



Научная статья  
 УДК 631.61+631.8  
 doi: 10.55186/25876740\_2026\_69\_1\_119

## БАЛАНС ГУМУСА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОСЕВОВ НА ОСВОЕННЫХ ЗЕМЛЯХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ И СПОСОБОВ ИХ ЗАДЕЛКИ

**В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова**

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации  
 имени А.Н. Костякова, Москва, Россия

**Аннотация.** Исследования выполнены в 2015-2024 гг. на повторно освоенных дерново-подзолистых землях в 2-х ротациях пятипольного плодосменного зерно-пропашного севооборота с чередованием культур: 1 — люпин узколистный на семена, 2 — кукуруза на силос, 3 — озимая пшеница, 4 — яровой рапс на семена, 5 — ячмень на зернофураж. Установлено, что баланс гумуса в пахотном слое осваиваемых земель в большей степени зависит от системы удобрения, чем от растительных остатков возделываемых культур в севообороте и способов их заделки. Возделывание запланированных земель с внесением расчетных доз минеральных удобрений увеличивают дефицит гумуса за 10-летний период до -8,1 т/га при минимальной обработке и до -0,6 т/га по фону отвальной вспашки. Доказано, что только систематическое применение органических отходов свинокомплексов в экологически безопасных дозах по фону измельченных остатков побочной продукции возделываемых культур обеспечивает расширенное воспроизводство гумуса при всех способах их заделки: +14,7...+29,4 т/га от утилизации жидких стоков и +40,6...+62,4 т/га при внесении твердой фракции навоза. Среди культур севооборота наибольший баланс гумуса обеспечивают кукуруза, яровой рапс и ячмень, являющиеся эффективными природными мелиорантами, имеющими мощно развитую корневую систему, после отмирания которой улучшаются агрофизические, агрохимические и биологические свойства осваиваемых земель.

**Ключевые слова:** баланс гумуса, культуры севооборота, система удобрения, органические отходы, пожнивно-корневые остатки

Original article

## THE BALANCE OF HUMUS IN THE CULTIVATION OF CROPS ON THE DEVELOPED LANDS OF THE NON-CHERNOZEM REGION, DEPENDING ON THE FERTILIZER SYSTEM AND METHODS OF THEIR SEALING

**V.A. Shevchenko, A.M. Solovyov, G.I. Bondareva, N.P. Popova**

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation  
 named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russia

**Abstract.** The research was carried out in 2015-2024 on reclaimed sod-podzolic soils in 2 rotations of a 5-phase full-shift grain crop rotation with alternating crops: 1 — narrow-leaved lupine for seeds, 2 — corn for silage, 3 — winter wheat, 4 — spring rapeseed for seeds, 5 — barley for grain forage. It has been established that the balance of humus in the arable layer of cultivated lands depends more on the fertilizer system than on the plant residues of cultivated crops in crop rotation and methods of their disposal. The cultivation of planned crops with the application of calculated doses of mineral fertilizers increases the humus deficit over a 10-year period to -8.1 t/ha with minimal processing and to -0.6 t/ha according to the background of dump plowing. It has been proven that only the systematic use of organic waste from pig farms in environmentally safe doses from the background of crushed residues of by-products of cultivated crops ensures extended reproduction of humus with all methods of their sealing: +14.7...+29.4 t/ha from the disposal of liquid wastewater and +40.6...+62.4 t/ha with the introduction of a solid fraction of manure. Among crop rotation crops, the greatest balance of humus is provided by corn, spring rape and barley, which are effective natural meliorants with a powerfully developed root system, after which the agrophysical, agrochemical and biological properties of the cultivated lands improve.

**Keywords:** humus balance, crop rotation crops, fertilizer system, organic waste, crop and root residues

**Введение.** Органическая часть почвы, включая гумус, несмотря на малую долю по сравнению с минеральными компонентами, водной и воздушной фазами, играет ключевую роль в процессах почвообразования и, так или иначе, определяет уровень плодородия.

Современные представления об оптимальном содержании гумуса в почве основываются прежде всего на его стабилизирующей функции и формировании тесной связи количественно-качественных показателей гумуса и органического вещества почвы с максимально возможной продуктивностью агроценоза в конкретных биоклиматических условиях. Так, например, исследованиями отечественных ученых установлено, что для легких дерново-подзолистых

почв оптимальное содержание гумуса составляет 1,8...2,0%, для супесчаных 2,0...2,5%, суглинистых 2,6...3,0%, а для тяжелосуглинистых — 4...5% [1-4].

Важнейшим фактором в решении задачи повышения плодородия сельскохозяйственных угодий Нечерноземья является увеличение содержания гумуса в почве за счет внедрения наукоемких технологий, биологизации земледелия, приемов комплексной мелиорации, способствующих воспроизводству, а в перспективе и расширенному воспроизводству плодородия, активизации саморегулирующей функции почвы, регулированию почвенных режимов [5-6].

В настоящее время фактическое содержание гумуса в пахотном слое дерново-подзо-

листой остается неудовлетворительным: на легкосуглинистой почве — 1,75...1,86%, средне-суглинистой — 1,90...2,13% [5-6].

При этом установлено, что именно запас и качество гумуса в почве являются определяющими факторами, влияющими на агрохимические свойства, некоторые физико-химические параметры, биологические и экологические функции.

Комплекс гуминовых и фульвовых кислот представляет собой продукт эволюции органического вещества, обеспечивающий существование жизненных форм растительного организма. Фульвокислоты, в отличие от гуминовых кислот, отличаются меньшим содержанием азота, более высокой кислотностью, хорошо

растворяются в воде и при выпадении осадков не удерживаются в почве. Из-за небольшого размера молекул они легко всасываются корневой системой растений вместе с полезными микроэлементами. На кислых осваиваемых землях фульвокислоты разрушают почвенные минералы и способствуют тем самым их перемещению в нижние слои. Гуминовые кислоты являются идеальными улучшителями питательного режима и структуры почвы, определяют развитие полезной микрофлоры и в итоге повышают иммунную систему посевов [7, 8, 9].

Целью проведенных исследований стало изучение гумусового баланса в двух ротациях пятипольного зернопропашного севооборота на осваиваемых легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона Нечерноземья РФ при использовании различных систем удобрения и способов их заделки.

**Место, условия и методика проведения исследований.** Исследования проводили на вновь вводимых в оборот ранее мелиорируемых землях Ржевского района Тверской области в 2015 — 2024 гг. После проведения культуртехнических и мелиоративных работ, которые включали удаление древесно-кустарниковой растительности, расчистку дренажного канала, внесение известковых удобрений и выравнивание поверхности началось сельскохозяйственное использование угодий, в том числе и опытного участка. Исследования проведены в четырехкратной повторности, методом систематических повторений. Размер каждой учетной делянки составляет не менее 150 м<sup>2</sup>. Схема опыта учитывала спецификацию хозяйства, занимающегося производством животноводческой продукции и кормов. Фактор А: изучение системы удобрения. Минеральная система удобрения (расчетная доза NPK под запланированную урожайность каждой культуры, выполнена по методике [10]) и органическая система удобрения (жидкие стоки свиноводческих комплексов (80 м<sup>3</sup>/га) и твердая фракция навоза (40 т/га), контроль — без удобрений (табл.1, 2). Фактор В: культуры севооборота. Изучалось последствие культур в двух ротациях севооборота со следующим чередованием: люпин узколистный на семена, кукуруза на силос, озимая пшеница, яровой рапс, ячмень на фураж. Фактор С: способы заделки удобрений и растительных остатков. Применялась отвальная вспашка 18-20 см; минимальная обработка дискованием на глубину 7-10 см.

В результате проведенного первичного агрохимического обследования установлено очень низкое содержание гумуса (1,69...1,83%), низкое содержание азота (50-70 мг/кг почвы), повышенное подвижного фосфора (106...109 мг/кг) и среднее обменного калия (90...100 мг/кг); рН<sub>кд</sub> 4,78...4,83.

Вносимые азотные удобрения распределялись следующим образом: 50% под предпосевную культивацию, 25% при посеве и 25% в подкормки. Объем внесения жидких стоков составлял 80 м<sup>3</sup>/га, твердой фракции навоза — 40 т/га. Жидкие стоки вносились с использованием шланговых систем, обеспечивающих равномерное распределение и одновременную заделку в почву для предотвращения потерь азота. Для внесения твердого навоза применялся разбрасыватель ПРТ-10 с немедленной

заделкой в почву. Органические удобрения служили основным удобрением для яровых зерновых культур и вносились ежегодно. Заделка удобрений и измельченных растительных остатков осуществлялась дисковыми лушпильниками на глубину 7-10 см или отвальными плугами на 18-20 см.

С жидкими стоками в почву ежегодно вносилось: азота — 123 кг/га, фосфора — 36 кг/га, калия 59 кг/га. С твердой фракцией навоза в среднем вносилось в почву: азота — 120 кг/га, фосфора — 34 кг/га, калия — 33 кг/га.

Определение содержания гумуса выполнялось по методу Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213.84.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа [11].

В исследовании использовались люпин узколистный, кукуруза, озимая пшеница, яровой рапс и ячмень — культуры разных семейств, различающиеся по фитомелиоративным свойствам, биологическим потребностям и морфологическому строению (как надземной части, так и корневой системы). Видовые различия данных культур определяют характер поступления измельченных растительных остатков в пахотный слой, а также величину накопления компонентов биомассы в корнеобитаемой горизонте при разных способах их заделки.

**Результаты и их обсуждение.** В результате комплексного влияния способов основной обработки почвы, применяемых систем удобрения и культур севооборота на процессы накопления гумусовых веществ в условиях Северо-Западного региона Нечерноземной зоны установлено, что на контрольном варианте, где

не вносились минеральные и органические удобрения, а единственным значимым источником органического вещества являлись пожнивные и корневые остатки культур и сорных компонентов, содержание гумуса в течение десятилетнего периода наблюдений неуклонно снижалось (табл.3). Внесение расчетных доз удобрений под запланированную урожайность полевых культур, как за первую, так и за вторую ротации севооборота также не способствовало расширенному воспроизводству гумуса в почве: его количество в среднем по севообороту оставалось практически неизменным, а при поверхностной обработке наблюдалось несущественное снижение по сравнению с исходными показателями. Несмотря на то, что минеральная система обеспечивает большее поступление растительных пожнивных остатков в результате лучшего обеспечения растений элементами минерального питания, однако на некоторых вариантах наблюдались отчетливые процессы дегумификации. Вероятно, это связано с тем, что высокая продуктивность агроценозов на фоне только лишь минерального питания усиливает процессы дегумификации и минерализации, нарушает работу почвенной биоты, приводя в итоге к снижению содержания гумуса в почве.

Существенные изменения при анализе динамики содержания гумуса наблюдаются при использовании в качестве удобрений побочных продуктов животноводства. Максимальное содержание гумуса отмечено при использовании в качестве основного удобрения твердой фракции навоза в норме 40 т/га, которое в среднем по севообороту к концу второй ротации составило 1,92%, что по сравнению с исходным

Таблица 1. Дозы минеральных удобрений, рассчитанных под запланированную урожайность культур кг д.в./га (в среднем за 10 лет)

Table 1. Doses of mineral fertilizers calculated for the planned crop yield, kg of active ingredients per hectare (average over 10 years)

Культура	Планируемая урожайность, ц/га	Внесено с учетом коэффициентов использования NPK из туков, кг д.в./га		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
люпин узколистный	18 ц/га;	115,53	10,0	44,52
кукуруза на силос	400 ц/га	43,18*	10,0	72,50
озимая пшеница	45 ц/га	130,4	10,0	46,20
яровой рапс на семена	20 ц/га	70,95	10,0	16,27
ячмень на фураж	40 ц/га	68,45	10,0	43,10

Таблица 2. Основные компоненты химического состава используемых органических удобрений (в среднем за годы исследований)

Table 2. Main components of the chemical composition of the organic fertilizers used (average over the years of research)

№ п/п	Показатели	Жидкие стоки	Твердая фаза навоза	ПДК, мг/кг
1	pH, ед.	7,4	7,9	
2	Влажность, %	97,0	70,2	
3	Азот, мг/кг сух. в-ва: общий		300	
		аммиачный	112	212
		нитратный	42	84
4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг сух. в-ва	45	68	200
5	K <sub>2</sub> O, мг/кг сух. в-ва	74	83	360
6	Ca, мг/кг сух. в-ва	33	64	
7	Mg, мг/кг сух. в-ва	25	56	500



значением 1,68% является достоверным различием при  $HCP_{05}$  для фактора АВ = 0,17% и для фактора В = 0,11%.

Для более детального изучения динамики образования гумуса в опыте нами рассчитан его баланс по вариантам опыта. Установлено, что на баланс гумуса при освоении выбывших из оборота малопродуктивных ранее мелиорированных дерново-подзолистых земель легкоуглинистого гранулометрического состава наиболее значимое влияние оказывает система удобрения, чем культуры севооборота (табл.4).

При выращивании сельскохозяйственных культур без применения удобрений (в контрольном варианте), наблюдается достоверный дефицит гумуса за десятилетний период наблюдений, достигающий -1,52 т/га при минимальной обработке почвы и -1,77 т/га при использовании отвальной вспашки. Разница в потерях гумуса между этими двумя способами обработки почвы составляет 0,25 т/га, что, в соответствии с  $HCP_{05}$ , равной 0,441 т для фактора В, не является статистически значимым различием.

Использование расчетных доз минеральных удобрений для получения запланированной урожайности сельскохозяйственных культур также не способствовало значительному увеличению содержания гумуса в почве при различных способах обработки. За две ротации севооборота дефицит гумуса был значительным, достигая 5,75 т/га при минимальной обработке и 6,3 т/га при использовании отвальной вспашки. При этом применение поверхностной заделки дисковыми орудия на глубину 7 — 10 см сокращает вынос гумуса относительно

Таблица 3. Динамика содержания гумуса в пахотном слое (0 — 20 см) на посевах полевых культур при разных системах удобрения и разноглубинных способах их заделки, % (2015-2024 гг.)

Table 3. Dynamics of humus content in the arable layer (0-20 cm) on field crops under different fertilizer systems and different methods of application, % (2015-2024)

Система удобрения (фактор А)	Ротация севооборота	Способ заделки (фактор В)									
		Минимальная обработка на 7 — 10 см					Отвальная вспашка на 18 — 20 см				
		люпин узколистный	кукуруза на силос	озимая пшеница	яровой рапс	ячмень	люпин узколистный	кукуруза на силос	озимая пшеница	яровой рапс	ячмень
I. Контроль (без удобрений)	исходное знач.	1,75	1,72	1,72	1,69	1,69	1,75	1,72	1,72	1,69	1,69
	1 ротация	1,73	1,67	1,66	1,66	1,65	1,68	1,66	1,63	1,69	1,65
	2 ротация	1,70	1,66	1,65	1,65	1,64	1,68	1,65	1,62	1,69	1,65
II. Расчётные дозы минеральных удобрений на запланированный урожай + $P_{10}$ кг д.в./га при посеве	исходное знач.	1,74	1,72	1,71	1,69	1,67	1,74	1,72	1,71	1,69	1,67
	1 ротация	1,73	1,70	1,69	1,68	1,70	1,73	1,71	1,69	1,70	1,70
	2 ротация	1,65	1,63	1,66	1,69	1,66	1,73	1,70	1,70	1,70	1,72
III. Жидкие стоки, 80 м <sup>3</sup> /га + $P_{10}$ кг д.в./га при посеве	исходное знач.	1,70	1,73	1,71	1,70	1,67	1,70	1,73	1,71	1,70	1,67
	1 ротация	1,75	1,74	1,43	1,74	1,73	1,74	1,78	1,80	1,82	1,75
	2 ротация	1,78	1,77	1,75	1,76	1,76	1,80	1,83	1,82	1,85	1,81
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га + $P_{10}$ кг д.в./га при посеве	исходное знач.	1,71	1,67	1,68	1,66	1,68	1,71	1,67	1,68	1,66	1,68
	1 ротация	1,79	1,82	1,81	1,78	1,79	1,84	1,85	1,87	1,98	1,80
	2 ротация	1,85	1,87	1,85	1,84	1,88	1,91	1,89	1,90	1,93	2,01
$HCP_{05}$	для фактора А	0,11	0,11	0,10	0,09	0,10					
	для фактора В	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11					
	для факторов АВ	0,19	0,18	0,16	0,17	0,17					

Таблица 4. Баланс гумуса (т/га) в пахотном слое 0 — 20 см на посевах полевых культур при разных системах удобрения и разноглубинных способах их заделки по отношению к исходному состоянию (2015-2024 гг.)

Table 4. Humus balance (t/ha) in the 0-20 cm arable layer of field crops under different fertilizer systems and different methods of application in relation to the initial state (2015-2024)

Система удобрения (фактор А)	Ротация севооборота	Способ заделки (фактор В)									
		Минимальная обработка на 7 — 10 см					Отвальная вспашка на 18 — 20 см				
		люпин узколистный	кукуруза на силос	озимая пшеница	яровой рапс	ячмень	люпин узколистный	кукуруза на силос	озимая пшеница	яровой рапс	ячмень
I. Контроль (без удобрений)	1 ротация	-0,60	-1,50	-1,80	-0,90	-1,20	-2,10	-1,80	-2,70	0,00	-1,20
	2 ротация	-1,50	-1,80	-2,10	-1,20	-1,50	-2,10	-2,10	-3,00	0,00	-1,20
	всего	-2,10	-3,30	-3,90	-2,10	-2,70	-4,20	-3,90	-5,70	0,00	-2,40
II. Расчётные дозы минеральных удобрений на запланированный урожай + $P_{10}$ кг д.в./га при посеве	1 ротация	-0,30	-0,60	-0,60	-0,30	+0,90	-0,30	-0,30	-0,60	+0,30	-0,30
	2 ротация	-2,70	-2,70	-1,50	0,00	-0,30	-0,30	-0,60	-0,30	+0,30	0,50
	всего	-3,00	-3,30	-2,1	-0,30	+0,60	-0,60	-0,90	-0,90	+0,60	-0,30
III. Жидкие стоки, 80 м <sup>3</sup> /га + $P_{10}$ кг д.в./га при посеве	1 ротация	+0,30	+1,50	+0,60	+1,20	+1,80	+1,20	+1,50	+2,70	+3,60	+2,40
	2 ротация	+1,20	+2,40	+1,20	+1,80	+2,70	+3,00	+3,00	+3,30	+4,50	+4,20
	всего	+1,50	+3,90	+1,80	+3,00	+4,50	+4,20	+4,50	+6,00	+8,10	+6,60
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га + $P_{10}$ кг д.в./га при посеве	1 ротация	+2,40	+3,50	+3,90	+3,60	+3,30	+3,90	+5,40	+5,70	+6,60	+3,60
	2 ротация	+5,40	+6,00	+5,10	+5,40	+6,00	+6,00	+6,60	+6,60	+8,10	+9,90
	всего	+7,80	+9,50	+5,00	+9,00	+9,30	+9,90	+12,00	+12,30	+14,70	+13,50
$HCP_{05}$	для фактора А	0,35	0,33	0,20	0,36	0,41					
	для фактора В	0,39	0,46	0,41	0,49	0,50					
	для факторов АВ	0,59	0,63	0,49	0,69	0,75					





отвальной вспашки на 0,55 т/га, что достоверно для фактора В.

На основании анализа полученных данных можно заключить, что возделывание полевых культур на малопродуктивных ранее мелиорированных землях Верхневолжья с применением минеральной системы удобрения не компенсирует потери гумуса, а лишь усугубляет ситуацию по сравнению с контрольным вариантом, поскольку количество побочной растительной продукции не позволяет после их минерализации сформировать его бездефицитный баланс.

Нами доказано, что только систематическое внесение органических отходов свинокомплекса по фону измельченных соломенно-пашных остатков полевых культур обеспечивает расширенное воспроизводство гумуса при всех способах обработки почвы [12, 13]. Заделка жидких стоков дисковыми орудиями обеспечивает суммарный положительный баланс гумуса за две ротации севооборота, который составил +14,70 т/га, а с использованием отвальной вспашки — +29,40 т/га. Установлена существенная разница между способами обработки для пахотного слоя (0–20 см) как для взаимодействия факторов АВ ( $HCP_{05} = 3,15$  т), так и для фактора В ( $HCP_{05} = 2,28$  т). Таким образом, при освоении легкосуглинистых дерново-подзолистых земель Нечерноземной зоны способ заделки жидких стоков в пахотный слой оказывает достоверное влияние на баланс гумуса в пахотном слое.

Установлено, что ежегодное применение твердой фракции навоза обеспечивает наибольший положительный эффект в синтезе гумусовых веществ и определяет их надежную стабилизацию в сумме за две ротации по сравнению с исходными значениями как при минимальной обработке (+40,60 т/га), так и с использованием отвальной вспашки (+62,40 т/га). Таким образом, многолетнее исследование показало, что вспашка на глубину 18–20 см обеспечивает значительно большее накопление гумуса в почве, чем дискование на глубину 7–10 см. Разница в накоплении гумуса составила 17,8 т/га за период исследования, что является достоверным отличием по сравнению с минимальной обработкой.

Следует также отметить, что заделка в качестве основного удобрения твердой фракции навоза способствует более эффективному формированию баланса гумуса по сравнению с внесением жидких стоков свинокомплекса в безопасной дозе 80 м<sup>3</sup>/га. При использовании твердой фракции навоза баланс гумуса на полевых культурах оказался выше по сравнению с применением жидкой фракции на 25,9 т/га за две ротации севооборота. При запахивании отвальными плугами этот показатель превзошел применение жидкой фракции уже на 33,0 т/га. Таким образом установлено, что наиболее эффективным органическим удобрением для восстановления плодородия деградированных малопродуктивных земель Северо-Западного региона Нечерноземной зоны является твердая фракция навоза, заделанная в пахотный слой отвальными плугами.

Нами проведена оценка полевых культур по их влиянию на баланс гумуса при разных системах удобрения и разноглубинных способах их заделки. Отмечено, что на контрольном вариан-

те при всех способах обработки наибольший дефицит гумуса в сумме за две ротации севооборота обеспечивают люпин узколистный, озимая пшеница и ячмень (-1,285 т/га при минимальной обработке и -1,526 т/га с применением отвальной вспашки). Разница между способами заделки соломенно-пашных остатков на данном варианте для этих культур составляет 0,241 т/га, что при  $HCP_{05}$  для АВ = 1,83 т является несущественным значением. Минимальный дефицит гумуса на варианте без внесения удобрения определяют кукуруза на силос и яровой рапс: -0,236 т/га при дисковой обработке и -0,249 т/га при отвальной вспашке. В данном случае различие между способами обработки составляет 0,013 т/га, что при  $HCP_{05}$  для АВ = 1,32 т укладывается в статистическую погрешность опыта.

Установлено, что использование только минеральной системы удобрения при выращивании люпина узколистного и озимой пшеницы приводит к наибольшей потере гумуса в почве. Дефицит гумуса в конце второй ротации составил -5,2 т/га при дисковании и -5,6 т/га при отвальной вспашке. В то же время, под посевами кукурузы, ярового рапса и ячменя дефицит гумуса был значительно меньше и составил около -0,79 и -0,61 т/га, соответственно.

Следовательно, при среднем значении  $HCP_{05}$  для культуры севооборота, равным для АВ 2,07 т, между этими группами растений установлено существенное различие при всех способах заделки удобрительных материалов.

Выращивание растений с применением в качестве основного удобрения органических отходов свинокомплексов создает условия для формирования положительного баланса гумуса у всех культур пятипольного севооборота по изученным способам их утилизации. При этом максимальный положительный баланс от внесения жидких стоков в сумме за две ротации отмечен у кукурузы на силос, ярового рапса и ячменя (+11,40 т/га при минимальной обработке и +19,2 т/га с применением отвальной вспашки), в то время как у люпина узколистного и озимой пшеницы за этот же период прирост гумуса составил соответственно по способам заделки +3,30 и +10,2 т/га.

За годы исследований установлено, что использование твердой фракции навоза в качестве основного удобрения значительно улучшает гумусный баланс при выращивании полевых культур. Наилучший положительный эффект наблюдается при выращивании кукурузы на силос, ярового рапса и ячменя, достигая значений +27,8 т/га при минимальной обработке почвы и +40,2 т/га при отвальной вспашке. Эффективность применения твердой фракции навоза от включения данных культур в структуру севооборота по сравнению с их выращиванием на основе внесения в качестве основного удобрения жидких стоков возросла в 1,43...2,09 раза.

В то же время применение твердой фракции навоза на полях люпина узколистного и озимой пшеницы привело к увеличению содержания гумуса на 12,8 т/га при минимальной обработке почвы и на 22,2 т/га при отвальной вспашке. Это в 2,17–3,87 раза превышает эффект от использования жидких стоков за тот же период наблюдения.

Следовательно, при освоении выбывших из оборота малопродуктивных земель Нечер-

ноземной зоны наиболее значимое положительное влияние на баланс гумуса в пахотном слое почвы оказывает система удобрения по сравнению как со способами обработки, так и в целом с культурами севооборота. В тоже время необходимо отметить, что при освоении малопродуктивных земель для зернопашных севооборотов приоритетными предшественниками для полевых культур являются кукуруза на силос, яровой рапс и ячмень. Это обусловлено тем, что они способствуют увеличению содержания гумуса в почве, улучшают её структуру, являясь природными мелиорантами, и благотворно влияют на агрофизические, агрохимические и биологические характеристики почвы благодаря развитой корневой системе [14, 15, 16].

**Заключение.** Установлено, что на баланс гумуса при освоении залежных земель Нечерноземной зоны наиболее значимое влияние оказывает система удобрения по сравнению как со способами обработки, так и с утилизацией побочной продукции. При этом возделывание посевов с заделкой в пахотный слой только соломенно-пашных остатков (контроль) или расчетных доз минеральных удобрений на запланированную урожайность не обеспечивает положительный баланс гумуса на фоне изученных способов их применения.

Доказано, что только систематическое внесение органических отходов свинокомплекса по фону измельченных остатков побочной продукции возделываемых культур обеспечивает расширенное воспроизводство гумуса при всех способах их заделки: +14,7...+29,4 т/га в сумме за две ротации севооборота при утилизации жидких стоков и +40,6...+62,4 т/га от заделки твердой фракции навоза. В целом по опыту установлено преимущество отвальной вспашки относительно минимальной обработки в формировании положительного баланса гумуса за период наблюдения при использовании в качестве основного удобрения побочных продуктов животноводства. Среди культур севооборота наибольший баланс гумуса обеспечивают кукуруза на силос, яровой рапс и ячмень, поскольку они являются эффективными природными фитомелиорантами, отличаются мощно развитой корневой системой, после отмирания которой улучшаются агрофизические, агрохимические и биологические свойства осваиваемых земель.

#### Список источников

- Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1990. 219 с.
- Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. и др. Практикум по агрохимии: учебное пособие. 2-е изд. Перераб. и доп. / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 163–176.
- Шатилов И.С. Фотосинтетический потенциал, интенсивность фотосинтеза и роль отдельных органов растений в формировании биологического урожая озимой пшеницы на разных агрофонах // Сельскохозяйственная биология, 1978 г. Том 13, № 1. С.48–53.
- Семенов В.А. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. — М.: Агроконсалдинг, 2003. 276 с.
- Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е., Беличенко М.В. Оценка результатов мониторинга содержания



и баланса гумуса в длительных опытах Геосети // Плодородие, 2017 г., № 6(99). С. 28-30.

6. Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е. Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почвы // Агрохимия, 2018., № 2. С. 3-21.

7. Хатков К.Х., Морозов А.В., Морозова Е.С. Изменение содержание гумуса в почвах Республики Адыгея при длительном сельскохозяйственном использовании // Плодородие. 2024. № 4. С. 50-55. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.11.

8. Кирейчева Л.В., Белова И.В. Экологические аспекты повышения природно-ресурсного потенциала агроландшафта // Вопросы мелиорации. 2003. № 3-4.

9. Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Энергетическая оценка внесения органических отходов свиноводческого комплекса на осваиваемых землях Верхневолжья // Плодородие. 2023. №. С. 46-49. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.11.

10. Какюмов М.К. Программирование урожая сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1989. 320 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

12. Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П., Кульчев А.Ю. Монография: Регулирование потоков биогенных элементов в агроэкосистемах осваиваемых земель Нечерноземной зоны России. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2025. 206 с.

13. Гамм Т.А., Гривко Е.В., Идигенов Б.Б. Влияние на урожай яровой пшеницы удобрений из органических отходов на черноземе обыкновенном// Плодородие. 2023. № 2. С. 76-79. DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.17.

14. Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Яшин В.М. и др. Научные основы и технологические приемы комплексного регулирования параметров агроэкосистемы: монография /Под общ.ред. Л.В. Кирейчевой. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. 234 с.

15. Шешенев Н.В. Мажайский Ю.А. Динамика агрофизических показателей почвы при освоении залежных земель в условиях Центрального Нечерноземья // Мелиорация. 2023. № 4 (106). С. 48-53.

16. Буряк С.М., Черникова О.В., Мажайский Ю.А. Восстановление плодородия малопродуктивных дерново-подзолистых почв, вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1 (202). С. 56-63.

## References

1. Buryak, S.M., Chernikova, O.V., Mazhaiskii, Yu.A. (2024). *Vosstanovlenie plodorodiya maloproduktivnykh dernovo-podzolistykh pochv, vnov' vvodimykh v sel'skokhozyaistvennyi oborot* [Restoration of Fertility of Low-Productive Sod-Podzolic Soils Newly Introduced into Agricultural Use]. *Vestnik KrasGAU*, no. 1 (202), pp. 56-63.

2. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of Field Experiment (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)], Moscow, *Agro-promizdat*.

3. Gamm, T.A., Grivko, E.V. & Idigenov, B.B. (2023). *Vliyaniye na urozhay yarovoi pshenitsy udobreniy iz organicheskikh otkhodov na chernozeme obyknovennom* [Influence of Fertilizers from Organic Waste on the Spring Wheat Yield on Ordinary Chernozem]. *Plodorodie*, no. 2, pp. 76-79. DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.17

4. Kayumov, M.K. (1989). *Programmirovaniye urozhayev sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Programming Yields of Agricultural Crops], Moscow, *Agro-promizdat*.

5. Kireicheva, L.V. & Belova, I.V. (2003). *Ekologicheskyye aspekty povysheniya prirodno-resursnogo potentsiala agrolandshafta* [Ecological Aspects of Increasing the Natural Resource Potential of the Agricultural Landscape]. *Voprosy Melioratsii*, no. 3-4.

6. Kireicheva, L.V., Karpenko, N.P., Yashin, V.M. et al. (2022). *Nauchnyye osnovy i tekhnologicheskyye priemy kompleksnogo regulirovaniya parametrov agroekosistemy: monografiya* [Scientific Basis and Technological Methods for Comprehensive Regulation of Agroecosystem Parameters: Monograph] (ed. Kireicheva, L.V.), Moscow, *FGBNU VNIIGIM imeni A.N. Kostyakova*.

7. Kulakovskaya, T.N. (1990). *Optimizatsiya agrokhimicheskoi sistemy pochvennogo pitaniya rasteniy* [Optimization of the Agrochemical System of Soil Nutrition of Plants], Moscow, *Agro-promizdat*.

8. Mineev, V.G., Sychev, V.G., Amel'yanchik, O.A. et al. (2001). *Praktikum po agrokhimii: uchebnoye posobie* [Practical Agrochemicals: Textbook] (ed. Mineev, V.G.), Moscow, *MGU*, pp. 163-176.

9. Semenov, V.A. (2003). *Sovershenstvovaniye metodiki provedeniya dlitel'nykh opytov i matematicheskiye metody obrabotki eksperimental'nykh dannykh* [Improving the Methodology for Conducting Long-Term Experiments and Mathematical Methods for Processing Experimental Data], Moscow, *Agroconsaliding*.

10. Sheshenev, N.V. & Mazhaiskii, Yu.A. (2023). *Dinamika agrofizicheskikh pokazatelei pochvy pri osvoinii zaleznykh zemel' v usloviyakh Tsentral'nogo Nечернозем'ya* [Dynamics of Agrophysical Soil Indicators During the Development of Fallow Lands in the Conditions of the Central Non-Chernozem Zone]. *Melioratsiya*, no. 4 (106), pp. 48-53.

11. Shatilov, I.S. (1978). *Fotosinteticheskii potentsial, intensivnost' fotosinteza i rol' otdel'nykh organov rasteniy v formirovaniy biologicheskogo urozhaya ozimoi pshenitsy na raznykh agrofonakh* [Photosynthetic Potential, Photosynthesis Intensity and the Role of Individual Plant Organs in the Formation of the Biological Yield of Winter Wheat on Different Agricultural Backgrounds]. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, vol. 13, no. 1, pp. 48-53.

12. Shevchenko, V.A., Solov'ev, A.M., Bondareva, G.I. & Popova, N.P. (2025). *Regulirovaniye potokov biogennykh elementov v agroekosistemakh osvivaemykh zemel' Nечерноземnoi zony Rossii* [Regulation of Nutrient Flows in Agroecosystems of Newly Developed Lands in the Non-Chernozem Zone of Russia], Moscow, *FNTS VNIIGIM im. A.N. Kostyakova*.

13. Shevchenko, V.A., Solov'ev, A.M., Bondareva, G.I. & Popova, N.P. (2023). *Energeticheskaya otsenka vnesheniya organicheskikh otkhodov svinovodcheskogo kompleksa na osvivaemykh zemlyakh Verkhnevolszh'ya* [Energy Assessment of the Application of Organic Waste from a Pig-Breeding Complex on Developed Lands of the Upper Volga Region]. *Plodorodie*, no. 4, pp. 46-49. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.11.

14. Sychev, V.G., Shevtsova, L.K., Merzlaya, G.E. & Belichenko, M.V. (2017). *Otsenka rezul'tatov monitoringa sodержaniya i balansa gumusa v dlitel'nykh opytakh Geoset* [Evaluation of the Results of Monitoring the Content and Balance of Humus in the Long-Term Experiments of the Geonet]. *Plodorodie*, no. 6(99), pp. 28-30.

15. Sychev, V.G., Shevtsova, L.K. & Merzlaya, G.E. (2018). *Issledovaniye dinamiki i balansa gumusa pri dlitel'nom primeneniy sistem udobreniya na osnovnykh tipakh pochvy* [Study of the Dynamics and Balance of Humus During Long-Term Application of Fertilizer Systems on the Main Soil Types]. *Agrokhimiya*, no. 2, pp. 3-21.

16. Khatkov, K.Kh., Morozov, A.V. & Morozova, E.S. (2024). *Izmeneniye sodержaniye gumusa v pochvakh Respubliki Adygeya pri dlitel'nom sel'skokhozyaistvennom ispol'zovanii* [Changes in Humus Content in the Soils of the Republic of Adygea Under Long-Term Agricultural Use]. *Plodorodie*, no. 4, pp. 50-55. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.11.

## Информация об авторах:

**Шевченко Виктор Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, директор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5444-9693>, Scopus ID: 57209792752, SPIN-код: 8028-2743, ID РИНЦ: 479685, shevchenko.v.a@yandex.ru

**Соловьёв Алексей Малахович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом управления плодородием почв мелиорируемых земель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8387-0989>, Scopus ID: 57219090365, SPIN-код: 6080-1245, ID РИНЦ: 756344, solo-a45@mail.ru

**Бондарева Галина Ивановна**, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7816-7968>, Scopus ID: 57210220490, SPIN-код: 1626-3289, ID РИНЦ: 277984, boss2569@yandex.ru

**Попова Наталья Павловна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9301-027X>, Scopus ID: 57219096264, SPIN-код: 1891-2369, ID РИНЦ: 891027, lyn.popova@yandex.ru

## Information about the authors:

**Viktor A. Shevchenko**, doctor of agricultural sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, director, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5444-9693>, Scopus Author ID: 57209792752, SPIN code: 8028-2743, RSCI ID: 479685, shevchenko.v.a@yandex.ru

**Aleksey M. Solov'yev**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department for management of soil fertility of reclaimed lands, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8387-0989>, Scopus Author ID: 57219090365, SPIN code: 6080-1245, RSCI ID: 756344, solo-a45@mail.ru

**Galina I. Bondareva**, Dr. Sci. (Eng.), associate professor, chief researcher of the department for management of soil fertility of reclaimed lands, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7816-7968>, Scopus Author ID: 57210220490, SPIN code: 1626-3289, RSCI ID: 277984, boss2569@yandex.ru

**Natalya P. Popova**, candidate of agricultural sciences, associate professor, leading researcher of the department for management of soil fertility of reclaimed lands, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9301-027X>, Scopus Author ID: 57219096264, SPIN code: 1891-2369, RSCI ID: 891027, lyn.popova@yandex.ru

