: 10.17221/106/2013-SWR.

19. Chemical structure of soil organic matter and its role in aggregate formation in haplic chernozem under the contrasting land use variants / Z. Artemyeva, N. Danchenko, B. Kogut, et al. // *Catena*. 2021. Vol. 204. P. 105403. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221002629>. doi: 10.1016/j.catena.2021.105403.
20. Rice straw serves as additional carbon source for rhizosphere microorganisms and reduces root exudate consumption / S. A. Maarastawi, K. Frindte, P. L. E. Bodelier, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 135. P. 235–238. doi: 10.1016/j.soilbio.2019.05.007.
21. Эффективность связывания органического углерода в черноземе типичном слабоэродированном при применении биопрепаратов / Н. П. Масютенко, А. В. Кузнецов, М. Н. Масютенко и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 2. С. 63–67.
22. Влияние биопрепаратов на почвенное органическое вещество, структурное и биологическое состояние чернозема типичного слабоэродированного: коллективная монография / Н. П. Масютенко, А. В. Кузнецов, Н. А. Чуйан и др. Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2022. 217 с.
23. Влияние агробиотехнологий на структурное состояние чернозема типичного слабоэродированного / М. Н. Масютенко, Н. П. Масютенко, А. А. Дюкарева и др. // *Земледелие*. 2026. № 1. С. 8–13. doi: 10.24412/0044-3913-2026-1-1-48.

References.

1. Smith AP, Marin-Spiotta E, de Graaff MA, et al. Microbial community structure varies across soil organic matter aggregate pools during tropical land cover change. *Soil Biol Biochem*. 2014;77:292-303. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.05.030.
2. Semenov VM, Lebedeva TN, Pautova NB, et al. [Relationship between aggregate size, particulate organic matter content and plant residue decomposition in soil]. *Pochvovedenie*. 2020;(4):430-43. doi: 10.31857/S0032180X20040139. Russian.
3. Elliott ET. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci Soc Am J*. 1986;50:627-33.
4. Kogut BM, Artem'eva ZS, Kirillova NP, et al. [Component composition of organic matter in air-dry and water-stable macroaggregates (2-1 mm) of typical chernozem under contrasting land use]. *Pochvovedenie*. 2019;(2):161-70. doi: 10.1134/S0032180X19020084. Russian.
5. Li S, Gu X, Zhuang J, et al. Distribution and storage of crop residue carbon in aggregates and its contribution to organic carbon of soil with low fertility. *Soil Tillage Res*. 2016;155:199-206. doi: 10.1016/j.still.2015.08.009.
6. Sarker JR, Singh BP, Cowie AL, et al. Carbon and nutrient mineralization dynamics in aggregate-size classes from different tillage systems after input of canola and wheat residues. *Soil Biol Biochem*. 2018;116:22-38. doi: 10.1016/j.soilbio.2017.09.030.
7. Bimüller C, Kreyling O, Kölbl A, et al. Carbon and nitrogen mineralization in hierarchically structured aggregates of different size. *Soil Tillage Res*. 2016;160:23-33. doi: 10.1016/j.still.2015.12.011.
8. Semenov VM, Lebedeva TN, Pautova NB. [Particulate organic matter in uncultivated and arable soils]. *Pochvovedenie*. 2019;(4):440-50. doi: 10.1134/S0032180X19040130. Russian.
9. Reeves SH, Somasundaram J, Wang WJ, et al. Effect of soil aggregate size and long-term contrasting tillage, stubble and nitrogen management regimes on CO₂ fluxes from a Vertisol. *Geoderma*. 2019;337:1086-96. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.11.022.
10. Masiutenko NP, Dubovik EV. [Relationship between the content and composition of organic matter of typical chernozem with the size of soil aggregates and their water stability]. In: *Fundamental'nye fizicheskie issledovaniia v pochvovedenii i melioratsii*. Moscow: Izd-vo MGU; 2003. p. 78-80. Russian.
11. Dubovik EV, Dubovik DV. [Relationship between the carbon content of organic compounds and the structural state of typical chernozem]. *Pochvovedenie*. 2019;(2):171-83. Russian.
12. Masiutenko MN, Masiutenko NP, Kuznetsov AV, et al. [Relationship between the structural-aggregate composition of slightly eroded typical chernozem and the content and composition of mobile humic substances during the decomposition of plant residues]. *Dostizh Nauki Tekh APK*. 2022;36(7):5-11. Russian.
13. D'iaconova KV, compiler. [Recommendations for studying the balance and transformation of organic matter under agricultural use and intensive cultivation of soils]. Moscow: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva; 1984. 96 p. Russian.
14. Kurachenko NL, Aleksandrova SV. [Mobile humic substances in the spatial variability of the aggregate level of the structural organization of chernozems]. *Vestn KrasGAU*. 2012;(8(71)):29-34. Russian.
15. Kogut BM, Semenov VM, Artem'eva ZS, et al. [Dehumification and soil carbon sequestration]. *Agrokimiia*. 2021;(5):3-13. doi: 10.31857/S0002188121050070. Russian.
16. Kumar V, Sharma K, Sharma V, et al. Soil Quality Refurbishment through Carbon Sequestration in Climate Change: A Review. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. 2017;6:1210-23. doi: 10.20546/ijcmas.2017.605.131.
17. Semenov VM, Kogut BM, Ivanov AL. [Soil carbon sequestration in agricultural landscapes: the food imperative of the climate agenda]. *Biull Pochv Inst im. V.V. Dokuchaeva*. 2025;(124):11-69. doi: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69. Russian.
18. Šimansky V, Bajčan D. Stability of soil aggregates and their ability of carbon sequestration. *Soil Water Res*. 2014;9(3):111-8. doi: 10.17221/106/2013-SWR.
19. Artemyeva Z, Danchenko N, Kogut B, et al. Chemical structure of soil organic matter and its role in aggregate formation in haplic chernozem under the contrasting land use variants. *Catena* [Internet]. 2021;204:105403. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221002629>. doi: 10.1016/j.catena.2021.105403.
20. Maarastawi SA, Frindte K, Bodelier PLE, et al. Rice straw serves as additional carbon source for rhizosphere microorganisms and reduces root exudate consumption. *Soil Biol Biochem*. 2019;135:235-8. doi: 10.1016/j.soilbio.2019.05.007.
21. Masiutenko NP, Kuznetsov AV, Masiutenko MN, et al. [Efficiency of organic carbon binding in slightly eroded typical chernozem with the use of biological preparations]. *Ross S-kh Nauka*. 2023;(2):63-7. Russian.
22. Masiutenko NP, Kuznetsov AV, Chuyan NA, et al. [Influence of biological preparations on soil organic matter, structural and biological state of slightly eroded typical chernozem: collective monograph]. *Kursk: FGBNU "Kurskii FANTS"*; 2022. 217 p. Russian.
23. Masiutenko MN, Masiutenko NP, Diukareva AA, et al. [Influence of agrobio-technologies on the structural state of slightly eroded typical chernozem]. *Zemledelie*. 2026;(1):8-13. doi: 10.24412/0044-3913-2026-1-1-48. Russian.

Поступила в редакцию 16.03.2026 После доработки 02.04.2026 Принята к публикации 22.04.2026