

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК УДК:631.5:633.1(470.56)

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_25

EDN: HZFFBG

Влияние длительного применения удобрений в севооборотах с озимыми культурами на плодородие черноземов южных степной зоны Южного УралаВиталий Юрьевич Скороходов^{1✉}¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий

Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹ skorohodov.vitali1975@mail.ru[✉]

Аннотация. Основным ресурсом сельскохозяйственного производства является почва, поэтому особое внимание и ученые, и практики уделяют стабилизации и воспроизводству почвенного плодородия. Представлены результаты исследований, выполненных в 2000–2022 гг. в степной зоне Оренбургского Предуралья с целью выявления изменений уровня плодородия почвы при длительном применении минеральных удобрений в севооборотах на черноземах южных степной зоны Южного Урала. Схема полевых опытов включала два варианта с озимыми культурами (рожь и пшеница) в шестипольных севооборотах, возделываемых на двух фонах почвенного питания (удобренный $N_{40}P_{80}K_{40}$ и неудобренный) с применением подкормки (аммиачная селитра 30 кг на 1 га д.в.) и без нее. Изучены показатели плодородия черноземных почв при применении минеральных удобрений в севооборотах с озимыми культурами. Определено количественное содержание гумуса при длительном возделывании сельскохозяйственных культур в севооборотах по разным фонам почвенного питания. Применение минеральных удобрений в севооборотах с озимыми в качестве основного и подкормки в целом приводит к увеличению массовой доли органического вещества в почве. Значения продуктивности яровой пшеницы мягкой и ячменя наглядно показывают преимущество севооборота с озимой пшеницей и просом в контексте повышения почвенного плодородия. Средняя урожайность яровой пшеницы мягкой за 23 года возделывания на неудобренном (контрольном) фоне в севообороте с озимой пшеницей составила 0,93 т/га, что превышает полученную в севообороте с озимой рожью на 0,08 т/га. Превышение урожайности ячменя на неудобренном фоне составило 0,13 т/га по сравнению с севооборотом с озимой пшеницей. Применение минеральных удобрений в севооборотах приводит к повышению урожайности и яровой пшеницы мягкой, и ячменя. По отношению к контролю (неудобренный фон) прибавка урожайности яровой пшеницы мягкой и ячменя при применении удобрений составила соответственно 0,10 и 0,19 т/га.

Ключевые слова: плодородие, гумус, органическое вещество, севооборот, удобрение, урожайность, почва

Финансирование: исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательской работы ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» на 2022–2024 гг. «Разработка научно обоснованных параметров продуктивности агроценозов с улучшенными показателями качества продукции растениеводства на основе адаптивных технологий возделывания зерновых колосовых и кормовых культур, применения новых технологических приемов совершенствования видов севооборотов, использования методов долгосрочного прогнозирования урожайности для хозяйств степной зоны с различным уровнем интенсификации и специализации в условиях изменяющегося климата и нарастающего антропогенного воздействия (№ 0526-2022-0014)».

Для цитирования: Скороходов В.Ю. Влияние длительного применения удобрений в севооборотах с озимыми культурами на плодородие черноземов южных степной зоны Южного Урала // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 25–33. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_25-33.

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE,
PROTECTION AND QUARANTINE OF PLANTS (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

Influence of long-term application of fertilizers in crop rotations with winter crops on the fertility of the southern chernozem soils of the steppe zone of the Southern UralsVitaliy Yu. Skorokhodov^{1✉}¹ Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia¹ skorohodov.vitali1975@mail.ru[✉]

Abstract. The main resource of agricultural production is soil, therefore, scientists and practitioners pay special attention to stabilization and reproduction of soil fertility. The results of studies carried out in 2000-2022 in the steppe zone of Orenburg Urals in order to identify changes in the level of soil fertility with prolonged use of mineral fertilizers in crop rotations on the chernozems of the southern steppe zone of the Southern Urals are presented. The scheme of field experiments included two variants with winter crops (rye and wheat) in six-field crop rotations cultivated on two backgrounds of soil nutrition ($N_{40}P_{80}K_{40}$ fertilized and non-fertilized) with the use of top dressing (ammonium nitrate 30 kg per 1 ha of active substance) and without it. The indicators of fertility of chernozem soils when applying mineral fertilizers in crop rotations with winter crops have been studied. The quantitative content of humus was determined during long-term cultivation of agricultural crops in crop rotations with different backgrounds of soil nutrition. The use of mineral fertilizers in crop rotations with winter crops as the main and top dressing generally leads to an increase in the mass fraction of organic matter in the soil. The productivity values of spring soft wheat and barley clearly show the advantage of crop rotation with winter wheat and millet in the context of increasing soil fertility. The average yield of spring soft wheat for 23 years of cultivation on non-fertilized (control) background in a crop rotation with winter wheat was 0.93 t/ha, which exceeds the average yield obtained in a crop rotation with winter rye by 0.08 t/ha. The excess yield of barley on non-fertilized background was 0.13 t/ha compared with the crop rotation with winter wheat. The use of mineral fertilizers in crop rotations leads to an increase in the yield of both spring wheat and barley. The increase in the yield of spring soft wheat and barley, when applying fertilizers was 0.10 and 0.19 t/ha, respectively, as compared with non-fertilized background.

Keywords: fertility, humus, organic matter, crop rotation, fertilizer, productivity, soil

Funding: the research was carried out in accordance with R&D plan of the Federal State Scientific Institution "Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences" for 2022-2024 "Development of scientifically based parameters of the productivity of agroecosystems with improved indicators of the quality of crop production based on adaptive technologies for the cultivation of cereals and fodder crops, the use of new technological methods for improving the types of crop rotations, the use of methods for long-term forecasting of yields for farms in the steppe zone with different levels of intensification and specialization in a changing climate and increasing anthropogenic impact" (No. 0526-2022-0014).

For citation: Skorokhodov V.Yu. Influence of long-term application of fertilizers in crop rotations with winter crops on the fertility of the southern chernozem soils of the steppe zone of the Southern Urals. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):25-33. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_25-33.

Введение

Почва является основным природным ресурсом сельскохозяйственного производства, поэтому в современной земледелии особое внимание отводится воспроизводству ее плодородия [3, 11, 20].

Органическое вещество является важной составляющей почвы и выполняет физические, химические, биологические, экологические функции [10, 13, 24]. Органическое вещество почвы является важным условием стабилизации агроэкосистем, выполняющим функции определения ее плодородия [5, 17, 22]. При изучении гумусного режима почвы ряд авторов [2, 4, 12] считают, что в результате интенсивного использования пашни с низким уровнем применения органоминеральных удобрений и сокращения возделывания бобовых культур и многолетних трав происходит снижение массовой доли органического вещества в почве, и прежде всего активной, лабильной части фракции гумуса. Обладая повышенной способностью к трансформации, запасы лабильного органического вещества (ЛОВ) регулируют эффективное плодородие почвы. Запасы лабильного органического вещества агроценозах пополняются за счет биомассы корневых и растительных остатков культурной и сорной растительности, корневых выделений и микробиологической деятельности организмов [18, 21, 23]. Количество ЛОВ пашни определяется условием интенсификации сельскохозяйственного производства, видами севооборота, применением удобрений и др. [1, 14, 19].

Применение минеральных удобрений на протяжении длительного времени может приводить к ухудшению свойств почвы, что связано с подкислением почвенного раствора посредством вытеснения ионов водорода и алюминия из поглощающего комплекса, а также физиологической кислотностью некоторых удобрений. На черноземных почвах, имеющих нейтральную и близкую к ней реакцию почвенной среды, небольшое

подкисление минеральными удобрениями положительно, так как способствует повышению подвижности многих соединений. Запас гумуса формируется вследствие гумификации органического вещества и оказывает влияние на почвенное плодородие. Процесс гумификации зависит от кислотности почвы, влажности, температуры, доступности питательных веществ и воздуха, а также химического состава растительных остатков [7, 9, 15].

Цель исследования – выявить изменения уровня плодородия почвы при длительном применении минеральных удобрений в шестипольных севооборотах на черноземах южных степной зоны Южного Урала.

Материалы и методы

При изучении запасов гумуса на опытных делянках использовались общепринятые методы определения его показателей (фракционно-групповой состав – по методике Тюрина в интерпретации Пономаревой – Плотниковой, количественное содержание общего гумуса – по ГОСТ 26213-91).

Почвенные образцы отбирались ручным буром на двух несмежных повторениях по четырем фонам в двух шестипольных севооборотах. Для определения содержания гумуса почву, взятую методом конверта (в пяти точках делянки) из слоя 0–20 см, объединяли в один образец и далее формировали средний с двух несмежных повторений.

Опытные делянки расположены систематически в четырех повторностях, в шахматном порядке. Севообороты на стационарном опытном участке развернуты одновременно во времени и пространстве (рис.).

Схема опыта включает два варианта шестипольных севооборотов:

1. Пар черный кулисный – озимая рожь – яровая пшеница твердая – кукуруза на силос – яровая пшеница мягкая – ячмень.
2. Пар черный кулисный – озимая пшеница – яровая пшеница твердая – просо – яровая пшеница мягкая – ячмень.

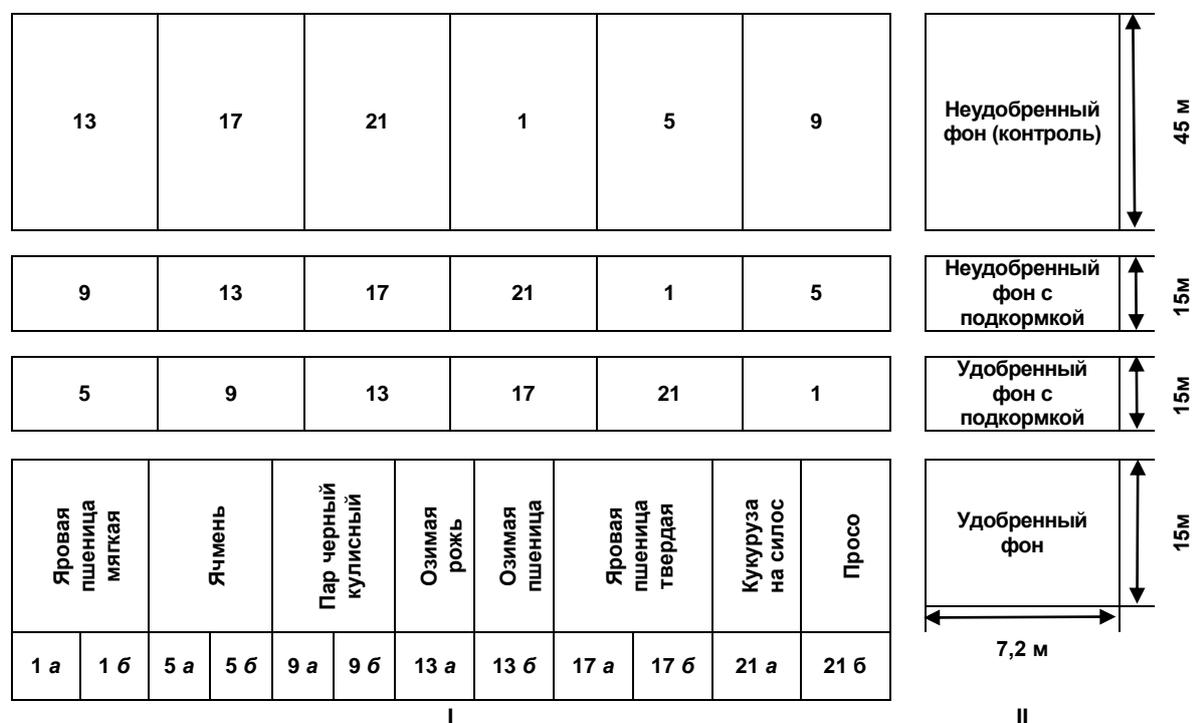


Схема расположения и размер делянок опыта на стационарном участке в 2022 г.:

I – схема расположения делянок, II – размер делянок,
 а – делянка в севообороте с озимой рожью,
 б – делянка в севообороте с озимой пшеницей

Культуры в севооборотах возделывали на двух фонах почвенного питания: удобренном $N_{40}P_{80}K_{40}$ и без удобрения. В качестве подкормки озимых культур использовали аммиачную селитру в дозе 30 кг д.в. на 1 га. Подкормку озимых проводили ранней весной сразу после схода снега. Размер делянок удобренного фона $7,2 \times 30$ м, неудобренного – $7,2 \times 60$ м.

В связи с подкормкой озимых изучены следующие варианты:

- неудобренный фон (контроль) – $7,2 \times 45$ м;
- неудобренный фон с подкормкой – $7,2 \times 15$ м;
- удобренный фон – $7,2 \times 15$ м;
- удобренный фон с подкормкой – $7,2 \times 15$ м.

Учетная площадь при уборке зерновых (комбайном Сампо 500) составляла на контрольном фоне без внесения удобрений 90 м^2 , на других (неудобренный + подкормка, удобренный + подкормка, удобренный) – 30 м^2 .

Кукуруза на силос учитывалась путем срезания вручную двух рядков на удобренном фоне, одного рядка на неудобренном фоне, что составляло 42 м^2 .

В таблице 1 представлена характеристика вегетационных периодов по гидротермическому коэффициенту и количеству засушливых (суховейных) дней.

Таблица 1. Характеристика вегетационных периодов за 2001–2022 гг.

Показатель	Год исследования										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Количество засушливых дней вегетационного периода	63	51	22	41	41	45	51	60	80	104	59
ГТК вегетационного периода, характеристика	<u>0,38</u> III	<u>0,46</u> III	<u>1,09</u> I	<u>0,52</u> III	<u>0,45</u> III	<u>0,63</u> II	<u>0,75</u> II	<u>0,70</u> II	<u>0,57</u> III	<u>0,15</u> III	<u>0,59</u> III
Показатель	Год исследования										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Количество засушливых дней вегетационного периода	75	73	89	76	84	44	54	112	105	104	76
ГТК вегетационного периода, характеристика	<u>0,34</u> III	<u>0,82</u> I	<u>0,25</u> III	<u>0,32</u> III	<u>0,39</u> III	<u>0,50</u> III	<u>0,33</u> III	<u>0,64</u> II	<u>0,30</u> III	<u>0,55</u> III	<u>0,99</u> I

Примечание: под чертой – характеристика вегетационного периода: I – незначительно засушливый (ГТК 0,8 и более), II – засушливый (ГТК 0,6–0,8), III – очень засушливый (ГТК 0,6 и менее).

Из 22 лет исследований 15 характеризуются как очень засушливые (гидротермический коэффициент составлял 0,6 и менее), 4 года – как засушливые (ГТК = 0,6–0,8) и 3 года – как незначительно засушливые.

Результаты и их обсуждение

Длительные стационарные опыты являются своеобразным полигоном для изучения влияния органических и минеральных удобрений на органическое вещество почвы [8, 16]. Стационарный опытный участок заложен в 1988 г. согласно методике Доспехова Б.А. [6]. Исследования проводились в степной зоне Оренбургского Предуралья с расположением участка в координатах 51.775125° с. ш., 55.306547° в.д.

Почвообразующие породы территории – пермские карбонатные глины и тяжелые суглинки. Почва опытного участка является черноземом южным карбонатным малогумусным тяжелосуглинистым с содержанием общего азота до 0,31%, общего фосфора – до 0,22%, обменного калия – 30–38 мг на 100 г почвы, гумуса – 3,2–4,0%.

Исследования проводились в двух шестипольных севооборотах с озимой рожью и озимой пшеницей, у которых общими были паровое поле черного кулисного пара (предшествующее посеву озимых), посеvy яровой пшеницы твердой, яровой пшеницы мягкой и ячменя.

В результате использования пашни различными культурами севооборотов с применением минеральных удобрений в виде основного и подкормок, а также без внесения в наших исследованиях создавались условия регулирования почвенного плодородия. В таблице 2 показаны результаты почвенного анализа по содержанию гумуса по севооборотам во времени к 2022 г. Севообороты одновременно развернуты во времени (по годам исследований) и в пространстве. По каждой делянке рассматривается прохождение севооборотами трех полных ротаций по 6 лет и 4 года четвертой ротации. На контрольном варианте количество гумуса составило от 3,44 до 5,23%. На первой делянке при возделывании сельскохозяйственных культур в севообороте отмечается самое низкое содержание гумуса как с озимой рожью (3,61%), так и с озимой пшеницей (3,44%).

Применение подкормки (аммиачная селитра 30 кг на 1 га д.в.) способствовало повышению плодородия на 0,16% на делянке 1 а и на 0,78% на делянке 1 б относительно контроля. Внесение минеральных удобрений в дозе N₄₀P₈₀K₄₀ в качестве основного повышает почвенное плодородие. Содержание органического вещества на делянках 1 а и 1 б увеличилось соответственно до 1,19 и 1,45% по отношению к контролю. Наибольшая прибавка гумуса отмечена на варианте применения удобрений без подкормок. Внесение удобрения на первой делянке увеличивает содержание гумуса до 4,80% (1 а) и 4,89% (1 б) по отношению к контрольному фону без удобрений.

Таблица 2. Массовая доля органического вещества (гумус) на разных фонах почвенного питания в 2022 г., %

Культура, вид пара	Номер делянки	Фон питания			
		неудобренный (контроль)	неудобренный с подкормкой	удобренный	удобренный с подкормкой
Яровая пшеница мягкая	1 а	3,61	3,77 ↑ 0,16	4,80 ↑ 1,19	4,50 ↑ 0,89
	1 б	3,44	4,22 ↑ 0,78	4,89 ↑ 1,45	4,26 ↑ 0,82
Ячмень	5 а	5,19	6,00 ↑ 0,81	5,78 ↑ 0,59	5,91 ↑ 0,72
	5 б	5,23	5,71 ↑ 0,48	5,58 ↑ 0,35	5,97 ↑ 0,74
Пар черный кулисный	9 а	4,82	4,64 ↓ 0,18	4,63 ↓ 0,19	4,71 ↓ 0,11
	9 б	4,47	4,33 ↓ 0,10	4,68 ↑ 0,21	4,57 ↑ 0,10
Озимая рожь	13 а	3,85	4,37 ↑ 0,52	4,75 ↑ 0,90	4,44 ↑ 0,59
Озимая пшеница	13 б	4,12	4,27 ↑ 0,15	4,52 ↑ 0,40	4,35 ↑ 0,23
Яровая пшеница твердая	17 а	4,20	4,36 ↑ 0,16	4,56 ↑ 0,36	4,50 ↑ 0,30
	17 б	4,25	4,17 ↓ 0,08	4,58 ↑ 0,33	4,39 ↑ 0,14
Кукуруза на силос	21 а	4,15	4,12 ↓ 0,03	4,17 ↑ 0,02	4,23 ↑ 0,08
Просо	21 б	4,49	4,57 ↑ 0,08	4,46 ↓ 0,03	4,80 ↑ 0,31

Примечание: ↑ – увеличение по отношению к контролю, ↓ – снижение.

На пятой делянке (5 а и 5 б) контрольного варианта отмечается наибольшее содержание гумуса – 5,19 и 5,23%. Также как и на первой делянке при длительном внесении минеральных удобрений отмечается положительная динамика почвенного плодородия, хотя на данном варианте наибольший эффект получен при подкормке озимых на неудобренном фоне. На делянке 5 а содержание гумуса на неудобренном фоне с подкормкой составило 6,00% (увеличение по отношению к контролю на 0,81%). На делянке 9 а в севообороте с озимой рожью отмечается отсутствие эффекта от удобрения и подкормки в контексте поддержания почвенного плодородия. По сравнению с контрольным вариантом обычного неудобренного фона при применении подкормки ози-

мой ржи содержание гумуса снижалось на 0,18%. При удобрении культур севооборота с озимой рожью в качестве основного снижение гумуса составило 0,19%, а с подкормкой и основным внесением снизилось на 0,11% за 23 года исследования. На делянке 9 б с озимой пшеницей при подкормке на неудобренном фоне также отмечается снижение содержания гумуса (на 0,10%). На фоне удобрения и подкормки на удобренном фоне на делянке 9 б содержание гумуса незначительно увеличивалось по отношению к контролю и составило соответственно 0,21 и 0,10%.

Таким образом, применение минеральных удобрений в севооборотах с озимыми в качестве основного и подкормки в целом приводит к увеличению массовой доли органического вещества в почве, исключением является делянка 9 а, на которой эффект отсутствует и даже отмечается снижение содержания гумуса по отношению к контролю. При возделывании озимой ржи в севообороте происходит большой вынос элементов питания из почвы, тем самым происходит снижение почвенного плодородия.

Активный рост сорной растительности на фонах с удобрением и подкормкой под разными культурами в севообороте предполагает также большой вынос питательных веществ, приводящий к снижению плодородия почвы. В севообороте с озимой рожью возделывается кукуруза на силос, которая потребляет большое количество питательных веществ ввиду своих биологических особенностей, при этом ее наземная масса вывозится с поля, и возврат питательных веществ в почву отсутствует. Данное обстоятельство также негативно сказывается на почвенном плодородии.

В таблице 3 приведены значения урожайности яровой пшеницы мягкой и ячменя, полученной в 2022 г., и среднее за период с 2000 по 2022 гг.

Таблица 3. Урожайность зерновых культур в двух шестипольных севооборотах, т/га

Культура, год исследования	Фон почвенного питания						Разница по отношению к контролю	
	неудобренный (контроль)			удобренный			I	II
	I	II	*	I	II	*		
Яровая пшеница мягкая (2022 г.)	<u>1,67</u> (±0,09)	<u>1,39</u> (±0,220)	↓0,28	<u>1,30</u> (±0,383)	<u>1,43</u> (±0,418)	↑0,13	↓0,37	↑0,04
Ячмень (2022 г.)	<u>2,34</u> (±0,045)	<u>2,92</u> (±0,515)	↑0,58	<u>1,82</u> (±0,420)	<u>2,36</u> (±0,829)	↑0,54	↓0,52	↓0,56
Яровая пшеница (2000–2022 гг.)	<u>0,85</u> 0,24	<u>0,93</u> 0,25	↑0,08	<u>0,87</u> 0,28	<u>1,03</u> 0,30	↑0,16	↑0,02	↑0,10
Ячмень (2000–2022 гг.)	<u>1,26</u> 0,35	<u>1,39</u> 0,39	↑0,13	<u>1,42</u> 0,48	<u>1,58</u> 0,47	↑0,16	↑0,16	↑0,19

Примечание: I – севооборот с озимой рожью; II – севооборот с озимой пшеницей; под чертой в скобках – ошибка средней; * – разница урожайности по культурам в севооборотах; под чертой – НСР₀₅; ↑ – увеличение; ↓ – снижение.

Значения продуктивности яровой пшеницы мягкой и ячменя наглядно показывают преимущество севооборота с озимой пшеницей и просом в увеличении почвенного плодородия. Средняя урожайность яровой пшеницы мягкой за 23 года возделывания на неудобренном (контрольном) фоне в севообороте с озимой пшеницей составила 0,93 т/га, что превышает полученную в севообороте с озимой рожью на 0,08 т/га.

Превышение урожайности ячменя на неудобренном фоне в среднем за 23 года исследований составило 0,13 т/га по сравнению с севооборотом с озимой пшеницей. Применение минеральных удобрений в севооборотах приводит к повышению урожайности и яровой пшеницы мягкой, и ячменя.

В севообороте с озимой рожью и кукурузой на силос средняя прибавка урожайности за 23 года исследований яровой пшеницы мягкой составила 0,02 т/га, ячменя – 0,16 т/га.

Во втором севообороте с озимой пшеницей и просом на варианте применения удобрений прибавка урожайности яровой пшеницы мягкой составила 0,10 т/га, ячменя – 0,19 т/га по отношению к контрольному фону без удобрения. На удобренном фоне влияние севооборота на урожайность яровой пшеницы мягкой и ячменя выразилось прибавкой урожайности на 0,16 т/га в среднем за годы исследований.

Заключение

Применение минеральных удобрений в севооборотах с озимыми в качестве основного и подкормки повышает почвенное плодородие. На данный факт указывают результаты почвенного анализа по севооборотам, выполненного за 23 года исследований.

В черноземных почвах, имеющих нейтральную и близкую к ней реакцию почвенной среды, небольшое подкисление в результате длительного использования минеральных удобрений способствовало подвижности многих соединений, что создавало благоприятные условия для получения повышенной урожайности сельскохозяйственных культур, возделываемых в севооборотах.

Применение подкормки озимых способствовало повышению содержания гумуса в почве севооборота с озимой рожью на 0,16%, с озимой пшеницей – на 0,78% относительно контрольного неудобренного фона.

Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{80}K_{40}$ в качестве основного повышало почвенное плодородие в севооборотах с озимой рожью до 1,19%, с озимой пшеницей – до 1,45%. Продуктивность яровой пшеницы мягкой (0,93 т/га) и ячменя (1,39 т/га) в севообороте с озимой пшеницей в среднем за 23 года исследований превышала значения этого показателя в севообороте с озимой рожью – соответственно на 0,08 и 0,13 т/га.

Список источников

1. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д. и др. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной зоне при длительном применении удобрений // Земледелие. 2020. № 2. С. 7–9. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10202.
2. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Динамика содержания органического вещества черноземов в условиях минимизации обработки в Красноярской лесостепи // Агрехимия. 2020. № 3. С. 24–30. DOI: 10.31857/S0002188120030059.
3. Броварова О.В. Трансформация гумусовых веществ дерново-подзолистой почве при агрогенных воздействиях // Плодородие. 2021. № 6. С. 17–22. DOI: 10.19110/93206-022-3.
4. Воронкова Н.А., Балбанова Н.Ф., Юшкевич Л.В. Содержание органического вещества в лугово-черноземной почве при различных системах обработки // Плодородие. 2021. № 6. С. 13–16. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.04.
5. Дедов А.В., Несмеянова М.А. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 1(64). С. 50–60. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.50.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Жижин В.Н., Скороходов В.Ю., Зоров А.А. Продуктивность и экономическая эффективность возделывания проса в короткоротационных севооборотах и при бесменном посеве на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: Международный сборник научных трудов. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». Оренбург: ООО «Агентство «Пресса», 2010. С. 252–256.
8. Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Ямалудинова В.Р. и др. Характеристика гуминовых кислот зерново-подзолистой почвы при длительном возделывании разных систем удобрения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 111. С. 97–115. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-97-115.
9. Замятин С.А., Ефимова А.Ю., Максуткин С.А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивно-корневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20(6). С. 594–601. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-60.
10. Захарова И.А., Юмашев Х.С. Изменение гумусного состояния черноземных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2(179). С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.

11. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Гумусовое состояние темно-серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10. С. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.
12. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062.
13. Когут Б.М., Яшин М.А., Семенов В.М. и др. Распределение трансформированного органического вещества в структурных отдельностях дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение. 2016. № 1. С. 52–64. DOI: 10.7868/S0032180X1601007X.
14. 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. № 20(5). С. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
15. Лошаков В.Г. Эффективность раздельного и совместного использования севооборота и удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 1. С. 9–13.
16. Максюттов Н.А., Жданов В.М., Скороходов В.Ю. и др. Сравнительная урожайность озимых культур в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 4(54). С. 30–33.
17. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В. и др. Влияние удобрений на агрохимические показатели плодородия почвы и продуктивности севооборота // Плодородие. 2021. № 5(122). С. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.02.
18. Скороходов В.Ю. Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала // Плодородие. 2021. № 2(119). С. 55–60. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.15.
19. Скороходов В.Ю., Зенкова Н.А. Образование и содержание гумуса в паровых полях севооборотов и бессменном пару на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Плодородие. 2019. № 6(111). С. 28–31. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.08.
20. Скороходов В.Ю. Изменение плодородия почвы и продуктивность монокультур при длительном применении удобрений // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1(65). С. 153–161. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-14.
21. Скороходов В.Ю. Эффективность возделывания озимых ржи и пшеницы при длительном использовании минеральных удобрений в условиях неустойчивого увлажнения степной зоны Южного Урала // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 105–117. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-11.
22. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
23. Усенко В.И., Усенко С.В., Литвинцева Т.А. Содержание гумуса в выщелоченном черноземе в зависимости от севооборота, системы обработки почвы и удобрений в лесостепи юга Западной Сибири // Земледелие. 2020. № 6. С. 18–21. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10604.
24. Ярошенко Т.М., Журавлев Д.Ю., Климова Н.Ф. Влияние длительного применения различных минеральных удобрений на продуктивность культур зернопарового севооборота в условиях засушливой степи Поволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 49–56. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp49-56.

References

1. Balabanova N.F., Voronkova N.A., Doronenko V.D. et al. Content of labile organic matter in meadow-chernozem soil at prolonged application of fertilizers. *Zemledelie*. 2020;2:7-9. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10202. (In Russ.).
2. Belousov A.A., Belousova E.N. Dynamics of the content of organic matter of chernozems in conditions of minimization of processing in Krasnoyarsk forest-steppe. *Agrohimia*. 2020;3:24-30. DOI: 10.31857/S0002188120030059. (In Russ.).
3. Brovarova O.V. Transformation of humus substances in sod-podzolic soil under agrogenic influence. *Plodorodie*. 2021;6:17-22. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.05. (In Russ.).
4. Voronkova N.A., Balbanova N.F., Yushkevich L.V. The content of organic matter in meadow-chernozem soil under various treatment systems. *Zemledelie*. 2021;6:13-16. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.04. (In Russ.).
5. Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. Studies of the influence of crop rotation on the content of soil organic matter and the crop productivity. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(1):50-60. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.50. (In Russ.).
6. Dospekhov B.A. Field-plot Technique (with the Basics of Statistical Processing of Results of Research and Experiments): study guide. 5th edition, revised and enlarged. Moscow: Agropromizdat Publishers; 1985. 351 p. (In Russ.).
7. Zhizhin V.N., Skorokhodov V.Yu., Zorov A.A. Productivity and economic efficiency of millet cultivation in short-duration crop rotations and with permanent sowing in southern chernozem soils of Orenburg Cis-Urals. In: Resource-saving technologies in agricultural production. International collection of scientific papers. Federal State Budgetary Scientific Institution "Orenburg Research Institute of Agriculture". Orenburg: Agency "Press" Publishers; 2010:252-256. (In Russ.).

8. Zavyalova N.E., Vasbieva M.T., Yamaltdinova V.R. et al. Characteristics of humic acids in sod-podzolic soil under long-term exposure to different fertilization systems. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2022;111:97-115. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-97-115. (In Russ.).
9. Zamyatin S.A., Efimova A.Yu., Maksutkin S.A. The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(65):594-601. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-60. (In Russ.).
10. Zakharova I.A., Yumashev Kh.S. Chernozem humus state change of the Chelyabinsk Region as an agricultural use result. *Bulletin KrasSAU*. 2022;2(179):3-11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russ.).
11. Kayugina S.M., Eremin D.I. Dark gray forest soils humus state of the Northern Trans-Urals. *Bulletin KrasSAU*. 2022;10(187):35-42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42. (In Russ.).
12. Kiryushin V.I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive landscape farming systems. *Eurasian Soil Science*. 2019;9:1137-1145. DOI: 10.1134/S0032180X19070062. (In Russ.).
13. Kogut B.M., Yashin M.A., Semenov V.M. et al. Distribution of transformed organic matter in structural units of loamy sandy soddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Science*. 2016;1:45-55. DOI: 10.7868/S0032180X1601007X. (In Russ.).
14. 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;20(5):467-477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-47. (In Russ.).
15. Loshakov V.G. Effectiveness of separate and combined use of crop rotation and fertilizers. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2016;30(1):9-13. (In Russ.).
16. Maksyutov N.A., Zhdanov V.M., Skorokhodov V.Yu. et al. Comparative evaluation of winter crops yields in the steppe zone of the Southern Urals. *Izvetia Orenburg State Agrarian University*. 2015;4(54):30-33. (In Russ.).
17. Petrova L.I., Mitrofanov Yu.I., Gulyaev M.V. et al. The influence of fertilizers on the main agrochemical indicators of soil fertility and productivity of crop rotation. *Plodorodie*. 2021;5(122):8-11. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.02. (In Russ.).
18. Skorokhodov V.Yu. Biological factor of humus reproduction and maintenance of soil fertility in conditions of steppe zone of the Southern Urals. *Plodorodie*. 2021;2(119):55-60. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.15. (In Russ.).
19. Skorokhodov V.Yu., Zenkova N.A. Formation and maintenance of humus in the fallow field crop rotations and permanent fallow on southern black soil Orenburg Cis-Urals. *Plodorodie*. 2019;6(111):28-31. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.08. (In Russ.).
20. Skorokhodov V.Yu. Changes in soil fertility and the productivity of monocultures under long-term use of fertilizers. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. Science and Higher Education*. 2022;1(65):153-161. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-14. (In Russ.).
21. Skorokhodov V.Yu. The effectiveness of the cultivation of winter rye and wheat with the long-term use of mineral fertilizers in conditions of unstable moistening of the steppe zone of the Southern Urals. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. Science and Higher Education*. 2021;4(64):105-117. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-11. (In Russ.).
22. Sychev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrohimia*. 2020;6:3-13. DOI: 10.31857/S0002188120060125. (In Russ.).
23. Usenko V.I., Usenko S.V., Litvintseva T.A. Humus content in leached chernozem depending on crop rotation, soil treatment system and fertilizers in the forest-steppe of the South of Western Siberia. *Zemledelie*. 2020;6:18-21. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10604. (In Russ.).
24. Yaroshenko T.M., Zhuravlev D.Yu., Klimova N.F. Influence of long-term use of various doses of mineral fertilizers on the productivity of grain-fallow crop rotation in the arid steppe of the Volga Region. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;8:49-56. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp49-56. (In Russ.).

Информация об авторе

В.Ю. Скороходов – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», skorohodov.vitali1975@mail.ru.

Information about the author

V.Yu. Skorokhodov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Research Scientist, Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, skorohodov.vitali1975@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.08.2024; одобрена после рецензирования 22.09.2024; принята к публикации 10.10.2024.

The article was submitted 18.08.2024; approved after reviewing 22.09.2024; accepted for publication 10.10.2024.

© Скороходов В.Ю., 2024