

ВОСПОЛНЕНИЕ ГУМУСА ЗА СЧЕТ ПОЖНИВНО-КОРНЕВЫХ ОСТАТКОВ В ЛЬНЯНЫХ СЕВОБОРОТАХ¹

© 2023 г. Н. Н. Кузьменко

Федеральный научный центр лубяных культур
170041 Торжок, Тверская обл., Комсомольский просп., 17/56, Россия

E-mail: kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2023 г.

После доработки 20.03.2023 г.

Принята к публикации 15.04.2023 г.

В Центральном районе Нечерноземной зоны России на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в длительном стационарном опыте в льняных севооборотах изучили процесс восполнения гумуса за счет пожнивно-корневых остатков. Чередование культур в севообороте в 2004–2011 гг.: пар чистый – озимая рожь с подсевом многолетних трав (клевер красный и тимофеевка) – многолетние травы 1-го года пользования – многолетние травы 2-го года пользования – лен-долгунец – картофель – ячмень – овес. В 2012–2018 гг. из севооборота был исключен картофель. Вклад возделываемых культур в накопление органического вещества почвы различался. Наибольшее количество пожнивно-корневых остатков (6.8 т/га) оставалось в почве после уборки многолетних трав, что обеспечило положительный баланс гумуса в размере +1.35 т/га. В севообороте с картофелем без применения удобрений дефицит гумуса составил –0.20 т/га, при исключении картофеля из севооборота дефицит снизился до –0.05 т/га в год. Применение удобрений повысило продуктивность севооборотов в среднем на 75%, количество пожнивно-корневых остатков увеличилось на 10.6 т/га или на 58%, что позволило получить положительный баланс гумуса в почве. Применение удобрений в дозе (NPK)200 (навоз 5 т/га + (NPK)135 и навоз 5.7 т/га + (NPK)120) в 8-польном севообороте с чистым паром и картофелем при насыщении на 25% многолетними травами обеспечило баланс гумуса +0.17 т/га в год, в 7-польном севообороте с чистым паром и без картофеля при насыщении на 28.5% многолетними травами – +0.43 т/га в год.

Ключевые слова: льняной севооборот, пожнивно-корневые остатки, гумус, баланс.

DOI: 10.31857/S0002188123070074, **EDN:** OFWFIL

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных задач современного земледелия является сохранение плодородия почвы. Повысить плодородие почвы только за счет навоза и минеральных удобрений очень затратно. Кроме того, количество полученных и внесенных в почву органических удобрений недостаточно для поддержания бездефицитного баланса гумуса. Существенным фактором в сохранении и воспроизводстве плодородия дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне в современных условиях являются растительные остатки, которые остаются в поле после уборки сельскохозяйственных культур [1, 2].

Опытные данные показывают, что наибольшее количество растительных остатков в почву поступает при возделывании многолетних трав (7–8 т/га), однолетних зерновых и зернобобовых культур (0.8–3.0 т/га), и меньше всего остатков остается в почве после пропашных культур (1.3–2.7 т/га) [3–5]. Между поступлением пожнивно-корневых остатков в почву и урожаем основной продукции существует тесная зависимость. Количество и качество пожнивно-корневых остатков зависят от структуры севооборота, биологических особенностей культуры и технологии их возделывания. Положительное влияние растительных остатков на показатели плодородия почвы наряду с увеличением органического вещества проявляется и в улучшении качественного состава гумуса [6, 7].

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS-2019-0017).

Таблица 1. Насыщенность севооборотов удобрениями

Вариант	8-я ротация 8-польный севооборот	9-я ротация 7-польный севооборот
1	Без удобрения (контроль)	Без удобрения (контроль)
2	Навоз 5.0 т/га + (NPK) 67.5 = 135 кг д.в. NPK/га	Навоз 5.7 т/га + (NPK)77 = 150 кг д.в. NPK/га
3	Навоз 5.0 т/га + (NPK)135 = 200 кг д.в. NPK/га	Навоз 5.7 т/га + (NPK)120 = 200 кг д.в. NPK/га

При этом значительно повышается роль севооборота, т.к. изменяя структуру посевных площадей, можно управлять поступлением органического вещества с растительными остатками возделываемых культур и обеспечить сохранение плодородия почвы. В этом плане большая масса пожнивно-корневых остатков может являться одним из самых дешевых органических удобрений. Цель работы – изучение возможности сохранения плодородия дерново-подзолистой почвы за счет пожнивно-корневых остатков в льняных севооборотах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в Центральном районе Нечерноземной зоны в длительном стационарном опыте ОП НИИЛ ФНЦ ЛК на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в льняном севообороте. В 2004–2011 гг. в 8-й ротации севооборот был 8-польным: 1 – пар чистый, 2 – озимая рожь с подсевом многолетних трав (клевер красный и тимофеевка), 3 – многолетние травы 1-го года пользования, 4 – многолетние травы 2-го года пользования, 5 – лен-долгунец, 6 – картофель, 7 – ячмень, 8 – овес. В 2012–2018 гг. в 9-й ротации из схемы был исключен картофель, и севооборот стал 7-польным. Многолетние травы в структуре севооборота занимали 25.0 и 28.5% соответственно.

Для обсуждения результатов в данной статье предложены варианты, представленные в табл. 1. Дозы навоза и минеральных удобрений и общая насыщенность 1 га севооборотной площади удобрениями в ротациях различались незначительно.

Навоз в 8-польном севообороте вносили 2 раза равными дозами – в пару под озимую рожь и под картофель, в 7-польном – 1 раз под озимую рожь. Использовали подстилочный навоз крупного рогатого скота с содержанием: N – 0.5, P₂O₅ – 0.25, K₂O – 0.6%. Минеральные удобрения вносили под все культуры севооборота в соответствии с их биологическими потребностями. Использовали N_{aa}, P_c (N6P26) и K_x.

Опыт проводили в одной закладке, методом рендомизированного размещения вариантов. Повторность опыта трехкратная, площадь опытной делянки – 90 и 72, учетной – 50 и 36 м² соответственно в 8-й и 9-й ротации. Агротехнические мероприятия проводили в соответствии с рекомендованной для данной зоны технологии возделывания. Исследования и наблюдения в опыте проводили согласно методическим указаниям. Урожайность культур учитывали методом пробного снопа с площадок площадью 1 м² [8].

Условный баланс гумуса в севообороте рассчитывали расчетным методом по разности между выходом его из пожнивно-корневых остатков (ПКО) и потерями гумуса при минерализации (не учитывали поступление с навозом, из других источников, вынос урожаем и т.п.). Для расчета использовали нормативы накопления пожнивно-корневых остатков для различных сельскохозяйственных культур в почвах Нечерноземной зоны и средние данные минерализации гумуса и коэффициенты гумификации растительных остатков. Коэффициент гумификации ПКО картофеля был принят за 0.10, для всех остальных культур – 0.25 [3, 9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Восполнение потерь органического вещества почвы осуществляется главным образом за счет внесения органических удобрений, а также за счет гумификации органического вещества пожнивно-корневых остатков при выращивании различных культур в севообороте. Их количество и качество зависят от биологических особенностей сельскохозяйственных культур, структуры севооборота и урожайности основной продукции, т.к. существует тесное соотношение между поступлением пожнивно-корневых остатков в почву и урожаем основной продукции [3].

По данным опыта, вклад различных культур, возделываемых в севооборотах, в накопление органического вещества в почве различался. Наибольшее количество ПКО в почве оставалось по-

Таблица 2. Урожайность культур и образование пожнивно-корневых остатков в севооборотах

Чередование культур (продукция)	Урожайность, ц/га			Количество ПКО, т/га		
	8-польный севооборот					
	Без удобрения	Навоз 5.0 т/га + (NPK)67.5	Навоз 5.0 т/га + (NPK)135	Без удобрения	Навоз 5.0 т/га + (NPK)67.5	Навоз 5.0 т/га + (NPK)135
Чистый пар	0	0	0	0	0	0
Озимая рожь (зерно)	15.9	20.3	20.8	2.4	3.0	3.1
Многолетние травы 1-го года пользования (сено)	38.0	92.0	97.2	5.3	8.3	8.8
Многолетние травы 2-го года пользования (сено)	33.4	46.0	46.6	4.7	6.0	6.1
Лен-долгунец	40.5	57.8	55.1	1.3	1.9	1.9
Картофель (клубни)	97.4	153.7	150.4	1.4	2.0	1.9
Ячмень (зерно)	12.1	23.6	28.5	1.6	2.8	3.4
Овес (зерно)	15.7	28.5	33.7	2.0	3.4	3.7
За севооборот, ц з.е./га, т/га	21.9	35.7	37.7	18.7	27.4	28.9
Чередование культур (продукция)	7-польный севооборот					
	Без удобрения	Навоз 5.7 т/га + (NPK)77	Навоз 5.7 т/га + (NPK)120	Без удобрения	Навоз 5.7 т/га + (NPK)77	Навоз 5.7 т/га + (NPK)120
	Чистый пар	0	0	0	0	0
Озимая рожь (зерно)	13.2	23.7	27.8	2.1	3.3	3.6
Многолетние травы 1-го года пользования (сено)	35.9	93.3	81.2	5.0	8.4	7.3
Многолетние травы 2-го года пользования (сено)	34.6	74.7	71.2	4.8	8.9	8.5
Лен-долгунец (льносолома)	43.8	64.2	74.4	1.4	2.1	2.5
Ячмень (зерно)	19.5	37.2	40.2	2.5	3.7	4.0
Овес (зерно)	15.5	25.0	31.6	2.0	3.0	3.5
За севооборот, ц з.е./га, т/га	22.7	40.3	42.4	17.8	29.4	29.4

сле многолетних трав 1-го и 2-го года пользования (клевер красный + тимофеевка), что согласовалось с данными других исследователей [1, 5]. При урожайности сена от 33.4 до 93.3 ц/га в почве оставалось ПКО от 4.7 до 8.9 т/га. В результате их гумификации в почве образовалось гумуса от 1.17 до 2.24 т/га, что обеспечивало его положительный баланс в размере от +0.91 до +1.90 т/га (табл. 2, 3).

Среди зерновых культур наибольшее количество ПКО оставалось в почве после озимой ржи: от 2.1 до 3.3 т/га. Однако из-за высокой минерализации гумуса в ее посевах (1.20 т/га) получен

отрицательный баланс гумуса независимо от внесения удобрений: от -0.10 до -0.47 т/га. Урожайность зерна озимой ржи находилась в пределах от 13.2 до 27.8 ц/га.

При урожайности ячменя и овса от 12.1 до 15.7 ц/га в варианте без удобрений баланс гумуса был отрицательным и составил от -0.09 до -0.21 т/га. При повышении урожайности ячменя до 19.5 ц/га в варианте без внесения удобрений в 7-польном севообороте баланс гумуса был слабо положительным - +0.06 т/га. Внесение удобрений повысило урожайность зерна до 23.6-40.2 ц/га, обеспечило увеличение количества ПКО и поло-

Таблица 3. Восполнение гумуса в севооборотах за счет пожнивно-корневых остатков

Чередование культур	Минерализация гумуса, т/га	Образование гумуса из ПКО, т/га			Условный баланс, ± т/га		
		8-польный севооборот					
		Без удобрений	Навоз 5.0 т/га + (NPK)67.5	Навоз 5.0 т/га + (NPK)135	Без удобрений	Навоз 5.0 т/га + (NPK)67.5	Навоз 5.0 т/га + (NPK)135
Чистый пар	-1.50	0	0	0	-1.50	-1.50	-1.50
Озимая рожь	-1.00	0.60	0.76	0.78	-0.40	-0.24	-0.22
Многолетние травы 1-го года пользования (сено)	-0.30	1.33	2.07	2.19	+1.03	+1.77	+1.89
Многолетние травы 2-го года пользования (сено)	-0.30	1.17	1.50	1.51	+0.87	+1.20	+1.21
Лен-долгунец	-0.60	0.34	0.48	0.48	-0.27	-0.12	-0.12
Картофель	-1.20	0.20	0.30	0.29	-1.00	-0.90	-0.91
Ячмень	-0.60	0.39	0.71	0.86	-0.21	+0.11	+0.26
Овес	-0.60	0.51	0.86	0.93	-0.09	+0.26	+0.33
За севооборот	-6.10	4.54	6.68	7.04	-1.57	+0.58	+1.34
В год	-0.76	0.57	0.84	0.88	-0.20	+0.07	+0.17

Чередование культур	Минерализация гумуса, т/га	7-польный севооборот					
		Без удобрений	Навоз 5.7 т/га + (NPK)77	Навоз 5.7 т/га + (NPK)120	Без удобрений	Навоз 5.7 т/га + (NPK)77	Навоз 5.7 т/га + (NPK)120
		Чистый пар	-1.50	0	0	0	-1.50
Озимая рожь	-1.00	0.53	0.83	0.90	-0.47	-0.17	-0.10
Мн. травы 1 г.п.	-0.30	1.26	2.10	1.83	+0.96	+1.80	+1.53
Мн. травы 2 г.п.	-0.30	1.21	2.24	2.14	+0.91	+1.94	+1.84
Лен-долгунец	-0.60	0.36	0.53	0.61	-0.24	-0.07	+0.01
Ячмень	-0.60	0.66	0.93	1.00	+0.06	+0.33	+0.41
Овес	-0.60	0.50	0.75	0.87	-0.10	+0.15	+0.27
За севооборот	-4.90	4.52	7.38	7.35	-0.38	+2.48	+3.00
В год	-0.70	0.65	1.05	1.05	-0.05	+0.35	+0.43

жительный баланс гумуса в размере от +0.05 до +1.34 т/га.

При достаточно высокой урожайности льно-соломы от 40.5 до 74.4 ц/га после уборки льна в почве оставалось от 1.3 до 2.5 т ПКО/га или от 0.34 до 0.61 т гумуса/га, однако потери гумуса в посевах льна были больше, чем его образовывалось из растительных остатков, дефицит составил от -0.10 до -0.27 т/га. Возделывание картофеля в 8-польном севообороте из-за низкого коэффициента гумификации растительных остатков (0.1 т/га) и высокой минерализации гумуса в посевах (-1.20 т/га)

привело к существенному дефициту гумуса от -0.91 до -1.00 т/га. Наиболее высокие потери гумуса отмечены в чистом пару [3, 9].

Применение удобрений в севооборотах повысило урожайность культур и продуктивность севооборота в целом, и, как правило, увеличило образование ПКО. В 8-польном севообороте в варианте без применения удобрений продуктивность составила 21.9 ц з.е./га, при насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями в дозе 135 кг д.в. NPK она увеличилась на 63% и составила 35.7 ц з.е./га, при насыщенности 200 кг д.в. NPK

увеличилась на 72% и составила 37.7 ц з.е./га. Количество ПКО за севооборот при этом увеличилось на 47 и 55% соответственно. Минерализация гумуса в 8-польном севообороте с картофелем составила 6.1 т/га, а количество гумуса, образованного из ПКО, в варианте без внесения удобрений составило 4.54 т/га, что обусловило его отрицательный баланс в размере -0.20 т/га в год. Насыщенность севооборота в дозе 135 и 200 кг д.в. NPK на 1 га севооборотной площади обеспечила слабоболожительный баланс гумуса в размере $+0.04$ и $+0.17$ т/га в год.

В 7-польном севообороте без картофеля в варианте без применения удобрений продуктивность составила 22.7 ц з.е./га, при насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями в дозе 150 кг д.в. NPK она увеличилась на 78% и составила 40.3 ц з.е./га, при насыщенности 200 кг д.в. NPK увеличилась на 87% и составила 42.4 ц з.е./га. Количество ПКО за севооборот при этом увеличилось на 65% в обоих вариантах. Минерализация гумуса в севообороте без картофеля была меньше — 4.9 т/га, а количество гумуса, образованного из ПКО, в варианте без внесения удобрений было практически одинаковым — 4.52 т/га. Баланс гумуса в севообороте без картофеля и без внесения удобрений был близок к бездефицитному и составил -0.05 т/га в год. Насыщенность севооборота в дозе 150 и 200 кг д.в. NPK на 1 га севооборотной площади обеспечила положительный баланс гумуса в размере $+0.28$ и $+0.43$ т/га в год соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Наибольший вклад в сохранение плодородия дерново-подзолистой почвы среди возделываемых культур в льяных севооборотах обеспечивали многолетние травы 1-го и 2-го года пользования (клевер красный и тимофеевка). При средней урожайности сена 62 ц/га в почве образовывалось 6.8 т пожнивно-корневых остатков/га, в результате гумификации которых в почве создавался положительный баланс гумуса в среднем в размере $+1.35$ т/га.

2. Получить положительный баланс гумуса без применения удобрений только за счет пожнивно-корневых остатков культур при средней продуктивности полевого севооборота 22 ц з.е./га невозможно. Дефицит гумуса в севообороте с картофелем составил -0.20 т/га, при исключении картофеля из севооборота дефицит гумуса снизился до -0.05 т/га в год.

3. Применение удобрений увеличило продуктивность севооборотов в среднем на 17 ц з.е./га,

пожнивно-корневые остатки повысили содержание гумуса на 10.6 т/га за севооборот, что позволило получить положительный баланс гумуса в почве в среднем $+0.23$ т/га.

4. Наиболее высокий баланс гумуса обеспечила насыщенность севооборотов удобрениями в дозе 200 кг д.в. NPK на 1 га севооборотной площади (навоз 5.0 т/га + (NPK)135 и навоз 5.7 т/га + (NPK)120). В 8-польном севообороте (пар чистый — озимая рожь с подсевом многолетних трав (клевер красный и тимофеевка) — многолетние травы 1-го года пользования — многолетние травы 2-го года пользования — лен-долгунец — картофель — ячмень — овес) баланс гумуса составил $+0.17$ т/га в год. При исключении из севооборота картофеля условный баланс гумуса повысился до $+0.43$ т/га в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лошаков В.Г. Значение растительных остатков в воспроизводстве плодородия почв в Нечерноземной зоне // Докл. ТСХА. 2018. Вып. 290. Ч. III. С. 54–56.
2. Мудрых Н.М., Самофалова И.А. Опыт использования растительных остатков в почвах Нечерноземной зоны России (обзор) // Перм. аграрн. вестн. 2017. № 1(17). С. 88–97.
3. Лыков А.М. Гумус и плодородие почвы. М.: Моск. рабочий, 1985. 192 с.
4. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2012. 512 с.
5. Борисова Е.Е. Роль в севооборотах многолетних трав // Вестн. НГИЭИ. 2015. № 8(51). С. 12–19.
6. Турусов В.И., Богатых О.А., Дронова Н.В., Балюнова Е.А. Роль пожнивно-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы // Плодородие. 2020. № 4. С. 10–12. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.115.03>
7. Пилипенко Н.Г. Влияние длительного применения элементов биологизации на основные показатели плодородия почвы и продуктивность севооборота на малогумосном малокарбонатном черноземе Забайкалья // Агрохимия. 2022. № 2. С. 3–12. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020120>
8. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. Особенности закладки и проведения длительных опытов в различных условиях. М.: ВАСХНИЛ, 1986. 146 с.
9. Дудина Н.Х., Панова Е.А., Петухов М.П. Агрохимия и система удобрения. М.: Агропромиздат, 1991. 399 с.
10. Рекомендации по поддержанию плодородия дерново-подзолистых почв в севооборотах Тверской области. Тверь, 1997. 36 с.

Replenishment of Humus due to Crop-Root Residues in Flax and Crop Rotations

N. N. Kuzmenko

*Federal Scientific Center of Bast-Fiber Crops Breeding
ul. Lunacharskogo 35, Tver region, Torzhok 172002, Russia
E-mail: kuzmenko.nataliya2010@mail.ru*

In the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia on sod-podzolic light loamy soil in a long stationary experiment in flax crop rotations, the process of replenishing humus due to crop-root residues was studied. Alternation of crops in the crop rotation in 2004–2011: pure steam – winter rye with sowing of perennial grasses (red clover and timofeevka) – perennial grasses of the 1st year of use – perennial grasses of the 2nd year of use – flax – potato – barley – oats. In 2012–2018, potatoes were excluded from the crop rotation. The contribution of cultivated crops to the accumulation of soil organic matter varied. The largest amount of crop-root residues (6.8 t/ha) remained in the soil after harvesting perennial grasses, which provided a positive humus balance of +1.35 t/ha. In the crop rotation with potatoes without the use of fertilizers, the humus deficit was –0.20 t/ha, with the exclusion of potatoes from the crop rotation, the deficit decreased to –0.05 t/ha per year. The use of fertilizers increased the productivity of crop rotations by an average of 75%, the amount of crop-root residues increased by 10.6 t/ha or 58%, which allowed to obtain a positive balance of humus in the soil. The use of fertilizers at a dose of (NPK)200 (manure 5 t/ha + (NPK)135 and manure 5.7 t/ha + (NPK)120) in an 8-pole crop rotation with pure steam and potatoes when saturated by 25% with perennial grasses provided a humus balance of +0.17 t/ha per year, in 7-full crop rotation with pure steam and without potatoes at saturation by 28.5% with perennial grasses – +0.43 t/ha per year.

Keywords: flax crop rotation, crop-root residues, humus, balance.