

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.810-819>

УДК 631.8:631.452:635.65:633.49

Изменение продуктивности севооборота и устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений

© 2023. Е. И. Золкина ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный центр»,
Владимирская область, Российская Федерация

В статье рассмотрены результаты многолетнего полевого опыта (1968–2018 гг.), проведенного в Центральной части Нечерноземной зоны России (Владимирская область) на протяжении 11 ротаций четырёхпольного зерно-пропашного севооборота. В работе показано влияние органических и минеральных удобрений, используемых в различных сочетаниях и дозах, на урожайность культур севооборота, плодородие дерново-подзолистого супесчаной почвы. Установлено, что более высокую продуктивность севооборота в опыте получили при использовании органо-минеральной системы удобрения (навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$) (в среднем за одиннадцать ротаций) на уровне 39,9 ц з. е./га, или на 79,7 % выше контроля без удобрений. Минеральная система удобрения при средних дозах удобрений ($N_{50}P_{25}K_{60}$) по эффективности была на уровне органо-минеральной, органическая система уступала минеральной как при средних дозах (навоз 10 т/га), так и при повышенных (навоз 20 т/га). При этом длительное использование органических удобрений обеспечило увеличение содержания гумуса в зависимости от дозы подстилочного навоза на 16–36 % по сравнению с исходными значениями. Использование органических удобрений привело к стабилизации содержания в почве доступных форм калия на среднем и повышенном уровнях обеспеченности. Стабилизация содержания подвижного фосфора в почве на уровне средней обеспеченности отмечена соответственно при минеральной, органо-минеральной и органической системах удобрения с низкими и средними дозами. При повышенных дозах наблюдали дальнейшее увеличение содержания биогенных веществ в почве. Возделывание полевых культур в севообороте без применения органических и минеральных удобрений привело к снижению продуктивности. Наибольшую устойчивость урожайности сельскохозяйственных культур по годам исследования получили в вариантах с внесением различных видов удобрений по сравнению с вариантом без удобрений. Почва в вариантах с органической (навоз 20 т/га) и органо-минеральной (навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$) системами удобрения характеризовалась высокими значениями основных физиологических групп микроорганизмов, величина соотношения численности амилотических и протеолитических микроорганизмов составила 1,1–1,2, что свидетельствует о сбалансированности процессов минерализации и гумификации органического вещества в почве.

Ключевые слова: севооборот, длительный полевой опыт, органические и минеральные удобрения, агроценоз, плодородие, микробиологическая активность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный центр» (FGNW – 2022 - 0001).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Золкина Е. И. Изменение продуктивности севооборота и устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):810–819.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.810-819>

Поступила: 07.04.2023

Принята к публикации: 26.09.2023

Опубликована онлайн: 30.10.2023

Changes in crop rotation productivity and stability of agrocenoses with prolonged use of fertilizers

© 2023. Ekaterina I. Zolkina ✉

All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat – branch
of the Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Center, Vladimir Region, Russian Federation

The article considers the results of many years of field experiment (1968–2018) conducted in the Central part of the Non-Chernozem zone of Russia (Vladimir region). The research was carried out during eleven rotations of the four-field grain crop rotation. The study shows the effect of use of organic and mineral fertilizers applied in various doses and combinations on crop rotation yield, fertility of sod-podzolic sandy loam soil. It was found that the organomineral fertilizer system (manure

10 t/ha + N₅₀P₂₅K₆₀) provided stable crop rotation productivity (on average for eleven rotations) at the level of 39.9 c. e./ha, or 79.7 % higher than the control without fertilizers. The mineral fertilizer system at medium doses of fertilizers (N₅₀P₂₅K₆₀) was at the level of the organomineral system. The organic system was inferior in efficiency to the mineral system, both at medium doses (manure 10 t/ha) and at elevated doses (manure 20 t/ha). At the same time, the long-term use of organic fertilizers provided an increase in the humus content, depending on the dose of litter manure, by 16-36 % compared to the initial values. The use of organic fertilizers led to the stabilization of the content of available forms of potassium in the soil at an average and elevated level, respectively. Stabilization of the content of mobile phosphorus in the soil at the level of average supply was noted in mineral, organomineral and organic fertilizer systems, respectively, with low and medium doses. When using increased doses of fertilizers, there is a further increase in the content of nutrients in the soil. Growing crops in crop rotation without the use of organic and mineral fertilizers gradually led to a decrease in yield. The use of fertilizers provided greater stability of crop yields over the years of the study compared to the variant without fertilizers. The soil in the variants with organic (manure 20 t/ha) and organomineral (manure 10 t/ha + N₅₀P₂₅K₆₀) fertilizer systems was characterized by high values of the main physiological groups of microorganisms. The ratio of the number of amylolytic and proteolytic microorganisms was 1.1-1.2, that indicated a balance in the processes of mineralization of organic matter in the soil and its humification.

Keywords: crop rotation, long-term field experiment, organic and mineral fertilizers, agrocenosis, fertility, microbiological activity

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Center (FGNW – 2022-0001).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Zolkina E. I. Changes in crop rotation productivity and stability of agrocenoses with prolonged use of fertilizers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):810-819. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.810-819>

Received: 07.04.2023

Accepted for publication: 26.09.2023

Published online: 30.10.2023

Воспроизводство плодородия почв является важнейшей задачей современного земледелия [1]. В длительных опытах применение органических и минеральных удобрений приводит к постепенному повышению эффективного и потенциального плодородия почвы. При этом происходит стабилизация основных показателей почвенного плодородия на новых уровнях, соответствующих поступлению органического вещества и элементов минерального питания с удобрениями, растительными остатками и отчуждению их с урожаем. Направленность и степень влияния существенно зависит от возделываемых культур [2], разновидности почв, доз применяемых удобрений, погодных особенностей региона [3, 4, 5].

Окультурирование почв при длительном применении удобрений в комплексе с необходимыми приемами агротехники повышает общую продуктивность севооборотов в агроценозах [6, 7, 8], обеспечивает возможность мониторинга органического вещества почвы и круговорота питательных веществ в агросистеме [9].

Одной из основных проблем при разработке систем применения удобрений являются проведение их сравнительной оценки и определение оптимального соотношения органических и минеральных удобрений в севооборотах различной специализации. На основе данных 44 отечественных и зарубежных опытов (105 ротаций) показано, что прибавка урожая от сочетания половинных доз навоза и минеральных

удобрений по сравнению с отдельным внесением составляет с 1 га 1,2 ц з. е., или 11 %, в том числе на легких дерново-подзолистых почвах 1,9 ц з. е. (23 %), тяжело- и среднесуглинистых – 1,2 (8 %), черноземах – 0,4 ц з. е. (5 %) [10].

Важным показателем уровня плодородия почв является содержание органического вещества и его специфической части – гумуса, определяющей структуру почв, водно-воздушный и питательный режимы. Именно гумус коррелирует с биологическими показателями почвы и подтверждает представление о том, что накопление органического вещества и сопряженное с ним повышение биологической активности почвы являются единым процессом трансформации органического вещества [11, 12].

Цель исследований – изучить изменения продуктивности культур севооборота и устойчивости агроценозов при длительном применении органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой почве в условиях Владимирской области.

Научная новизна – получение экспериментальных данных по влиянию длительного (1968-2018 гг.) применения различных систем удобрения на продуктивность культур зерно-пропашного севооборота и устойчивость агроценозов, агрохимические и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Материал и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте Всероссийского НИИ органических удобрений и торфа, заложенном в 1968 г. по общепринятым

методикам¹. Чередование культур в зерно-пропашном севообороте: однолетний люпин – озимая пшеница – картофель – ячмень. Географические координаты участка: 56°03′ северной широты, 40°29′ восточной долготы. Повторность опыта – четырехкратная в пространстве и двукратная во времени. Размер делянки 161 м².

Опыт заложен на дерново-подзолистой супесчаной почве с исходными агрохимическими показателями: рН_{KCl} – 6,2-6,5; гидролитическая кислотность – 1,0-2,2 мг-экв/100 г; гумус – 1,05-1,17 %; подвижный фосфор – 14-25 мг/кг почвы; обменный калий – 63-104 мг/кг почвы.

Схема стационарного опыта предусматривала изучение эффективности органической, минеральной и органоминеральной систем удобрения при различных уровнях удобрённости. В данной работе сравнивали отдельные варианты систем удобрения, в том числе выравненные по количеству питательных веществ: 1. Без удобрений. 2. Навоз 10 т/га. 3. Навоз 20 т/га. 4. N₅₀P₂₅K₆₀. 5. Навоз 5 т/га + N₂₅P₁₂K₃₀. 6. Навоз 10 т/га + N₅₀P₂₅K₆₀. 7. N₁₀₀P₅₀K₁₂₀. 8. Навоз 10 т/га + N₁₀₀P₅₀K₁₂₀. Ежегодные дозы удобрений в вариантах с органической, органоминеральной и минеральной системами удобрения по культурам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение удобрений по культурам севооборота (подстильный навоз, т/га; минеральные удобрения, д. в. кг/га)/

Table 1 – Distribution of fertilizers by crops in crop rotation (plant manure, t/ha, mineral fertilizers, a. i. kg/ha)

№ варианта / No. of variant	Вид удобрений / Types of fertilizers	Люпин / Lupin	Озимая пшеница / Winter wheat	Картофель / Potato	Ячмень / Barley	Всего за ротацию / Total per rotation	
						сумма / the amount	среднегодовая / average annual
1	Без удобрений / Without fertilizers	-	-	-	-	-	-
2	Навоз подстильный / Plant manure	-	20	20	-	40	10
3	Навоз подстильный / Plant manure	-	40	40	-	80	20
4	N	-	60	80	60	200	50
	P ₂ O ₅	-	30	40	30	100	25
	K ₂ O	-	60	120	60	240	60
5	N	-	30	40	30	100	25
	P ₂ O ₅	-	10	25	15	50	12
	K ₂ O	-	30	60	30	120	30
	Навоз подстильный / Plant manure	-	20	-	-	20	5
6	N	-	60	80	60	200	50
	P ₂ O ₅	-	30	40	30	100	25
	K ₂ O	-	60	120	60	240	60
	Навоз подстильный / Plant manure	-	20	20	-	40	10
7	N	-	120	160	120	400	100
	P ₂ O ₅	-	60	80	60	200	50
	K ₂ O	-	120	240	120	480	120
8	N	-	120	160	120	400	100
	P ₂ O ₅	-	60	80	60	200	50
	K ₂ O	-	120	240	120	480	120
	Навоз подстильный / Plant manure	-	20	20	-	40	10

Примечание: варианты 2, 4, 5 и 3, 6, 7 выравнены по количеству основных питательных веществ, эквивалентны дозам навоза 10 и 20 т/га соответственно /

Note: variants 2, 4, 5 and 3, 6, 7 are aligned according to the amount of nutrients in doses equivalent to manure doses of 10 and 20 t/ha, respectively

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. 351 с.; Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. М., 1986. С. 106-114.

Анализ химических и физико-химических свойств почвы проводили по следующим методикам: содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91), обменную кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), гумус – по Тюрину.

При оценке биологических свойств почвы использовали следующие показатели: численность основных физиологических групп микроорганизмов (ФГМ) – методом учета на плотных и жидких питательных средах²; соотношение численности амилалитических и протеолитических микроорганизмов – КАА/МПА³. Величина этого соотношения показывает направленность в почве процессов трансформации органического вещества: преобладание процессов минерализации или синтеза гумусовых веществ.

Полученные в опыте данные обработаны методом дисперсионного анализа⁴ с использованием прикладной программы в MS DOS.

В таблицах представлены средние значения определяемых показателей в образцах из пахотного слоя почвы (0-20 см) в 2-кратной повторности в два срока – весной до внесения удобрений и в середине вегетации.

Результаты и их обсуждение. Продуктивность севооборота является одним из основных показателей, определяющих эффективность различных систем удобрения. Исследования показали, что применение удобрений способствовало существенному увеличению продуктивности севооборота (табл. 2). В период проведения исследования (1968-2018 гг.) среднегодовая продуктивность севооборота с учетом побочной продукции за одиннадцать ротаций (в течение 50 лет) составила без внесения удобрений 22,2 ц з. е./га. При этом величина урожая зависела от вида удобрений, их сочетаний и вносимых доз. Наибольшая среднегодовая продуктивность севооборота – 41,5 ц з. е./га в опыте была достигнута при действии органо-минеральной системы удобрения при повышенных дозах (навоз 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$), где прибавка к контролю составила 19,3 ц з. е./га, или 87 % от контроля. При использовании органических систем удобрения продуктивность севооборота в среднем за все ротации оказалась ниже органо-минеральной на 4,1-6,2 ц з. е./га. По сравнению с минеральными системами эффективность органических систем удобрения была ниже на 5,2-5,3 ц з. е./га.

Таблица 2 – Влияние различных систем удобрения на продуктивность* зернопропашного севооборота, ц з. е./га (1968-2018 гг.) /

Table 2 – The influence of various fertilizer systems on crop rotation productivity*, c.e./ha (1968-2018)

Вариант опыта / Variant of the experiment	Ротация севооборота / Rotation of crop rotation						В среднем за 11 ротаций, ц з. е./га / On average, c.e./ha	Окупаемость 1 кг д. в. удобрений, кг з. е. / Payback of 1 kg of mineral fertilizers, kg of grain c.e.
	1	3	5	7	9	11		
Без удобрений / Without fertilizers	30,3	24,9	28,5	16,3	21,3	17,3	22,2	-
Навоз 10 т/га / Manure 10 t/ha	37,9	35,2	33,7	22,0	31,3	24,4	30,1	6,4
Навоз 20 т/га / Manure 20 t/ha	41,1	39,3	35,9	24,7	35,8	26,5	33,7	4,1
$N_{50}P_{25}K_{60}$	38,3	37,2	39,9	24,3	38,8	31,7	35,4	9,8
Навоз 5 т/га + $N_{25}P_{12}K_{30}$ / Manure 5 t/ha + $N_{25}P_{12}K_{30}$	40,0	36,6	37,8	24,9	36,5	28,3	34,2	9,0
Навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$ / Manure 10 t/ha + $N_{50}P_{25}K_{60}$	42,4	44,1	43,5	28,1	47,5	31,1	39,9	6,5
$N_{100}P_{50}K_{120}$	39,1	43,0	42,1	27,0	46,1	32,0	38,9	6,2
Навоз 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$ / Manure 10 t/ha + $N_{100}P_{50}K_{120}$	42,6	44,7	46,1	29,5	50,3	34,2	41,5	5,3
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	-	-	5,5	-

*С учетом побочной продукции / *Taking into account by-products

²Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Агропромиздат, 1987. 239 С.

³Кирюшин В. И. Агрономическое почвоведение. М.: Колос С, 2010. С.126-128.

⁴Доспехов Б. А. Указ. соч.

Эффективность органоминеральной и минеральной систем удобрения была на одном уровне. Продуктивность севооборота в этих системах удобрения при использовании средних доз повысилась на 12,0-13,2 ц з. е./га, повышенных – на 16,7-17,7 ц з. е./га, окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений составила 9,0-9,8 и 6,2-6,5 кг з. е. соответственно.

Об устойчивости агроценозов при оптимизации систем удобрения свидетельствуют данные, полученные при сравнительном анализе продуктивности зернопропашного севооборота за одиннадцать ротаций. Оценка динамики

изменения продуктивности севооборота по годам исследования показала, что максимальная продуктивность отмечена в первых ротациях опыта, независимо от варианта. Установлено, что за годы исследования в варианте без удобрений произошло постепенное и значительное снижение продуктивности севооборота с 30,3 до 17,3 ц з. е./га. Рассмотрение влияния отдельных систем удобрения по ротациям показало, что поддержанию исходного уровня продуктивности способствовало применение минеральной ($N_{100}P_{50}K_{120}$) и органоминеральной (Навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$) систем (рис. 1).

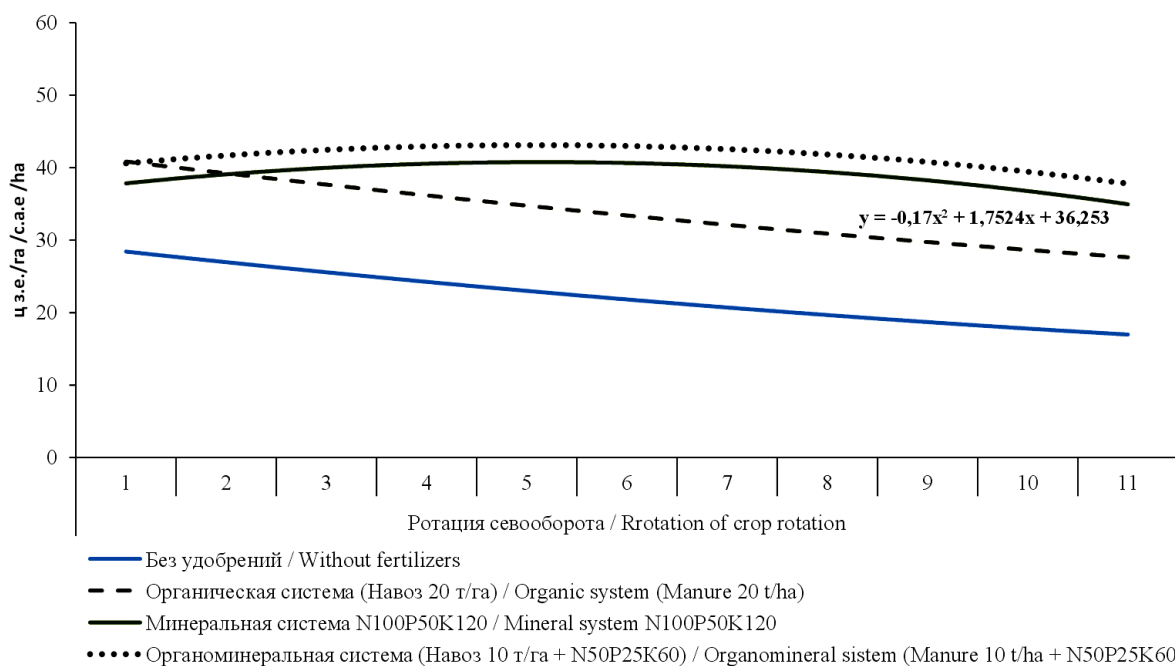


Рис. 1. Изменение продуктивности севооборота при длительном применении различных систем удобрения (1968-2018 гг.) /

Fig. 1. Changes in crop rotation productivity with prolonged use of various fertilizer systems (1968-2018)

При использовании органической системы в дозе 20 т/га, эквивалентной минеральной в дозе $N_{100}P_{50}K_{120}$, отмечено снижение продуктивности с 41,1 до 26,5 ц з. е./га. При внесении средних доз удобрений снижение продуктивности отмечено при использовании всех систем удобрения, особенно органической.

Более стабильная продуктивность севооборота получена на минеральной и органоминеральных системах с внесением как средних, так и повышенных доз удобрений. При использовании органической системы удобрения продуктивность севооборота стабильно снижалась с течением времени, что связано с засорённостью почвы и посевов в этом варианте. В наших исследованиях, проведенных в 11-й ротации зернопропашного севооборота,

в вариантах с органической системой удобрения засорённость однолетнего люпина увеличилась в 2,4-2,7 раза, озимой пшеницы – в 1,3-1,5, картофеля – в 1,7-1,9, ячменя – в 2,2-2,8 раза по сравнению с минеральной системой удобрения.

Полученные экспериментальные данные в длительном стационарном опыте за 11 ротаций зернопропашного севооборота показали, что с течением времени эффективность систем удобрения изменяется.

Данные по влиянию различных систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур представлены в таблице 3. Урожайность зеленой массы однолетнего люпина в варианте без удобрений составила 19,6 т/га, а с внесением удобрений она возросла

на 17-23 %. Эффективность как органических, так и минеральных удобрений, внесенных под озимую пшеницу, получена значительно выше (урожайность на 37-58 % выше контроля). Следует отметить, что урожайность пшеницы

при использовании $N_{50}P_{25}K_{60}$ на фоне среднегодовой дозы навоза 10 т/га составила 3,0 т/га, удвоение дозы минеральных удобрений на фоне 10 т/га навоза не сопровождалось ее ростом (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние различных систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур, т/га (в среднем за 11 лет возделывания) /

Table 3 – The influence of various fertilizer systems on crop yields, t/ha (on average for 1968-2018)

<i>Вариант опыта / Variant of the experiment</i>	<i>Однолетний люпин, зел. масса / Annual lupin, s.m.</i>	<i>Озимая пшеница / Winter wheat</i>	<i>Картофель / Potato</i>	<i>Ячмень / Barley</i>
Без удобрений / Without fertilizers	19,6	1,9	10,0	1,1
Навоз 10 т/га / Manure 10 t/ha	22,0	2,6	14,9	1,7
Навоз 20 т/га / Manure 20 t/ha	22,9	2,9	17,3	2,1
$N_{50}P_{25}K_{60}$	22,5	2,9	17,6	2,5
Навоз 5 т/га + $N_{25}P_{12}K_{30}$ / Manure 5 t/ha + $N_{25}P_{12}K_{30}$	22,6	2,9	17,1	2,3
Навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$ / Manure 10 t/ha + $N_{50}P_{25}K_{60}$	23,6	3,0	21,5	2,9
$N_{100}P_{50}K_{120}$	24,1	2,9	20,4	2,8
Навоз 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$ / Manure 10 t/ha + $N_{100}P_{50}K_{120}$	25,1	3,0	22,8	2,9
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	3,1	0,3	3,0	0,4

Применение удобрений было высокоэффективным также на картофеле, где при использовании органоминеральной системы удобрения с повышенными дозами урожайность составила 21,5 т/га, или 115 % к варианту без удобрений. Использование высокой дозы удобрений (навоз 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$) способствовало росту урожайности до 22,8 т/га (на 128 %). Из всех изученных культур наиболее высокой отзывчивостью на удобрения отличался ячмень. При внесении удобрений в дозе $N_{50}P_{25}K_{60}$ урожайность составила 2,5 т/га, или 127 % к контролю. Использование этой дозы на фоне навоза 10 т/га обеспечило увеличение урожайности до 2,8 т/га, или на 164 % к варианту без удобрений.

Изменение агрохимических показателей почвы показало, что по завершению одиннадцатой ротации севооборота (2018 г.), по сравнению с первоначальными данными (1968 г.), обменная кислотность почвы в варианте без удобрений снизилась на 1,02 единицы pH, при внесении одних минеральных удобрений $N_{50-100}P_{25-50}K_{60-120}$ на 1,03-1,54 соответственно дозам (табл. 4).

Применение различных систем удобрения на протяжении 11 ротаций севооборота улучшало гумусное состояние почвы, за исключением вариантов с использованием средних доз удобрений. При использовании полного минерального

удобрения в повышенных дозах ($N_{100}P_{50}K_{120}$) наблюдалась стабилизация содержания гумуса на уровне 1,08 %. Длительное внесение органических удобрений увеличило содержание гумуса в почве на 0,17-0,39 абс.% в зависимости от дозы подстильного навоза. При органоминеральной системе с повышенными (навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$) и высокими (навоз 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$) дозами удобрений содержание гумуса в почве возросло на 0,17-0,18 абс.% соответственно. За 11 ротаций севооборота максимальное снижение гумусированности почв отмечено в варианте без удобрений.

Исходная обеспеченность почвы подвижными формами фосфатов была очень низкой. Содержание подвижного фосфора в почве без применения удобрений по завершению 11-й ротации севооборота практически не изменилось по сравнению с исходным значением. Стабилизация содержания подвижного фосфора в почве на уровне средней обеспеченности (51-57-72 мг/кг) отмечена соответственно при минеральной, органоминеральной и органической системах удобрения с низкими и средними дозами. При внесении более высоких доз минеральных и органических удобрений содержание фосфора в почве увеличилось до 109-156 мг/кг (повышенный и высокий уровни обеспеченности).

Таблица 4 – Изменение агрохимических свойств почвы при длительном применении удобрений в зернопропашном севообороте /
Table 4 – Changes in the agrochemical properties of the soil with prolonged use of fertilizers in the grain crop rotation

Вариант / Variant	Кислотность, pH _{KCl} / Soil acidity, pH _{KCl}			Гумус, % / Humus, %			Подвижный фосфор / Mobile phosphorus				Обменный калий / Exchangeable potassium			
	1968 г. *	2018 г. **	изменение за 1968-2018 гг. / change in 1968-2018	1968 г. *	2018 г. **	изменение за 1968-2018 гг. / change in 1968-2018	1968 г. *	2018 г. **	изменение за 1968-2018 гг. / change in 1968-2018	1968 г. *	2018 г. **	изменение за 1968-2018 гг. / change in 1968-2018	1968 г. *	изменение за 1968-2018 гг. / change in 1968-2018
Без удобрений / Without fertilizers	6,50	5,48	-1,02	1,08	0,91	-0,17	16	28	+12	81	93	+12		
Навоз 10 т/га / Manure 10 t/ha	6,40	5,83	-0,57	1,08	1,25	+0,17	16	72	+56	94	152	+58		
Навоз 20 т/га / Manure 20 t/ha	6,50	6,04	-0,46	1,08	1,47	+0,39	19	122	+103	73	191	+118		
N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀	6,50	5,47	-1,03	1,08	1,04	-0,04	19	51	+32	75	142	+67		
Навоз 5 т/га + N ₂₅ P ₁₂ K ₃₀ / Manure 5 t/ha + N ₂₅ P ₁₂ K ₃₀	6,25	5,36	-0,89	1,08	1,07	-0,01	19	57	+38	73	150	+77		
Навоз 10 т/га + N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀ / Manure 10 t/ha + N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀	6,10	5,59	-0,51	1,08	1,26	+0,18	19	125	+106	85	201	+116		
N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀	6,45	4,91	-1,54	1,08	1,08	0,00	19	109	+90	76	164	+88		
Навоз 10 т/га + N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀ / Manure 10 t/ha + N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀	6,10	5,27	-0,83	1,08	1,25	+0,17	22	156	+134	75	246	+171		

*Исходное значение, **значение по завершению 11-й ротации севооборота / *Original value, ** value at the end of the 11th rotation of the crop rotation

Таблица 5 – Численность основных физиологических групп микроорганизмов в пахотном слое дерново-подзолистом супесчаной почвы в зависимости от внесенных удобрений /
Table 5 – The number of the main physiological groups of microorganisms in the arable layer of sod-podzolic sandy loamy soil, depending on fertilizers

Вариант / Variant	Протеолитические (среда МПА) / Proteolytic (medium MPA)	Амилитические (среда КАА) / Amylolytic (medium KAA)	Целлюлолитические (среда Гетчинсона) / Cellulolytic (Getchinson medium)	Микромицеты (среда Чапека) / Micromycetes (Chapek medium)	Нитрификаторы / Nitrifiers	Денитрификаторы / Denitrifiers	$\frac{КАА}{МПА} / \frac{КАА}{МПА}$
	КОЕ*10 ⁶ /г почвы / CFU*10 ⁶ /g of soil						
Без удобрений / Without fertilizers	8,2	13,7	0,030	0,040	0,007	0,75	1,7
Навоз 20 т/га / Manure 20 t/ha	15,9	18,1	0,059	0,079	0,016	2,50	1,1
Навоз 10 т/га + N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀ / Manure 10 t/ha + N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀	16,8	20,7	0,055	0,061	0,015	2,50	1,2
N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀	12,2	16,9	0,065	0,091	0,016	0,95	1,4
HCP _{0,5} / LSD _{0,5}	3,15	3,35	0,019	0,014	0,04	0,21	-

Наиболее высокое содержание калия в почве в конце 11-ой ротации – 246 мг/кг отмечено при внесении навоза в дозе 10 т/га совместно с минеральными удобрениями $N_{100}P_{50}K_{120}$. В целом следует указать на улучшение калийного режима супесчаной почвы в конце 11-ой ротации при длительном применении органоминеральной системы с повышенными и высокими дозами удобрений.

Устойчивость агроценозов во многом зависит от микробиологического состояния почвы. Численность почвенной микрофлоры является лабильной величиной, на которую влияют температура и влажность почвы, состав растительного покрова, а также система удобрения в севообороте [13, 14]. В таблице 5 приведены усредненные данные о численности основных групп микроорганизмов в верхних слоях почвы, полученные в конце 11-й ротации. Результаты свидетельствуют о высоком эффекте всех применяемых систем удобрения.

При использовании органической системы удобрения (навоз 20 т/га) численность амиллолитических микроорганизмов (КАА) была достаточно высокой – на 30 % больше контроля. Максимальных значений в условиях опыта этот показатель достигал при использовании органоминеральной системы удобрения (навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$) – на 53 % выше варианта без удобрений. Численность микроорганизмов, использующих органические формы азота (МПА), при применении органической и органоминеральной систем удобрения возрастала в 1,9-2,1 раза, при использовании минеральной системы она увеличилась в 1,5 раза.

Количество нитрификаторов в слое 0-20 см почвы повышалось в 2,4 раза в вариантах с органической системой удобрения (навоз 20 т/га). Внесение минеральных удобрений ($N_{100}P_{50}K_{120}$) обеспечивало увеличение численности этой группы микроорганизмов в 2,3 раза, совместное внесение минеральных и органических удобрений – в 2,2 раза.

Численность денитрифицирующих микроорганизмов своего максимума достигала в вариантах с органической и органоминеральной системами удобрения, в почве которых накапливалось предельное количество минерального азота.

При использовании органической и органоминеральной систем удобрения соотношение численности микроорганизмов, развивающихся на КАА и МПА, составило 1,1-1,2, что свиде-

тельствует о сбалансированности процессов минерализации органического вещества в почве и его гумификации. В варианте с минеральной системой удобрения, как и контроле, преобладание амиллолитических микроорганизмов над протеолитическими указывает на преимущество процессов минерализации органического вещества над его синтезом.

Закключение. На основе изучения длительного (1968-2018 гг.) использования минеральной, органоминеральной и органической систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что применение органических и минеральных удобрений при оптимизации доз и их сочетаний является важным фактором повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур зернопропашного севооборота.

Лучшие результаты по продуктивности и устойчивости агроценозов получены при применении органоминеральной системы удобрения с использованием средних (навоз 5 т/га + $N_{25}P_{12}K_{30}$) и повышенных доз (навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$), которые обеспечивали получение 34,2-39,9 ц з. е./га в год, окупаемость 1 кг NPK составила 9,0-6,5 кг з. е.

Минеральная система удобрения в дозах ($N_{50-100}P_{25-50}K_{60-120}$) обеспечила продуктивность зернопропашного севооборота 35,4-38,9 ц з. е./га., окупаемость 1 кг NPK урожаем составила 9,8-6,2 кг з. е. Оплата 1 кг элементов питания урожаем зависела от доз внесенных удобрений. В вариантах с длительным использованием минеральной системы удобрения содержание гумуса не превышало 1,04-1,08 %.

Органическая система удобрения (10-20 т/га подстильного навоза) по продуктивности севооборота была менее эффективна по сравнению с минеральной в 1,2 раза, органоминеральной – в 1,3 раза и составила 30,1-33,7 ц з. е./га, при оплате 1 кг NPK – 6,4-4,1 кг з. е., но способствовала улучшению гумусного состояния почвы.

Урожайность культур севооборота получена равной при минеральной ($N_{50}P_{25}K_{60}$) и органоминеральной (навоз 5 т/га + $N_{25}P_{12}K_{30}$) системах удобрения. При повышенных дозах удобрений наибольшее влияние на урожайность культур оказала органоминеральная система удобрения.

Анализ основных агрохимических свойств почвы показал, что за период проведения опыта (1968-2018 гг.) наблюдали стабилизацию

основных показателей почвенного плодородия (содержание гумуса, подвижного фосфора и калия) при использовании средних доз (навоз 10 т/га + N₅₀P₂₅K₆₀) удобрений. При внесении повышенных доз (навоз 10 т/га + N₁₀₀P₅₀K₁₂₀) удобрений отмечено увеличение содержания питательных веществ в почве.

Окультуривание почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений способствовало заметному увеличению численности основных физиологических групп микроорганизмов и повышению биогенности почвы.

Список литературы

1. Кирюшин В. И. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа современной агротехнологической политики России. *Земледелие*. 2000;(3):4-6.
2. Кузьменко Н. Н. Изменение показателей плодородия дерново-подзолистой почвы при использовании агротехнологий различной интенсивности в льняном севообороте. *Агрохимия*. 2018;(9):14-19. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188118090077> EDN: UWYVHK
3. Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф., Морачевская Е. В. Изменение свойств и калийного состояния дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при 40-летнем применении агрохимических средств. *Агрохимия*. 2013;(10):3-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20394826> EDN: RENUPV
4. Хайдуков К. П., Шевцова Л. К., Коваленко А. А., Милютин А. А. Влияние длительного применения и последствий различных систем удобрения на кислотность, содержание и качественный состав органического вещества почвы. *Плодородие*. 2014;(1(76)):30-33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21154607> EDN: RUYBZH
5. Dai S., Wang J., Cheng Y., Zhang J., Cai Z. Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017;16(12):2863-2870. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61673-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61673-3)
6. Vasiljauskienė V., Masauskas V. Vilnius. *Tresimo sistemų ir dirvožemio derlingumas/Sudaryt.* 1994. Pp. 248-293.
7. Лапа В. В., Ивахненко Н. Н. Продуктивность севооборотов и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений. *Почвоведение и агрохимия*. 2013;(1(50)):133-144. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36264010> EDN: TWZOYS
8. Дзюин А. Г. Влияние систем удобрений в длительном стационаре на продуктивность севооборота и агрохимические показатели почвы. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019;(5):103-108. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38165687> EDN: BGDUDB
9. Сычев В. Г., Беличенко М. В., Романенков В. А. Результаты мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности севооборотов и изменения свойств почв в длительных опытах географической сети. *Плодородие*. 2017;(6):2-5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32312225> EDN: YMJIWY
10. Лукин С. М., Мерзлая Г. Е. Сравнительная эффективность различных систем удобрения при длительном их применении в севооборотах. *Плодородие*. 2016;(5):42-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27175741> EDN: WWRWAB
11. Хазиев Ф. Х., Гулько А. Е. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения. *Почвоведение*. 1991;(8):88-103. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28419580> EDN: XXXNZR
12. Witter E., Martensson A. M., Garcia F. V. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. *Soil Biology and Biochemistry*. 1993;25(6):659-669. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90105-K](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90105-K)
13. Ушаков Р. Н., Ручкина А. В. Влияние плодородия агросерой почвы на активность микрофлоры в условиях засухи в нечерноземной зоне России. *Агрохимия*. 2020;(6):69-77. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060137> EDN: XIKRBE
14. Мерзлая Г. Е. Исследование устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений на дерново-подзолистой почве. *Почвоведение*. 2021;(3):355-362. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21030126> EDN: OYEELE

References

1. Kiryushin V. I. Adaptive landscape farming systems are the basis of modern agro-technological policy in Russia. *Zemledelie*. 2000;(3):4-6. (In Russ.).
2. Kuzmenko N. N. Dynamics of sod-podzolic soil fertility under agrotechnologies of different intensity in flax crop rotation. *Agrokhimiya*. 2018;(9):14-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188118090077>
3. Mineev V. G., Gomonova N. F., Morachevskaya E. V. Changes in potassium status and properties of loamy soddy-podzolic soil caused by the 40-year-long application of agrochemicals. *Agrokhimiya*. 2013;(10):3-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20394826>

4. Khaydukov K. P., Shevtsova L. K., Kovalenko A. A., Milyutina A. A. Effect and aftereffect of the long-term use of different fertilizing systems on the acidity and organic matter of soil. *Plodorodie*. 2014;(1(76)):30-33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21154607>
5. Dai S., Wang J., Cheng Y., Zhang J., Cai Z. Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017;16(12):2863-2870. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61673-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61673-3)
6. Vasiliauskienė V., Masauskas V. Vilnius. Tiesioginio ir dirvožemio derlingumas/Sudaryt. 1994. Pp. 248-293.
7. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N. Productivity of crop rotations and changes agrochemical properties of loamy sandy soddy-podzolic soil under long-term fertilization. *Pochvovedenie i agrokimiya*. 2013;(1(50)):133-144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36264010>
8. Dzyuin A. G. Influence of fertilizer systems in long-term hospitality of crop rotation and agrochemical indicators of soil. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied And Fundamental Research. 2019;(5):103-108. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38165687>
9. Sychev V. G., Belichenko M. V., Romanenkov V. A. Results of monitoring crop yields, productivity of crop rotations, and changes in soil properties in long-term experiments of geographic network. *Plodorodie*. 2017;(6):2-5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32312225>
10. Lukin S. M., Merzlaya G. E. Comparative efficiencies of different long-term fertilization systems in crop rotations. *Plodorodie*. 2016;(5):42-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27175741>
11. Khaziev F. Kh., Gulko A. E. Enzymatic activity of soils under agrocoenoses: status and problems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1991;(8):88-103. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28419580>
12. Witter E., Martensson A. M., Garcia F. V. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. *Soil Biology and Biochemistry*. 1993;25(6):659-669. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90105-K](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90105-K)
13. Ushakov R. N., Ruchkina A. V. Influence of agro-gray soil fertility on microflora activity in the conditions of drought in the non-chernozem zone of Russia. *Agrokimiya*. 2020;(6):69-77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060137>
14. Merzlaya G. E. Agrocoenosis stability during long-term application of fertilizer on soddy-podzolic soil. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2021;(3):355-362. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21030126>

Сведения об авторе

✉ **Золкина Екатерина Ивановна**, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный центр», ул. Прянишникова, д. 2, п. Вяткино, Судогодский район, Владимирская область, Российская Федерация, 601390, e-mail: vniiou@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0906-7494>, e-mail: ek.Zolkina2017@yandex.ru

Information about the author

✉ **Ekaterina I. Zolkina**, researcher, All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat – a branch of the Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Center, Pryanishnikova str., 2, Vyatkin village, Sudogodsky district, Vladimir region, Russian Federation, 601390, e-mail: vniiou@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0906-7494>, e-mail: ek.Zolkina2017@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author