

EDN KRXQFE

DOI 10.5281/zenodo.8271998

УДК 631.452:631.84:633.2

Свечников А. К., Козлова Л. М.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В СЕВООБОРОТАХ С МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»

Реферат. На данный момент актуальны вопросы оптимизации агрофитоценозов и внесения удобрений, что обусловлено ухудшением состояния почв и снижением количества гумуса. Цель исследований – оценить влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание гумуса в почве с учетом анализа отечественной и зарубежной научной литературы. В условиях Республики Марий Эл в 2001–2018 гг. проведен полевой опыт в трех травянозерновых севооборотах с разной долей в структуре травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки: $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{3}$ и $\frac{1}{2}$ (фактор А). Внесение минеральных удобрений проводили в дозах $N_{90}P_{90}K_{90}$ ($P_{90}K_{90}$ в третьей ротации) и $N_{60}P_{60}K_{60}$ (фактор В). Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса по Тюрину – 1,82 %, общего азота по Кьельдалю – 0,15 %, фосфора по Кирсанову – 840 мг/кг, калия по Кирсанову – 200 мг/кг (2001 г.). При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ в течение 18 лет содержание гумуса увеличилось в слое почвы 0–20 см в среднем на $0,49 \pm 0,03$ % (в 1,29 раза или на $0,027 \pm 0,005$ % в год). При снижении доз фосфорно-калийных удобрений без внесения азотных, потеря гумуса за третью ротацию составила в среднем $0,17 \pm 0,08$ %. В третью ротацию без внесения азотных удобрений установлено, что с увеличением доли многолетних трав на $\frac{1}{6}$, потери гумуса снижались в среднем с 0,27 % на 0,08 % или с 0,045 % на 0,13 % в год. Согласно данным других исследователей, опубликованных за последние 10 лет, насыщение севооборотов многолетними травами способствовало повышению содержания гумуса в почве в 84,6 % экспериментов (до 0,075 % в год). Минеральные удобрения способствовали росту величины этого показателя до 0,075 % в год (в 82,4 % исследований).

Ключевые слова: бобово-злаковые травосмеси, азот, удобрения, насыщенность, НРК.

Для цитирования: Свечников А. К., Козлова Л. М. Динамика содержания гумуса в севооборотах с многолетними травами // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 87–101. EDN: KRXQFE. DOI 10.5281/zenodo.8271998.

For citation: Svechnikov A. K., Kozlova L. M. Dynamics of humus content in crop rotations with perennial grasses // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 87–101. EDN: KRXQFE. DOI 10.5281/zenodo.8271998.

Введение

Урожайность культур в значительной мере зависит от содержания в почве гумуса [1]. Дерново-подзолистые почвы Евро-Северо-Востока России ежегодно теряют до 0,5–1,9 т/га гумуса. За последние два десятилетия в Удмуртской Республике потери составили 0,4–0,9 %, Республике Марий Эл – 0,13 %, Костромской области – свыше 0,2 % [2].

Насыщение кормовых севооборотов однолетними культурами уменьшает в почве пористость, накопление азота и долю органического углерода [3] – главных составных элементов гумуса. Показана четырёхкратная потеря гумуса (слой почвы 0–

40 см) при насыщении севооборотов пропашными культурами – с 25 % до 75 %. Только благодаря увеличению доли многолетних бобовых трав (клевер) до 40 % и отсутствию пропашных культур в данных агрофитоценозах установился положительный баланс органического вещества [4].

Положительный углеродный баланс (0,6–0,8 т/га) только благодаря возделыванию бобово-злаковых травосмесей в севообороте наблюдался даже на плодородных почвах, причём в первом году укосного возделывания многолетних трав [5, 6]. Многие исследователи считают, что выращивание клевера в смеси с различными злаковыми травами эквивалентно внесению в почву навоза с высоким содержанием питательных веществ [7, 8].

Стоит отметить, что некоторые преимущества многолетних травосмесей на основе клевера красного в кормовом севообороте в условиях Республики Марий Эл по динамике содержания гумуса в почве ранее нами упоминались [9]. Полученные результаты нуждались в дальнейшем анализе и сопоставлении с результатами современных публикаций (Россия и зарубежные страны) схожей тематики за последние 10 лет.

Цель исследований – оценить влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание гумуса в почве с учетом анализа отечественной и зарубежной научной литературы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2001–2018 гг. в полевом стационарном опыте Марийского научно-исследовательского института – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», заложенном в 2001 г. Изучали два фактора: насыщенность севооборотов многолетними травами (фактор А) и внесение азотных удобрений (фактор В). Опыт заложен в четырех повторностях с систематическим расположением делянок. Севообороты кормовые, травянозерновые шестипольные с посевом поукосных промежуточных культур. В четырёх из шести полей ($2/3$) в качестве основной культуры возделывали однолетние или многолетние травосмеси на основе бобовых. Согласно схеме опыта долю многолетних трав $1/6$ имел контрольный севооборот, или $C_{1/6}$ (викоовсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы первого года пользования; озимая рожь, горчица поукосно; яровой ячмень; викоовсяная смесь, горчица поукосно; смесь из вики, овса и подсолнечника); долю $1/3$ – севооборот $C_{1/3}$ (викоовсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы первого года пользования; озимая рожь, горчица поукосно; яровой ячмень; викоовсяная смесь, горчица поукосно); долю $1/2$ – севооборот $C_{1/2}$ (викоовсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы первого года пользования; многолетние травы второго года пользования; многолетние травы третьего года пользования; озимая рожь, горчица поукосно; яровой ячмень).

На фуражное зерно возделывали яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L., сорт Владимир), остальные культуры – на зелёную массу (посевная вика яровая (*Vicia sativa* L., Вера), овёс яровой (*Avena sativa* L., Буланный), рожь озимая (*Secale cereale* L., Татьяна), клевер луговой (*Trifolium pratense* L., Мартум), люцерна изменчивая (*Medicago varia* Mart., Лада), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L., Вик 85), горчица белая (*Sinapis alba* L., Белянка) и подсолнечник (*Helianthus annuus* L., Скороспелый 87)).

Нормы высева (в млн шт. всхожих семян/га): овёс (2) + вика (1) + клевер (1) + люцерна (1) + тимофеевка (1); озимая рожь (4); горчица (4); ячмень (3); вика (1) + овёс (3); вика (1) + овёс (3) + подсолнечник (0,02).

На опытном участке весной ежегодно вносили фосфорно-калийные удобрения ($P_{60}K_{60}$) и удобрения в виде аммиачной селитры (фактор В) – N_0 и N_{60} . Азот под многолетние бобово-злаковые травы не вносили. Так как структура севооборотов отличалась долей многолетних трав, фактические дозы внесения в почву азота в среднем за третью ротацию составили $C_{1/6}$ 50 кг/га действующего вещества, $C_{1/3}$ – 40 кг/га, а $C_{1/2}$ – 30 кг/га. В первые две ротации в варианте N_0 дозы внесения были в полтора раза выше, чем в варианте N_{60} ($N_{90}P_{90}K_{90}$). Фактические дозы для варианта N_{60} в среднем за три ротации (2001–2018 гг.) были следующие: $P_{80}K_{80}$, по минеральному азоту 25, 30 и 22,5 кг/га действующего вещества соответственно для севооборотов $C_{1/6}$, $C_{1/3}$ и $C_{1/2}$.

Почва – среднесуглинистая дерново-подзолистая. По основным агрохимическим показателям в год закладки опыта можно считать, что почва достаточно плодородная для условий Республики Марий Эл. Содержание гумуса по Тюрину в слое 0–20 см составляло 1,82 %, общего азота по Кьельдалю – 0,15 %, фосфора по Кирсанову – 840 мг/кг, калия по Кирсанову – 200 мг/кг. Гидролитическая кислотность среды – 23 мг-экв./кг, pH_{KCl} – 5,25 единиц.

Опрыскивание вегетирующих растений средствами химической и биологической защиты не проводили. Семена однолетних и двулетних культур протравливали рекомендуемыми дозами фунгицида «Максим», КС, а ярового ячменя – «Дивиденд Стар», КС. Семена многолетних трав агрохимическими средствами не обрабатывали.

Содержание гумуса (слой почвы 0–20 см) определяли весной при закладке опыта (2001 г.), в конце второй (2012 г.) и третьей (2018 г.) ротации севооборотов по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–84), другие агрохимические свойства – по ГОСТ 13496 (общий азот), ГОСТ 26207–84 (обменного калия и подвижного фосфора), ГОСТ 26483–85 (pH солевой вытяжки) и ГОСТ 26212–84 (гидролитическая кислотность). Для статистического анализа данных с уровнем значимости 5 % и методики проведения полевого опыта использовали «Методику полевого опыта» Доспехова Б. А. [10] и Microsoft Office Excel 2013ю

Для обзора русскоязычной литературы были использованы индексированные в системе РИНЦ (elibrary.ru) публикации за последние 10 лет в поисковой системе yandex.ru, для зарубежной – за последние шесть лет на основе следующего запроса в интернет-портале google.com: “rotation” and (“perennial legume” or “perennial grass” or “alfalfa” or “clover” or “trefoil” or “melilot” or “timothy” or “rump”) and (“organic carbon” or “organic c” or “total c” or “SOC” or “humus”) and DOI.

Содержание гумуса в почве по данным англоязычных статей определяли через переводной коэффициент 1,724 к органическому углероду, который указан в методике Тюрина (ГОСТ 26213–84). В исследованиях, где показатели органического углерода не приведены, но указаны его запасы в почве, а также слой изучаемой почвы и её плотность, использовали формулу (1):

$$H = \frac{1,724 \times M}{h \times \rho}, \quad (1)$$

где H – содержание гумуса в почве, %; M – запасы углерода в почве, т/га; h – слой исследуемой почвы, см; ρ – плотность почвы, г/см³.

Результаты и их обсуждение

Систематическое внесение минеральных удобрений с начала закладки опыта позволило повысить содержание гумуса в слое почвы 0–20 см в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах к началу третьей ротации в среднем на 0,47 ± 0,03 % (на четверть от исходного значения) или 0,039 % в год (таблица 1). При этом ни один из севооборотов не имел существенных преимуществ по концентрации

изучаемого вещества (его показатели составляли в среднем $2,31 \pm 0,03$ %). За первые две ротации различия между вариантами появились благодаря внесению разного количества NPK. Содержание гумуса в почве на начало третьей ротации севооборотов при варианте N_0 было выше, чем при N_{60} на 0,10 % ($HCP_{05}(B) = 0,05$ %).

Таблица 1 – Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см, %

Вариант		2012 г	2018 г.	Изменение за 2012–2018 гг.	
				общее	за год
$C_{1/6}$	N_0	$2,38 \pm 0,08$	$2,08 \pm 0,19$	$-0,30 \pm 0,23$	$-0,050 \pm 0,038$
	N_{60}	$2,29 \pm 0,06$	$2,43 \pm 0,14$	$+0,14 \pm 0,14$	$+0,023 \pm 0,023$
	Среднее	$2,34 \pm 0,06$	$2,26 \pm 0,18$	$-0,08 \pm 0,23$	$-0,013 \pm 0,038$
$C_{1/3}$	N_0	$2,34 \pm 0,15$	$2,23 \pm 0,19$	$-0,11 \pm 0,15$	$-0,018 \pm 0,025$
	N_{60}	$2,23 \pm 0,01$	$2,41 \pm 0,08$	$+0,18 \pm 0,07$	$+0,030 \pm 0,012$
	Среднее	$2,29 \pm 0,07$	$2,35 \pm 0,11$	$+0,04 \pm 0,15$	$+0,007 \pm 0,025$
$C_{1/2}$	N_0	$2,36 \pm 0,18$	$2,21 \pm 0,08$	$-0,15 \pm 0,13$	$-0,025 \pm 0,022$
	N_{60}	$2,28 \pm 0,08$	$2,46 \pm 0,11$	$+0,14 \pm 0,10$	$+0,023 \pm 0,017$
	Среднее	$2,32 \pm 0,07$	$2,31 \pm 0,12$	$-0,01 \pm 0,16$	$-0,002 \pm 0,027$
Среднее	N_0	$2,36 \pm 0,05$	$2,17 \pm 0,07$	$-0,17 \pm 0,08$	$-0,028 \pm 0,013$
	N_{60}	$2,26 \pm 0,02$	$2,43 \pm 0,03$	$+0,17 \pm 0,03$	$+0,028 \pm 0,005$
	Среднее	$2,31 \pm 0,03$	$2,30 \pm 0,07$	$-0,01 \pm 0,09$	$-0,002 \pm 0,015$
HCP ₀₅ вариантов		0,09	0,13	0,13	0,021
HCP ₀₅ (A)		$H_0:d = 0$		0,10	0,160
HCP ₀₅ (B)		0,05	0,07	0,08	0,013
HCP ₀₅ (AB)		$H_0:d = 0$			

При неизменной системе внесения удобрений (N_{60}) в течение изучаемой ротации (2012–2018 гг.) также происходило повышение содержания гумуса, но в меньшей степени ($HCP_{05} = 0,13$ %). Этот рост показывал в среднем 0,14–0,18 % (0,023–0,030 % ежегодно). По массовой доле гумуса определить лучший вариант при схеме внесения N_{60} к 2018 г. не позволил HCP_{05} (0,13 %). В итоге, во всех изученных севооборотах при внесении N_{60} в течение 18 лет увеличилось содержание гумуса в слое почвы 0–20 см с 1,82 % в среднем на $0,49 \pm 0,08$ % (в 1,29 раза или на $0,027 \pm 0,005$ % в год). В 2018 г. содержание гумуса в вариантах с внесением азота (N_{60}) было повышенным, по сравнению с N_0 , как в каждом из севооборотов на 0,18–0,35 % ($HCP_{05} = 0,13$ %), так и в среднем по изученным севооборотам на 0,26 % ($HCP_{05}(B) = 0,07$ %).

В результате исключения азотных удобрений и снижения доз фосфорно-калийных до $R_{60}K_{60}$ в третьей ротации потеря гумуса в слое почвы 0–20 см изученных агрофитоценозов составила в среднем $0,17 \pm 0,08$ %. Длительность выращивания травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки определила главное преимущество севооборотов $C_{1/3}$ и $C_{1/2}$ по изменению содержания гумуса в слое почвы 0–20 см по сравнению с контролем. При этом максимальные потери вещества произошли в результате однолетнего пользования бобово-злаковой травосмеси ($C_{1/6}N_0$) – в среднем на $0,30 \pm 0,23$ % ($0,050 \pm 0,038$ % ежегодно). Продление вегетации многолетних трав до трёх-четырёх лет ($C_{1/3}N_0$ и $C_{1/2}N_0$) способствовало снижению потерь гумуса на 0,15–0,19 % (в 2,0–2,7 раза). Стоит отметить, что при увеличении срока возделывания с трёх ($C_{1/3}N_0$) до четырёх лет ($C_{1/2}N_0$) показатель в дальнейшем существенно не повышался ($HCP_{05} = 0,13$ %). Согласно Никончику П. И. [11], положительная динамика возрастания содержания гумуса с насыщением севооборотов многолетними травами может отсутствовать или даже стать отрицательной в зависимости от различных условий возделывания многолетних и бобовых трав в течение ротации. В итоге, по динамике содержания гумуса за 2012–2018 гг. почва севооборотов без внесения минерального азота (N_0) в слое 0–20

см стала уступать варианту с N_{60} в среднем на $0,34 \pm 0,09$ %. Неизменный уровень внесения азотных удобрений под весенние обработки почвы способствовал увеличению органического вещества в почве агрофитоценозов в среднем на $0,17 \pm 0,03$ %. Прямолинейная положительная взаимосвязь содержания гумуса с долей многолетних трав установлена только при исключении минерального азота (см. рисунок). По шкале Чеддока данная связь характеризуется как «заметная» (коэффициент детерминации составляет $43,7 \pm 40,0$ %). Согласно рисунку, с увеличением доли многолетних бобово-злаковых трав на $1/6$ потери гумуса снижались в среднем с $0,27$ % на $0,08$ % или с $0,045$ % на $0,013$ % в год. При доле многолетних трав $1/2$ эта потеря достигала $0,11$ % или $0,018$ % в год. Однако превышение HCP_{05} ($0,395$ %) проявлялось только за пределами опыта (при разнице в насыщенности многолетних трав свыше $79,7$ %).

Представленная закономерность указывает на необходимость внесения минерального азота в севооборотах для повышения содержания гумуса в почве, особенно при высокой доле одно- и двухлетних кормовых культур.

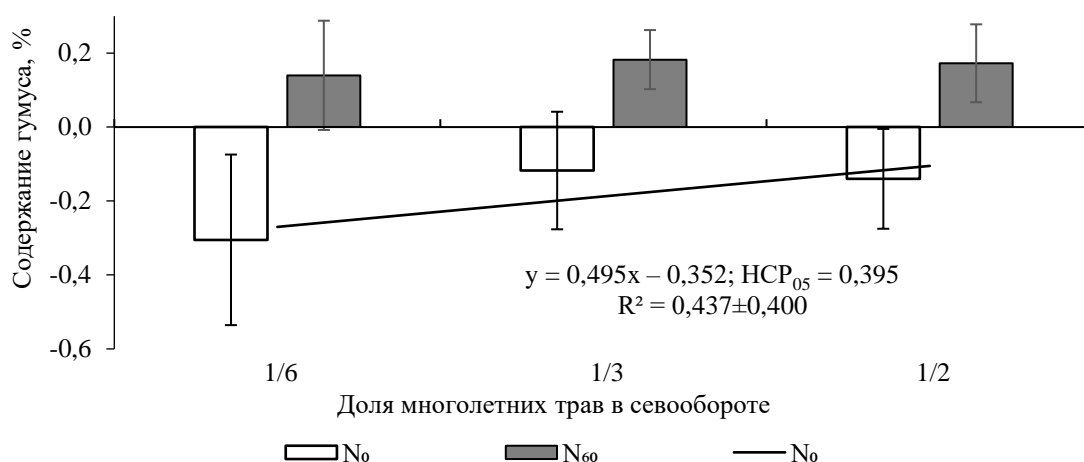


Рисунок – Изменение содержания гумуса в слое почвы 0–20 см (2012–2018 гг.)

В нашем опыте и большинстве изученных публикаций насыщение севооборотов многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами повышало содержание гумуса в почве несущественно или мало в сравнении с внесением удобрений (таблица 2). Изучение результатов опытов, проведенных многими исследователями, показало, что увеличение содержания гумуса в почве, прежде всего, фиксировалось в случаях внесения органических удобрений. Рост доли этого вещества от применения навоза (не менее 5 т/га в год) или сидератов (более $3,5$ т/га в год) в опытах превосходил использование минеральных удобрений на $0,044$ – $0,190$ % в год, а насыщение многолетними травами – на $0,035$ – $0,136$ % в год. Применение торфо-навозного компоста в Институте агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН после 41 года [12] не дало такой безусловной эффективности – при дозе $13,3$ т/га в год не появились преимущества ни перед неудобренным контролем, ни перед внесением минеральных удобрений. Лишь при двукратном увеличении доз данный вид удобрений превосходил минеральные с $0,005$ – $0,0012$ % в год на $0,015$ – $0,22$ % в год (в 2–5 раз).

Стоит отметить, что в некоторых условиях для увеличения содержания гумуса в севооборотах с многолетними травами дозы органических удобрений могут быть недостаточными. Так, в Шведском сельскохозяйственном университете [42] при одном или двух полях клеверо-овсянико-тимофеечной травосмеси в шестипольном севообороте с однократным внесением 40 т/га навоза за 54 года содержание гумуса

снизилась на 0,47–0,58 %. При трёх-пятилетнем использовании многолетних трав и двукратном внесении 30 т/га навоза, напротив, увеличилось на 0,34–1,38 %.

Таблица 2 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами и доз внесения удобрений на содержание гумуса в почве в различных странах зарубежья и регионах России (на основе публикаций, 2013–2023 гг.)

Место изучения	Доля многолетних трав, %	Внесение удобрений	Слой почвы, см	Срок, лет	Содержание гумуса, %
1	2	3	4	5	6
Владимирская область [13] ¹	40	без удобрений	0–20	5	+ 0,01
		P ₃₅ K ₄₅			+ 0,09
		N ₄₀ P ₃₅ K ₄₅			– 0,05
		N ₈₀ P ₆₀ K ₉₀			+ 0,04
Волгоградская область [14] ¹	33,3	без удобрений	0–25	12	– 0,28
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀			+ 0,08
Воронежская область [15] ¹	17	без удобрений	0–20	6	– 0,20
	25			8	– 0,13
	10	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		11	+ 0,04
	20			+ 0,07	
Воронежская область [16] ¹	37,5	без удобрений	0–30	7	+ 0,35
Ивановская область [17] ¹	40, 60	без удобрений	0–20	12	+ 0,01
		N _{7,5-9} P _{7,5-9} K _{7,5-9}			+ 0,04
		N ₁₅₋₁₈ P ₁₅₋₁₈ K ₁₅₋₁₈			+ 0,17
Иркутская область [18] ¹	40	без удобрений	0–20	5	+ 0,60
Кировская область [19] ¹	50	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	0–20	8	– 0,02
Краснодарский край [20] ¹	0	без удобрений	0–20	8	– 0,66
	25				– 0,13
Омская область [21] ¹	50	без удобрений	0–20	18	– 0,01
		N ₁₀ P ₁₇			+ 0,20
		N ₁₅ P ₂₃			+ 0,25
Пермский край [22] ¹	25	без удобрений	0–20	40	– 0,42
		N ₆₀₋₁₅₀			+ 0,00
Псковская область [23] ¹	28,6	без удобрений	0–20	30	– 0,35
		N ₅₆ P ₇₆ K ₈₉			+ 0,12
Республика Коми [12] ¹	33,3	без удобрений	0–20	41	+ 0,50
		N ₁₇ P ₁₀ K ₄₅			0,012+ 0,50
		N ₂₃ P ₁₆ K ₆₇			+ 0,40
		N ₄₇ P ₃₁ K ₁₃₅			0,005+ 0,20
		13,3 т/га ТНК			+ 0,30
		13,3 т/га ТНК, N ₄₇ P ₃₁ K ₁₃₅			+ 0,90
		26,7 т/га ТНК			0,027+ 1,10
26,7 т/га ТНК, N ₄₇ P ₃₁ K ₁₃₅	+ 0,90				
Республика Марий Эл [24] ¹	16,7	N ₀₋₅₀ P ₀₋₆₀ K ₀₋₆₀	0–20	19	– 0,14
		13,3 т/га навоза			+ 0,44
	N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀ , 13,3 т/га навоза	+ 0,41			
	без удобрений	– 0,03			
Республика Татарстан [25] ¹	37,5	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	0–20	8	+ 0,01
		НРК (травы 20 т/га, зерно 3-4 т/га) *			+ 0,14
Республика Татарстан [26] ¹	37,5	без удобрений	0–30	17	+ 0,08
		НРК (зерно 4 т/га) *			+ 0,83
		навоз 7 т/га, НРК (зерно 4 т/га) *			+ 1,24

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	
Ростовская область [27,28] ¹	40	без удобрений	0–20	13	– 0,09	
		5 т/га навоза, N ₄₆ P ₂₄ K ₃₀			+ 0,07	
		8 т/га навоза, N ₈₄ P ₃₀ K ₄₈			+ 0,31	
Свердловская область [29] ¹	16,7	без удобрений	0–20	6	+ 0,00	
	33,3	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀			+ 0,05	
		без удобрений			+ 0,04	
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		+ 0,03		
Тамбовская область [30] ¹	20	без удобрений	0–20	10	+ 0,40	
Тверская область [31] ¹	25	7 т/га навоза, NPK (зерно 3-4 т/га) *	0–20	7	+ 0,43–0,62	
Удмуртская Республика [32] ¹	25	без удобрений	0–20	8	– 0,23	
		N ₈₁ P ₈₀ K ₁₀₂			– 0,15	
Республика Беларусь, Минская область [11] ¹	25	N _{77,5} P _{86,25} K ₁₂₅	0–20	26	+ 0,01	
		11,2 т/га навоза, N _{77,5} P _{86,25} K ₁₂₅			+ 0,20	
	33,3	N _{64,(4)} P _{86,25} K _{73,(3)}			+ 0,04	
		11,2 т/га навоза, N _{64,(4)} P _{86,25} K _{73,(3)}			+ 0,24	
	33,3	без удобрений			30	– 0,04
	66,7					– 0,05
	83,3					– 0,06
100	– 0,07					
Херсонская область [33] ¹	33,3	без удобрений	0–30	12	+ 0,37–0,43	
	50				+ 0,42–0,52	
Великобритания [34] ²	60	N ₂₅	0–25	69	+ 0,45–0,50	
	55				+ 0,52–0,55	
	52				+ 0,69–0,78	
Германия, Республика Бавария [35] ²	50–75	26-31 т/га дигестата	0–30	8	+ 0,34–0,36	
Дания [36] ²	31	N ₁₉₋₁₁₈ (навозная жижа)	0–20	32	+ 0,31	
	69				+ 0,53	
Канада, провинция Онтарио [37] ²	50	без удобрений	0–10	58	– 0,85	
		N _{8,4} P _{14,7} K _{13,9}			– 0,33	
	100	без удобрений			+ 3,52	
		N ₁₇ P ₂₉ K ₂₈		+ 5,47		
Китай, провинция Шенси [38] ³	50	N _{63,5} P ₆₂	0–15	30	+ 0,82	
Польша, Люблинское воеводство [39] ¹	25	P ₂₄ K ₉₆	0–25	35	– 0,02	
		N ₁₀₀ P ₂₄ K ₉₆			+ 0,02	
		N ₁₅₀ P ₂₄ K ₉₆			+ 0,00	
США, штат Висконсин [40, 41] ²	33,3	N ₅₂ P _{14,7} K ₁₂₈	0–15	26	– 0,46	
	50	N ₄₇ P ₁₅ K ₁₃₀			– 0,05	
Швеция, лен Вестерноррланд [42] ²	83,3	10 т/га навоза	0–25	54	+ 1,38	
	50				+ 0,34	
	33,3	6,7 т/га навоза			– 0,47	
	16,7				– 0,58	
Швеция, лен Эрберу [43] ²	50	без удобрений	0–10	35	+ 0,64	
		N ₁₅			+ 0,91	
Уругвай, департамент Трейнта-и-Трес [44] ^{2,3}	60	N ₃₉ P ₃₆ K ₁₈	0–15	8	+ 0,33	

Примечания: ¹ – гумус определен по методу Тюрина; ² – гумус вычислен с помощью коэффициента 1,724 к органическому углероду, определенному по методу сухого сжигания Дюма; ³ – гумус вычислен с помощью формулы (1) в разделе «Материалы и методы исследований», где органический углерод определен по методу сухого сжигания Дюма. ТНК – торфо-навозный компост. * – внесено NPK по дозе из расчета на указанную планируемую урожайность.

Влияние минеральных удобрений в севооборотах с многолетними травами на содержание гумуса в почве изучалось чаще всего. Их положительный эффект на агрохимический показатель фиксировался в 13 из 16 представленных публикаций. В некоторых исследованиях повышение доз минеральных удобрений (особенно при увеличении насыщенности агрофитоценозов многолетними травами) снижало эффективность увеличения содержания гумуса в почве. В пользу внесения азотных удобрений, как и в нашем опыте, свидетельствуют многие публикации. Внесение только минерального азота даже в дозе 60–150 кг/га действующего вещества под небобовые культуры (зерновые) в Пермском крае (на 0,011 % в год) [22] и Швеции (на 0,008 % в год) [43] благоприятствовали значительному повышению накопления гумуса в почве. Положительная динамика по агрохимическому показателю фиксировалась также в Китае (на 0,027 % в год) [38] и Уругвае (на 0,041 % в год) [44], где изучаемые факторы (удобрения и доля многолетних трав в севообороте) не были оцениваемы. Внесение минерального азота под многолетние травы на основе бобовых культур зачастую становится нецелесообразным как в нижеперечисленных публикациях.

Внесение только фосфорно-калийных удобрений, в отличие от данных нашего опыта, также могут повышать содержание гумуса. Так, во Владимирской области (ВНИИОУ) [13] применение только фосфорно-калийных удобрений ($P_{35}K_{45}$) в зернотравяном севообороте с 40 % насыщением клеверо-тимофеечной травосмесью за пять лет увеличило показатель на 0,09 %. Включение азота (N_{40}), напротив, снизило его на 0,05 %, что меньше, чем в вариантах без удобрений, в которых был близкий к нулю рост гумуса в почве (на 0,01 % за пять лет). Это произошло потому, что данный элемент вносили как под многолетние бобово-злаковые травы, так и под другие культуры. Увеличение их доз в два раза ($N_{80}P_{60}K_{90}$) привело к положительным изменениям в содержании изучаемого вещества, но, тем не менее, на 0,05 % уступало варианту только с фосфорно-калийными удобрениями. В аналогичном опыте польских учёных [39], где структура севооборотов насыщена всего на 25 % многолетними травами, за 35 лет небольшая отрицательная динамика (на 0,02 %) прослежена только в результате повышения уровня внесения с $N_{100}P_{24}K_{96}$ до $N_{150}P_{24}K_{96}$.

В Республике Коми увеличение доз NPK также снижало их эффективность по образованию гумуса в длительном опыте (41 год) в шестипольном плодосменном севообороте с двумя полями клеверо-тимофеечной травосмеси [12]. Повышение доз NPK с нуля и $N_{17}P_{10}K_{45}$ до $N_{47}P_{31}K_{135}$ снизило содержание гумуса в почве с 0,50 % на 0,30 %, так как азотные удобрения почти равномерно распределили и под бобово-злаковые смеси, и под картофель.

В Уральском НИИСХ [29] ежегодное внесение $N_{30}P_{30}K_{30}$ повысило содержание гумуса на 0,05 % за шесть лет по сравнению с вариантом без удобрений, только в севообороте с 16,7 % долей многолетних трав. При 33,3 % доле применение минерального азота не показало эффективности.

В одном из длительных опытов (19 лет) [24] применение рекомендуемых в Республике Марий Эл доз NPK незначительно (на 0,04 %) улучшило динамические изменения гумуса в почве в шестипольном севообороте с двумя полями клеверо-люцерно-тимофеечной смеси. Однолетнее использование многолетних трав значительно (в среднем на 0,14 %) снизило содержание гумуса в пахотном слое независимо от нормы внесения минеральных удобрений. Азотные удобрения под многолетние травы не вносили, поэтому их влияние в опыте не выявлено.

Насыщение агрофитоценозов многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травосмесями способствовало росту содержания гумуса в пахотном слое почвы в 10 из 12 публикаций. Наибольшим этот рост (без удобрений на 4,73 %, или 0,075 % в

год, и при внесении очень низких доз NPK на 5,80 %, или 0,10 % в год) был зафиксирован в 58-летнем опыте Канады при увеличении доли люцерны в структуре четырёхпольного севооборота с 50 % до 100 % [37]. В России же наилучшие результаты получены во ВНИИ риса в Краснодарском крае в рисовых севооборотах без внесения удобрений [20]. В трёх российских исследованиях [16, 18, 30], где севообороты с долей многолетних трав 20–40 % не сравнивали по изучаемым факторам (удобрения и доля многолетних трав), также отмечена положительная (0,040–0,120 % в год) динамика содержания гумуса в пахотном слое почвы. Насыщение севооборотов до 25 % люцерной за восемь лет снизило убыль гумуса в почве на 0,53 % или 0,066 % ежегодно. В некоторых случаях (в Ивановском НИИСХ [17] и Мюнхенском техническом университете в Германии [35]) доля многолетних трав в агрофитоценозах не оказывала существенного влияния на агрохимический показатель. Сопоставимое (0,048–0,073 % в год) уменьшение снижения изучаемого вещества в нашем опыте наблюдалось только при увеличении внесения азотных удобрений с N₀ до N₆₀.

На дерново-подзолистой почве Республики Беларусь [11] отмечали разнонаправленную динамику содержания гумуса в почве относительно количества многолетних трав в структуре севооборотов. За 26 лет только при внесении удобрений (минеральных или органоминеральных) насыщение агрофитоценозов многолетними травами с четверти до трети улучшало показатель гумуса на 0,03–0,04 %. Увеличение доли этих культур с трети до единицы при естественном режиме питания в течение 30 лет несущественно снижало содержание гумуса в почве (в среднем 0,01 % на каждую треть насыщения).

Выводы

При изучении данных опыта в Марийском НИИСХ – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и других исследователей, опубликованных за последние 10 лет, установлено, что насыщение севооборотов многолетними травами способствовало повышению содержания гумуса в почве в 84,6 % изученных исследований (до 0,075 % в год). Минеральные удобрения увеличивали показатель до 0,075 % в год (в 82,4 % исследований). Важным условием их безусловной эффективности (100 % исследований, рост содержания гумуса в почве – 0,008–0,075 % в год) являлось обязательное применение азотных удобрений только под те поля севооборота, где не использовались многолетние бобовые культуры и их смеси. Наибольший эффект повышения содержания гумуса достигался при внесении навоза не менее 5 т/га в год или сидератов более 3,5 т/га в год, что позволяло превосходить минеральные удобрения ещё на 0,044–0,190 % в год (во всех изученных исследованиях).

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0091).

Автор выражает благодарность за научное руководство при исполнении Государственного задания в 2001–2017 гг. В.М. Измestьеву, к. с.-х. наук, Заслуженному деятелю науки Республики Марий Эл.

Литература

1. Халин А. В., Бакиров Ф. Г., Нестеренко Ю. М., Поляков Д. Г. Оценка влияния культур и звеньев севооборотов на количество органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками, на черноземах южных Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016. № 1. С. 17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/HAV-2016-1.pdf> (дата обращения: 01.03.2023).

2. Козлова Л. М., Рубцова Н. Е., Соболева Н. Н. Трансформация органического вещества агродерново-подзолистых почв Евро-Северо-Востока // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. Т. 6. № 49. С. 47–53.
3. Zhou Z., Palmborg C., Ericson L., Dryler K., Lindgren K., Bergkvist G., Parsons D. A 60-years old field experiment demonstrates the benefit of leys in the crop rotation // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science. 2019. Vol. 69. No. 1. P. 36–42. DOI: 10.1080/09064710.2018.1492010.
4. Мудрых Н. М., Самофалова И. А. Опыт использования растительных остатков в почвах Нечернозёмной зоны России (обзор) // Пермский аграрный вестник. 2017. Т. 1. № 17. С. 88–97.
5. Ebertseder T., Engels C., Heyn J., Reinhold J., Brock C., Fürstenfeld F., Hülsbergen K.J., Isermann K., Kolbe H., Leithold G., Schmid H., Schweitzer K., Willms M., Zimmer J., Humusbilanzierung. Eine methode zur analyse und bewertung der humusversorgung von ackerland. Speyer, Germany: VDLUFA, 2014. 21 p.
6. Weißhuhn P., Reckling M., Stachow U., Wiggering H. Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations // Sustainability. 2017. Vol. 9. No. 12. Art. No. 2267. DOI: 10.3390/su9122267.
7. Löftjönen S., Ollikainen M. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? // Rev Agric Food Environ Stud. 2017. Vol. 98. No. 4. P. 283–312. DOI: 10.1007/s41130-018-0063-z.
8. Lehtonen H., Niskanen O. Promoting clover-grass: implications for agricultural land use in Finland // Land Use Policy. 2016. Vol. 59. P. 310–319. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.09.005.
9. Свечников А. К. Преимущества травянозерновых севооборотов от продления срока использования клеверо-люцерно-тимофеечной смеси // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 6. С. 752–763. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 p.
11. Никончик П. И. Севооборот, структура посевов и баланс гумуса в почве // Земледелие и защита растений. 2016. Т. 1 (106). С. 3–7.
12. Чеботарев Н. Т., Шергина Н. Н., Броварова О. В., Тулинов А. Г. Действие комплексного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность и качество кормовых культур в условиях Европейского Севера // Агрохимический вестник. 2020. № 6. С. 23–27. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10080.
13. Марчук Е. В. Взаимодействие удобрений и биологического азота в севооборотах на легких дерново-подзолистых почвах // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 29–31.
14. Мелихова Н. П., Зибаров А. А., Тегесов Д. С., Севостьянова Г. М. Севооборот – важное средство сохранения плодородия и повышения продуктивности орошаемых агроландшафтов // Известия НВ АУК. 2019. Т. 4 (56). С. 92–99. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12.
15. Турусов В. И., Абанина О. А., Богатых О. А. Изменение показателей почвенного плодородия при формировании севооборотов в адаптивном земледелии юго-востока ЦЧЗ // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 2. С. 48–53. DOI: 10.26178/AE.2019.33.90.013.
16. Дедов А. А., Несмеянова М. А., Дедов А. В. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2017. № 9. С. 25–32. DOI: 10.7868/S0002188117090022.
17. Шрамко Н. В., Вихорева Г. В. Роль биологизированных севооборотов в изменении содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах Верхневолжья // Земледелие. 2016. № 1. Р. 14–16.
18. Козлова З. В., Матаис Л. Н., Глушкова О. А. Влияние эспарцета на плодородие почвы и агроэкономические показатели кормовых севооборотов в условиях Восточной Сибири // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2020. Т. 23 (71). С. 67–72. DOI: 10.33814/МАК-2020-23-71-67-72.
19. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 5. С. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
20. Парашенко В. Н., Осипов А. В., Слюсарев В. Н., Чижиков В. Н., Швыдка Я. А. Влияние посевов люцерны на плодородие перегнойно-глеевой почвы при возделывании риса // Рисоводство. 2018. Т. 4 (41). С. 38–40.
21. Храпцов И. Ф., Чекусов М. С., Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений на черноземных почвах Западной Сибири // Плодородие. 2021. Т. 3 (120). С. 104–107. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.20.
22. Широких И. Г., Косолапова А. И., Широких А. А., Завьялова Н.Е. Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном

использовании и внесении минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 102–110. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-102-110.

23. Федотова Е. Н., Рысев М.Н., Волкова Е.С., Кусткова Т.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте со льном-долгунцом на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборота // Известия Великолукской ГСХА. 2016. № 4. С. 8–18.

24. Замятин С. А., Максимова Р. Б., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта в Республике Марий Эл // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. Т. 8 (98). С. 192–196. DOI: 10.23670/IRJ.2020.98.8.029.

25. Ахметзянов М. Р., Таланов И. П. Эффективность полевых севооборотов при различных уровнях интенсификации и биологизации земледелия // Вестник Казанского ГАУ. 2019. Т. 14. № S4-1 (55). С. 10–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-10-14.

26. Шакиров Р. С., Бикмухаметов З. М., Хисамиев Ф. Ф. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур в экологически сбалансированной системе земледелия // Вестник Казанского ГАУ. 2017. Т. 12. № 4 (46). С. 54–60. DOI: 10.12737/article_5a5f067e35f239.84017453.

27. Гаевая Э. А. Изменение содержания гумуса в севооборотах расположенных на эрозионно-опасных склонах Ростовской области // Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2019. С. 85–90.

28. Гаевая Э. А., Безуглова О. С., Нежинская Е. Н. Агрофизические свойства чернозема обыкновенного слабоэродированного в длительном опыте в Ростовской области // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1399–1414. DOI: 10.31857/S0032180X22110053.

29. Постников П. А. Сохранение плодородия почвы через биологизацию земледелия // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1128–1133.

30. Скорочкин Ю. П., Воронцов В. А., Макаров М. Р., Ерофеев С. А. Агротехнологические аспекты регулирования плодородия чернозёмов Тамбовской области // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. Т. 4 (29). С. 207–215.

31. Митрофанов Ю. И., Пугачева Л. В., Карасева О. В., Пантелеева Т. Н. Влияние приемов обработки почвы на динамику гумуса в полевом севообороте на осушаемых землях // Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЗ «Эффективное использование мелиорированных земель: проблемы и решения». Тверь: Тверской государственный университет, 2018. С. 72–77.

32. Дзюин А. Г., Дзюин Г. П. Исследование плодородия почвы и продуктивности восьмипольного севооборота в многолетнем опыте // Агрехимия. 2018. № 2. С. 22–23. DOI: 10.7868/S0002188118020023.

33. Коваленко А. М. Оптимизация создания смешанных агроценозов в севооборотах на орошаемых землях степи Украины и их влияние на плодородие почвы // Материалы междунар. науч. экологическая конф. «Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта». Краснодар: Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, 2016. С. 178–182.

34. Johnston A. E., Poulton P. R., Coleman K., Macdonald A. J., White R. P. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley–arable rotations on a sandy loam soil in England // European Journal of Soil Science. 2017. Vol. 68. No. 3. P. 305–316. DOI: 10.1111/ejss.12415.

35. Levin K. S., Auerswald K., Reents H. J., Hülsbergen K.-J. Effects of organic energy crop rotations and fertilisation with the liquid digestate phase on organic carbon in the topsoil // Agronomy. 2021. Vol. 11. No. 7. Art. No. 1393. DOI: 10.3390/agronomy11071393.

36. Jensen J. L., Beucher A. M., Eriksen J. Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: effect of grassland proportion and organic fertilizer // Geoderma. 2022. Vol. 424. Art. No. 116022. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116022.

37. Miller J. J., Owen J. J., Yang X. M., Drury C. F., Reynolds W. D., Chanasyk D.S. Long-term cropping and fertilization influences soil organic carbon, soil water repellency, and soil hydrophobicity // Can. J. Soil. Sci. 2020. Vol. 100. No. 3. P. 234–244. DOI: 10.1139/cjss-2019-0129.

38. Fu X., Wang J., Sainju U., Liu W. Soil carbon fractions in response to long-term crop rotations in the Loess Plateau of China // Soil Science Society of America Journal. 2017. Vol. 81. No. 3. P. 503–513. DOI: 10.2136/sssaj2016.04.0122.

39. Piłkuła D., Rutkowska A. Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation // Soil Sci. Ann. 2020. Vol. 71. No. 3. P. 246–251. DOI: 10.37501/soilsa/128687.

40. WICST 1st report. Madison: University of Wisconsin, Center for Integrated Agricultural Systems, 1991. 130 p.
41. Potter T. S., Vereecke L., Lankau R. A., Sanford G. R., Silva E. M., Ruark M. D. Long-term management drives divergence in soil microbial biomass, richness, and composition among upper Midwest, USA cropping systems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022. Vol. 325. Art. No. 107718. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107718.
42. Jarvis N., Forkman J., Koestel J., Kätterer T., Larsbo M., Taylor A. Long-term effects of grass-clover leys on the structure of a silt loam soil in a cold climate // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 247. P. 319–328. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.042.
43. Börjesson G., Bolinder M.A., Kirchmann H., Kätterer T. Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations // *Biol Fertil Soils*. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 549–558. DOI: 10.1007/s00374-018-1281-x.
44. Macedo I., Roel A., Ayala W., Pravia M., Terra J., Pittelkow C. Irrigated rice rotations affect yield and soil organic carbon sequestration in temperate South America // *Agronomy Journal*. 2022. P. Vol. 114. Iss. 2. P. 961-975. DOI: 10.1002/agj2.20964.

References

1. Khalin A. V., Bakirov F.G., Nesterenko Yu. M., Polyakov D. G. Assessment of cultures and links crop rotations on organic matter enters the soil with plant residues on southern chernozems in Orenburg region // *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016. No. 1. P. 17. [Electronic resource]. Access point: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/HAV-2016-1.pdf> (references date 01.03.2023).
2. Kozlova L. M., Rubtsova N. E., Soboleva N. N. Transformation of organic matter of sod-podzolic soils in Euro-North-East // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. Vol. 6. No. 49. P. 47–53.
3. Zhou Z., Palmberg C., Ericson L., Dryler K., Lindgren K., Bergkvist G., Parsons D. A 60-years old field experiment demonstrates the benefit of leys in the crop rotation // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 2019. Vol. 69. No. 1. P. 36–42. DOI: 10.1080/09064710.2018.1492010.
4. Mudrykh N. M., Samofalova I. A. On to the experience of the usage of plant residues in soils of Non-Black Soil zone of Russia (review) // *Perm Agrarian Journal*. 2017. Vol. 1. No. 17. P. 88–97.
5. Ebertseder T., Engels C., Heyn J., Reinhold J., Brock C., Fürstenfeld F., Hülsbergen K. J., Isermann K., Kolbe H., Leithold G., Schmid H., Schweitzer K., Willms M., Zimmer J., Humusbilanzierung. Eine methode zur analyse und bewertung der humusversorgung von ackerland. Speyer, Germany: VDLUFA, 2014. 21 p.
6. Weißhuhn P., Reckling M., Stachow U., Wiggering H. Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. No. 12. Art. No. 2267. DOI: 10.3390/su9122267.
7. Lötjönen S., Ollikainen M. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? // *Rev Agric Food Environ Stud*. 2017. Vol. 98. No. 4. P. 283–312. DOI: 10.1007/s41130-018-0063-z.
8. Lehtonen H., Niskanen O. Promoting clover-grass: implications for agricultural land use in Finland // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 59. P. 310–319. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.09.005.
9. Svechnikov A. K. Advantages of grass-grain crop rotations due to prolonged use of clover-alfalfa-timothy mixture // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. No. 6. P. 752–763. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763.
10. Dospekhov B. A. *Methods of field research*. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
11. Nikonchik P.I. Rotation, crops structure and humus balance in soil // *Agriculture and plant protection*. 2016. Vol. 1 (106). P. 3–7.
12. Chebotarev N. T., Shergina N. N., Brovarova O. V., Tulinov A. G. Effect of complex application of fertilizers on the fertility of soddy-podzolic soil, productivity and quality of forage crops in the European North // *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiy vestnik)*. 2020. No. 6. P. 23–27. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10080.
13. Marchuk E. V. Efficacy of combined application of organic and mineral fertilizers and biological nitrogen in crop rotations on light sod-podzolic soils // *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiy vestnik)*. 2013. No. 4. P. 29–31.
14. Melikhova N. P., Zibarov A. A., Tegesov D. S., Sevostyanova G. M. Crop rotation is an important means of preserving the fertility and productivity of irrigated agricultural lands // *Proc. of Lower Volga Agro-University Comp: Science and Higher Education*. 2019. Vol. 4 (56). P. 92–99. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-12.

15. Turusov V. I., Abanina O. A., Bogatykh O. A. Change of soil fertility during the formation of crop rotations in adaptive agriculture in the South-East of the Central-Chernozem zone // *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2019. No. 2. P. 48–53. DOI: 10.26178/AE.2019.33.90.013.
16. Dedov A. A., Nesmeyanova M. A., Dedov A. V. Impact of biologization practices in agriculture and soil tillage on soil organic matter content and productivity of crop rotations in Typical Chernozem // *Agrohimia*. 2017. No. 9. P. 25–32. DOI: 10.7868/S0002188117090022.
17. Shramko N. V., Vikhoreva G. V. Role of biologized crop rotations in humus content change in sod-podzol soils of the Upper Volga Region // *Zemledelie*. 2016. No. 1. P. 14–16.
18. Kozlova Z. V., Matais L. N., Glushkova O. A. Influence of sainfoin on soil fertility and agro-economic indicators of fodder crop rotations under conditions of East Siberia // *Multifunctional adaptive feed production*. 2020. Vol. 23 (71). P. 67–72. DOI: 10.33814/MAK-2020-23-71-67-72.
19. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019. Vol. 20. No. 5. P. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
20. Paraschenko V. N., Osipov A. V., Slyusarev V. N., Chizhikov V. N., Shvydkaya L. A. The effect of alfalfa crops on the fertility of humus-clay soil // *Rice Growing*. 2018. Vol. 4 (41). P. 38–40.
21. Khramtsov I.F., Chekusov M.S., Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A. Agroecological assessment of long-term fertilizers application on chernozem soil in Western Siberia // *Plodorodie*. 2021. Vol. 3 (120). P. 104–107. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.20.
22. Shirokikh I. G., Kosolapova A. I. Shirokikh A. A., Zavyalova N. E. Microbial transformation of organic matter of sod-podzolic soils in the Pre-Urals under conditions of different use and application of mineral fertilizers // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 1. P. 102–110. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-102-110.
23. Fedotova E. N., Rysev M. N., Volkova E. S., Kustkova T. A. The effect of long-term use of fertilizers in crop rotation with flax on the fertility of sod-podzolic soil and crop rotation productivity // *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2016. No. 4. C. 8–18.
24. Zamyatin S. A., Maksimova R. B., Efimova A.Yu., Maksutkin S. A. Humus state of derno-podzolic soil during the long-term experiment in the Republic of Mari El // *International Research J*. 2020. Vol. 8 (98). P. 192–196. DOI: 10.23670/IRJ.2020.98.8.029.
25. Akhmetzyanov M. R., Talanov I. P. Efficiency of field crop rotations at different levels of intensification and biologization of agriculture // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019. Vol. 14. No. S4-1 (55). P. 10–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-10-14.
26. Shakirov R. S., Bikmukhametov Z. M., Khisamiev F. F. Resource-saving technologies of agricultural crops selection in the ecologically balanced system of agriculture // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2017. Vol. 12. No. 4 (46). P. 54–60. DOI: 10.12737/article_5a5f067e35f239.84017453.
27. Gaevaia E. A. A change in the content of humus in crop rotation are located on erosion-prone slopes of the Rostov region // *Collection of articles based on the materials of the III All-Russian (national) Scientific and Practical Conference “Actual Problems of Ecology and Environmental Management”*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev, 2019. P. 85–90.
28. Gaevaya E. A., Bezuglova O. S., Nezhinskaya E. N. Agrophysical properties of ordinary slightly eroded chernozem in a long-term experiment in the Rostov region // *Pochvovedenie*. 2022. No. 11. P. 1399–1414. DOI: 10.31857/S0032180X22110053.
29. Postnikov P. A. Soil fertility preservation through agriculture biologization // *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2017. Vol. 24. No. 5. P. 1128–1133.
30. Skorochkin Yu. P., Vorontsov V. A., Makarov M. R., Erofeev S. A. Agrotechnological aspects of regulation of fertility of chernozem in Tambov region // *Innovations in Agriculture*. 2018. Vol. 4 (29). P. 207–215.
31. Mitrofanov Yu. I., Pugacheva L. V., Karaseva O. V., Panteleeva T. N. Influence of tillage techniques on humus dynamics in field crop rotation on drained lands // *Materials of the International Scientific and Practical Conference of the FSBSI All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (VNIIMZ) “Effective use of reclaimed lands: problems and solutions”*. Tver: Tver State University, 2018. P. 72–77.
32. Dzyuin A. G., Dzyuin G. P. Soil fertility and productivity of eighth-field crop rotation in long-term experiment // *Agrohimia*. 2018. No. 2. P. 22–23. DOI: 10.7868/S0002188118020023.
33. Kovalenko A. M. Optimization of mixed crops in crop rotations on irrigated lands of steppe of Ukraine and their influence on soil fertility // *Materials of the International Scientific and Ecological conference. “Combined sowing of field crops in the crop rotation of the agricultural landscape”*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2016. P. 178–182.
34. Johnston A. E., Poulton P. R., Coleman K., Macdonald A. J., White R. P. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley-arable rotations on a sandy loam soil in England // *European Journal of Soil Science*. 2017. Vol. 68. No. 3. P. 305–316. DOI: 10.1111/ejss.12415.

35. Levin K. S., Auerswald K., Reents H. J., Hülsbergen K.-J. Effects of organic energy crop rotations and fertilisation with the liquid digestate phase on organic carbon in the topsoil // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 7. Art. No. 1393. DOI: 10.3390/agronomy11071393.
36. Jensen J. L., Beucher A. M., Eriksen J. Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: effect of grassland proportion and organic fertilizer // *Geoderma*. 2022. Vol. 424. Art. No. 116022. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116022.
37. Miller J. J., Owen J. J., Yang X. M., Drury C. F., Reynolds W. D., Chanasyk D. S. Long-term cropping and fertilization influences soil organic carbon, soil water repellency, and soil hydrophobicity // *Can. J. Soil. Sci.* 2020. Vol. 100. No. 3. P. 234–244. DOI: 10.1139/cjss-2019-0129.
38. Fu X., Wang J., Sainju U., Liu W. Soil carbon fractions in response to long-term crop rotations in the Loess Plateau of China // *Soil Science Society of America Journal*. 2017. Vol. 81. No. 3. P. 503–513. DOI: 10.2136/sssaj2016.04.0122.
39. Piłkuła D., Rutkowska A. Selected chemical properties of sandy soil after 36 years of differential fertilization with mineral nitrogen and manure without liming in two crop rotation // *Soil Sci. Ann.* 2020. Vol. 71. No. 3. P. 246–251. DOI: 10.37501/soilsa/128687.
40. WICST 1st report. Madison: University of Wisconsin, Center for Integrated Agricultural Systems, 1991. 130 p.
41. Potter T. S., Vereecke L., Lankau R. A., Sanford G. R., Silva E. M., Ruark M. D. Long-term management drives divergence in soil microbial biomass, richness, and composition among upper Midwest, USA cropping systems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022. Vol. 325. Art. No. 107718. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107718.
42. Jarvis N., Forkman J., Koestel J., Kätterer T., Larsbo M., Taylor A. Long-term effects of grass-clover leys on the structure of a silt loam soil in a cold climate // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 247. P. 319–328. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.042.
43. Börjesson G., Bolinder M.A., Kirchmann H., Kätterer Vol. Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations // *Biol Fertl Soils*. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 549–558. DOI: 10.1007/s00374-018-1281-x.
44. Macedo I., Roel A., Ayala W., Pravia M., Terra J., Pittelkow P. Irrigated rice rotations affect yield and soil organic carbon sequestration in temperate South America // *Agronomy Journal*. 2022. Vol. 114. Iss. 2. P. 961-975. DOI: 10.1002/agj2.20964.

UDC 631.452:631.84:633.2

Svechnikov A. K., Kozlova L. M.

DYNAMICS OF HUMUS CONTENT IN CROP ROTATIONS WITH PERENNIAL GRASSES

Summary. *To date, the issues of agrophytocenoses optimization and fertilizer application are relevant. This results from the fact that the condition of soil is deteriorating and humus content is decreasing. The aim of the research was to evaluate the effect of saturation of crop rotation with perennial grasses on the humus content in the soil, taking into account the analysis of data from Russian and foreign scientific sources. Field experiments were conducted in 2001–2018 in the Republic of Mari El in three grass-grain crop rotations. Experimental design included the following options: Factor A – proportions of clover, alfalfa and timothy grass mixture in the crop rotation structure ($1/6$, $1/3$, $1/2$); Factor B – mineral fertilizer application (mineral fertilizers were applied at a dose of $N_{90}P_{90}K_{90}$ ($P_{90}K_{90}$ in the third rotation) and $N_{60}P_{60}K_{60}$). The soil cover of the experimental site is represented by sod-podzolic medium loamy soils. Humus content in the arable layer (0-20 cm) – 1.82 % (according to Tyurin), total nitrogen content (according to Kjeldahl) – 0.15 %, mobile phosphorus and potassium supply (according to Kirsanov) – 840 mg/kg and 200 mg/kg, respectively (2001). When applying $N_{60}P_{60}K_{60}$ for 18 years, the humus content in the 0–20 cm soil layer on average increased by 0.49 ± 0.03 % (1.29 times or 0.027 ± 0.005 % per year). A decrease in the doses of phosphorus-potassium fertilizers and absence of nitrogen fertilization led to the loss of 0.17 ± 0.08 % of humus content on average for the third rotation. In the third rotation without nitrogen fertilizer application, it was found: if perennial grasses proportion is increased by $1/6$, the humus losses, on average, decrease from 0.27 % to 0.08 % or from 0.045 % to 0.13 % per*

year. According to the data of other researchers published over the past 10 years, the saturation of crop rotations with perennial grasses contributed to an increase in the humus content in the soil in 84.6% of experiments (up to 0.075% per year). Mineral fertilizers contributed to the growth of this indicator up to 0.075 % per year (in 82.4 % of the studies).

Keywords: legume-cereal grass mixtures, nitrogen, fertilizers, saturation, NPK.

Свечников Александр Константинович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»; 425231, Республика Марий Эл, Медведевский район, п. Руэм, ул. Победы, 10, e-mail: koalder@yandex.ru.

Козлова Людмила Михайловна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а, e-mail: zemlede_l_niish@mail.ru.

Svechnikov Aleksandr Konstantinovich, Cand. Sc. (Agr.), researcher of the Department of crop cultivation technologies, Mari ARI – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 10, Pobedy str., Ruem village, Medvedevsky district, Mari El Republic, 425231, Russia; koalder@yandex.ru.

Kozlova Lyudmila Mihaylovna, Dr. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Department of agriculture, agrochemistry and land reclamation, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky»; 166a, Lenina str, Kirov, 610007, Russia; zemlede_l_niish@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.04.2023.

Дата принятия к печати – 23.05.2023.