

Влияние севооборотов на плодородие выщелоченных черноземов Южного Урала

Л. П. Шаталина, Ю. Б. Анисимов, Ю. С. Мошкина

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Тимирязевский, Россия

E-mail: lubashatalina@mail.ru

Аннотация. Целью исследований было установить степень влияния севооборотов и фонов минерального питания на плодородие чернозема выщелоченного. Проведена сравнительная оценка основных элементов питания гумуса, азота легкогидролизуемого, подвижного фосфора растений в динамике в условиях северной лесостепи Челябинской области, в различных севооборотах на двух фонах удобренности Р и NP. **Методы.** Исследования проводили в длительном полевом опыте на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» с 1998 по 2021 г. В почвенных образцах определялись гумус, азот общий и легкогидролизуемый по методике И. В. Тюрина и М. М. Кононовой в модификации В. Н. Кудеярова, подвижного фосфора по Ф. В. Чирикову. **Результаты.** По результатам наших исследований было установлено, что в среднем за 1998–2021 гг. наблюдений содержание гумуса за счет фактора севооборот изменялось на 0,2 %, по фонам удобренности – на 0,8 %. Содержание азота общего по годам исследований увеличивалось по всем вариантам севооборотов от 20 до 55 % независимо от фонов удобренности. В результате проведенных исследований установлено, что содержание азота легкогидролизуемого существенно зависит от фона минерального питания и условий года, в среднем за 1998–2021 гг. снижение азота легкогидролизуемого составило 17–22 %. В среднем по вариантам опыта за 1998–2021 гг. процесс усваивания подвижного фосфора на фоне NP идет интенсивнее на 8 %. Сильная корреляционная зависимость установлена между продуктивностью севооборотов и азотом общим на фоне Р в 1998 и 2013 гг., азота легкогидролизуемого – в 1998 и 2021 гг., подвижным фосфором – за все годы исследований. **Научная новизна.** Мониторинг оценки состояния плодородия почвы позволяет контролировать, а также диагностировать степень антропогенного воздействия, вносить соответствующие корректировки для обеспечения высокой продуктивности севооборотов в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, гумус, азот общий, азот легкогидролизуемый, подвижный фосфор, минеральные удобрения, севооборот.

Для цитирования: Шаталина Л. П., Анисимов Ю. Б., Мошкина Ю. С. Влияние севооборотов на плодородие выщелоченных черноземов Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-32-45.

Дата поступления статьи: 08.06.2023, **дата рецензирования:** 19.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

The influence of crop rotations on the fertility of leached chernozems of the Southern Urals

L. P. Shatalina, Yu. P. Anisimov, Yu. S. Moshkina

Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia

E-mail: lubashatalina@mail.ru

Abstract. The purpose of the research was to establish the degree of influence of crop rotations and mineral nutrition backgrounds on the fertility of leached chernozem. A comparative assessment of the main nutrition elements of humus, nitrogen of easily hydrolyzable, mobile phosphorus of plants in dynamics in the conditions of the northern forest-steppe of the Chelyabinsk region, in various crop rotations on two fertilization backgrounds P and NP was carried out. **Methods.** The research was carried out in a long-term field experiment on the land-use territory

of the Chelyabinsk Research Institute from 1998 to 2021. Humus, total nitrogen and easily hydrolyzable nitrogen were determined in soil samples according to the method of I. V. Tyurin and M. M. Kononova in the modification of V. N. Kudryarov, mobile phosphorus according to F. V. Chirikov. **Results.** According to the results of our research, it was found that, on average, over the years of observations 1998–2021, the humus content due to the crop rotation factor changed by 0.2 %, according to the fertilization backgrounds by 0.8 %. The nitrogen content of the total over the years of research increased in all crop rotation options from 20 to 55 %, regardless of the background fertilization. As a result of the conducted studies, it was found that the nitrogen content of the easily hydrolyzed significantly depends on the background of mineral nutrition and the conditions of the year, on average for 1998–2021, the decrease in nitrogen of the easily hydrolyzed was 17–22 %. On average, according to the variants of the experiment for 1998–2021, the process of assimilation of liquid phosphorus against the background of NP is more intensive by 8 %. A strong correlation was established between the productivity of crop rotations and total nitrogen against the background of P in 1998 and 2013, nitrogen easily hydrolyzed in 1998 and 2021, mobile phosphorus for all the years of research. **The scientific novelty.** Monitoring of the assessment of the state of soil fertility makes it possible to monitor, as well as diagnose the degree of anthropogenic impact, make appropriate adjustments to ensure high productivity of crop rotations in a changing climate.

Keywords: leached chernozem, humus, total nitrogen, easily hydrolyzable nitrogen, mobile phosphorus, mineral fertilizers, crop rotation.

For citation: Shatalina L. P., Anisimov Yu. P., Moshkina Yu. S. Vliyaniye sevooborotov na plodorodiye vyshchelochnykh chernozemov Yuzhnogo Urala [The influence of crop rotations on the fertility of leached chernozems of the Southern Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol.24, No. 01. Pp. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-32-45. (In Russian.)

Date of paper submission: 08.06.2023, **date of review:** 19.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В процессе использования земель сельскохозяйственного назначения почва подвергается агрогенному воздействию. Его результатом является не только интенсивность использования пашни, но и масштабность проводимых агротехнических мероприятий. Верхние горизонты, а также почвенный покров от механического и химического воздействия деградируют, нарушаются балансы поступления органических и минеральных веществ и микробиологическая активность почвы. Происходит деградация основного свойства почвы плодородия. Как отмечают многие ученые, на плодородие почв влияет много факторов, основные – количество свежего органического вещества, которое поступает в почву с удобрениями и растительными остатками сельскохозяйственных культур, и скорость его минерализации [1; 2].

Данные почвенного мониторинга плодородия внутри структуры полей позволяют выполнять качественную разработку проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия [3; 4]. Плодородие почв и продуктивность агроценозов регулируются всеми средствами адаптивно-ландшафтных систем земледелия, при этом остается актуальным вопрос сохранения и воспроизводства почвенного плодородия [5]. В Госпрограмме развития сельского хозяйства до 2030 г. стоит цель – повышение эффективности использования земельных ресурсов, регулирования плодородия почв до оптимального уровня в каждой конкретной зоне, так как обеспечивает интенсификацию земледелия и рост урожайности

сельскохозяйственных культур [6]. Неоднородность почвенного покрова и изменения окружающей среды требуют корректировки мероприятий по сохранению и регулированию состояния почвенного плодородия. Рациональная система удобрения направлена на сохранение и воспроизводство почвенного плодородия, иначе происходит постепенное истощение почвы, нарушается баланс питательных элементов в системе «почва – растение – удобрение» [7]. Продуктивность сельскохозяйственных культур в основном лимитируется питанием растений, и азот как важнейший элемент в составе гумусовых веществ определяет плодородие черноземов и зависит от варибельности факторов среды, вносимых форм и доз удобрений, севооборота и способа обработки [8–10]. Изменение условий обитания растений (обработка почвы, применение средств химизации) может вызывать депрессию почвообразовательного процесса на отдельных его этапах, а значит, и ухудшение плодородия почвы [11]. Определение количественной характеристики выделительной функции корневых систем позволило сделать предположение о том, что корневые выделения растений не в меньшей степени, чем растительные остатки, могут принимать участие в формировании почвенного плодородия [22]. В исследованиях, проведенных за рубежом, были изучены основные биохимические реакции, происходящие в растениях и азотфиксирующих микроорганизмах [21]. Внесение органических веществ (ОВ) и механической энергии влияют на почвенную систему с образованием простых минеральных соединений, а другая часть

изменяется, переходит в более устойчивую форму органического вещества почвы – гумус [19; 20]. Исследования в длительных стационарных опытах позволяют выявить направленность изменения плодородия почв под влиянием систематического применения удобрений и проектировать севообороты в соответствии с экологическими принципами, нацеленными не только на увеличение продуктивности, но и на реализацию их влияния на плодородие почвы [12–14].

Цель исследования – установить степень влияния севооборотов, минеральных удобрений и условий окружающей среды на основные показатели почвенного плодородия.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследования был верхний горизонт почвы чернозема выщелоченного Южного Урала. Почва под опытным участком имеет слабокислую и нейтральную реакцию почвенной среды (рН = 5,1...7,0), слабую обеспеченность подвижным фосфором (4,5 мг / 100 г почвы); содержание

гумуса – 6–6,5 %; сумма поглощенных оснований – 28–30 мг-экв / 100 г почвы; обеспеченность обменным калием более 80 мг/кг, гранулометрический состав тяжелосуглинистый.

Исследования проводили в длительном стационарном полевом опыте по теме, входящей в госзадание «Изучить эффективность ресурсного потенциала пахотных земель и сельскохозяйственных культур на основе оптимизации полевых севооборотов» на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» с 1998 по 2021 год.

Схема опыта реализована на двух фонах минерального питания: фон Р и фон NP:

- 1) зернопаровой четырехпольный севооборот: фон Р-Р₂₂ и фон NP-N₃₀ P₂₂;
- 2) зернопаротравяной десятипольный севооборот: фон Р-Р₂₇ и фон NP-N₃₆ P₂₇;
- 3) зерновой двухпольный севооборот: фон Р-Р₃₀ и фон NP-N₈₀ P₃₀;
- 4) пшеница бессменно: фон Р-Р₃₀ и фон NP-N₈₀ P₃₀.

Динамика содержания гумуса в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, %

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	Р	5,8	6,4	6,1	5,5	6,2	Контроль
	NP	6,0	5,8	6,5	7,5		
2. Зернопаротравяной	Р	5,6	6,3	5,6	6,7	6,4	0,2
	NP	5,8	6,9	6,9	7,0		
3. Зерновой	Р	6,2	6,5	5,8	6,9	6,3	0,1
	NP	6,5	5,7	6,2	6,6		
4. Яровая пшеница бессменно (контроль)	Р	5,8	4,7	6,6	6,6	6,0	–0,2
	NP	6,4	4,3	6,6	6,9		
Средние по С		6,0	5,8	6,3	6,8		
Различия по С		Контроль	–0,2	0,3	0,8		

HCP_{0,5}A = 0,498 не сущ.; HCP_{0,5}B = 0,352 не сущ.; HCP_{0,5}C = 0,498; HCP_{0,5}AB = 0,705; HCP_{0,5}AC = 0,996; HCP_{0,5}BC = 0,705

Dynamics of humus content in the soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the variants of the experiment, %

Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain-steam	P	5.8	6.4	6.1	5.5	6.2	Control
	NP	6.0	5.8	6.5	7.5		
2. Grain-and-grass	P	5.6	6.3	5.6	6.7	6.4	0.2
	NP	5.8	6.9	6.9	7.0		
3. Grain	P	6.2	6.5	5.8	6.9	6.3	0.1
	NP	6.5	5.7	6.2	6.6		
4. Spring wheat permanently (control)	P	5.8	4.7	6.6	6.6	6.0	–0.2
	NP	6.4	4.3	6.6	6.9		
Average by C		6,0	5,8	6,3	6,8		
The differences by C		Control	–0.2	0.3	0.8		

LCD_{0,5}A = 0.498 insignificant; LCD_{0,5}B = 0.352 insignificant; LCD_{0,5}C = 0.498; LCD_{0,5}AB = 0.705 insignificant; LCD_{0,5}AC = 0.996 insignificant; LCD_{0,5}BC = 0.705

С 2011 года фон Р – без удобрений. Схема опыта включала различные варианты севооборотов:

- 1) зернопаровой четырехпольный севооборот: пар – озимая рожь – горох – пшеница ;
- 2) зернопаротравяной десятипольный севооборот: пар – озимая рожь – горох – пшеница – ячмень – люцерна – люцерна 2 года – люцерна 3 года – пшеница – пшеница;
- 3) зерновой двухпольный севооборот: овес – пшеница;
- 4) яровая пшеница бессменно.

Агротехника в опыте основана на отвальной обработке почвы [15], общепринятая для лесостепных агроландшафтов Челябинской области и прямого посева с 2014 года по нулевой технологии, для экологизации земледелия академик Кирюшин В. И. указывает, что значительный приоритет имеет развитие минимизации обработки почвы.

Анализы по определению гумуса, азота общего и легкогидролизуемого выполнялись по методике И. В. Тюрина и М. М. Кононовой в модификации В. Н. Кудярова; подвижного фосфора – по методике Ф. В. Чирикова.

Для математической обработки данных использовалась компьютерная программа статистической обработки данных Snedecor.

Результаты (Results)

Исследования проводились на почвах чернозема выщелоченного, они представляют 30,2 % общей площади пахотных земель Челябинской области. Для этих почв характерно высокое потенциальное плодородие, так как преобладают зрелые гуминовые кислоты [16; 17].

В процессе исследований наблюдения за динамикой изменения почвенного плодородия проводились за основными элементами питания растений: азот легкогидролизуемый, азот общий, фосфор подвижный, гумус. По результатам исследований за 1998–2021 годы было установлено, что существенные изменения содержания гумуса наблюдались от изменений среды (условий года) (таблица 1).

В зернопаровом севообороте на фоне минерального питания Р характер изменений волнообразный: в 2008 году повышение содержания гумуса на 10 %, в 2013 и в 2021 году – снижение на 5 %. На фоне минерального питания NP изменения содержания гумуса по сравнению с исходным в 2008 году уменьшилось на 3 %, в 2013 и 2021 годах увеличилось соответственно на 8 и 25 %.

Увеличение содержания гумуса на фоне минерального питания Р в зернопаротравяном севообороте по сравнению с исходным за весь период исследований (1998–2021 годы) составило 20 %, на фоне NP – 21 %. Содержание гумуса на фоне минерального питания Р более подвержено изменениям от условий года по сравнению с удобрённым фоном. Так, в 2008 и 2021 годах соответственно

увеличилось на 12 % и 20 %, в 2013 году снизилось на 12 %. На фоне минерального питания NP с 2008 по 2021 год изменение содержания гумуса в зернопаротравяном севообороте оставалось стабильным.

В зерновом севообороте на фоне минерального питания Р содержание гумуса по сравнению с исходным увеличилось на 11 %. В частности, в 2008 и 2021 годах увеличение на 5 и 11 % соответственно. На фоне минерального питания NP в 2008 и 2013 годах произошло снижение содержания гумуса на 12 % и на 5 % соответственно, в 2021 году – увеличение на 1 %.

При бессменном возделывании яровой пшеницы содержание гумуса существенно изменялось от метеоусловий с 1998 по 2008 год. На фоне минерального питания Р отмечено снижение содержания гумуса на 19 %, затем увеличение с 2013 по 2021 год на 14 %. В 2008 году на фоне NP отмечено снижение содержания гумуса на 33 %, в 2013 и 2021 годах – тенденция увеличения на 3 и 8 % соответственно. Потери гумуса обусловлены усилением минерализации гумуса и растительных остатков, а также его миграции по слоям почвы.

Условия лет отбора почвенных проб были различными: 1998 и 2021 годы – засушливые (ГТК = 0,7), сумма положительных температур (S) составила 2584 °C и 2679 °C соответственно, осадки за вегетационный период составили соответственно 184 и 189 мм; 2008 год – обеспеченно-влажный, ГТК = 1,5, S = 2427 °C осадки за вегетационный период составили 347 мм; 2013 год – избыточно увлажненный (ГТК = 1,8), S = 2729 °C, осадки за вегетационный период составили 375 мм. Поэтому разложение растительных остатков идет с различной скоростью в зависимости от микробиологической активности почв. В теплый влажный период микробиологическая активность почв высокая.

В среднем за годы наблюдений (1998–2021) содержание гумуса в севооборотах изменялось на 0,2 %, по фонам удобрения – на 0,8 % (рис. 1).

На фоне NP содержания гумуса уменьшилось на 0,5 % по сравнению с исходным, на фоне Р – на 0,1 %. Изменчивость содержания гумуса незначительная в зернопаровом, зерновом севооборотах, при бессменном возделывании яровой пшеницы коэффициент вариации (V) составил 4–10 %, в зернопаротравяном севообороте средний V = 14...19 %. Коэффициент вариации по фонам удобрения увеличивался в зернопаротравяном севообороте и зернопаротравяном на 1–5 %, в зерновом севообороте и при бессменной культуре яровой пшеницы, наоборот, уменьшался на 3–5 %.

В повышении урожайности культур одним из источников питания растений и повышения качества растениеводческой продукции служит использование азота. Азот как основной источник питания представлен в виде минеральных соединений, из

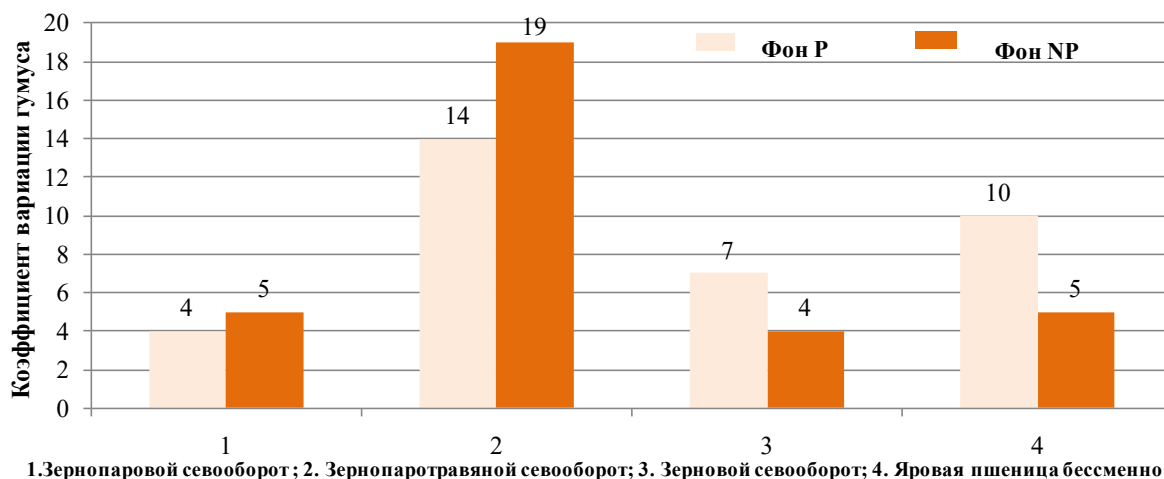


Рис. 1. Коэффициенты вариации гумуса почвы в среднем за 1998–2021 гг.



Fig. 1. Coefficients of variation of soil humus on average for 1998–2021

них 1–7 % составляет общий азот, по его минеральным соединениям судят об эффективном плодородии почв. По результатам наших исследований на содержание азота общего существенное влияние оказывают два фактора: тип севооборота и время (таблица 2).

Установлено, что содержание азота общего по годам исследований увеличивалось по всем вариантам севооборотов от 20 до 37 % в 2008 году, за исключением варианта бессеменной культуры, в 2013 году – от 18 до 46 %, в 2021 году – от 33 до 55 % независимо от фонов удобрённости.

Содержание азота общего в среднем по зерновому севообороту и бессеменной культуре яровой пшеницы уменьшилось на 7 % и на 9 % соответственно по сравнению с зернопаровым севооборотом. В зернопаротравяном севообороте, наоборот, отмечено увеличение на 2 %. В зависимости от фонов удобрённости отмечена тенденция к увеличению содержания азота общего на фоне NP на 3 %. От фактора времени (год исследований) содержание азота общего в 2008 году увеличилось на 18 %, в 2013 году – на 34 %, в 2021 году – на 44 %. Минераль-

ные соединения азота легко трансформируются под воздействием погодных условий по годам исследований за счет поступлений биологического азота предшественников в севооборотах и внесенных минеральных удобрений. Коэффициент вариации показал значительную изменчивость содержания азота общего в зернопаротравяном севообороте, фон удобрённости NP увеличивал на 2 % (рис. 2).

Минерализация усиливалась в этом варианте севооборота за счет интенсивности использования пашни и реакции культур на условия окружающей среды. Для регулирования азотного режима почв оптимизация минерального питания позиционируется на использовании минеральных удобрений и биологического азота за счет агротехнических приемов. Большая часть этих питательных веществ находится в недоступной культурным растениям форме, а небольшая доступная их часть расходуется быстрее, чем пополняется из «основного резерва» [18]. Объективную оценку состояния азотного режима почвы дает содержание азота легкогидролизуемого как одного из основных доступных элементов питания для растений (таблица 3).

Таблица 2

Динамика азота общего в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, %

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	P	0,239	0,325	0,325	0,325	0,306	Контроль
	NP	0,239	0,300	0,350	0,342		
2. Зернопаротравяной	P	0,250	0,300	0,325	0,333	0,312	0,006
	NP	0,237	0,325	0,375	0,350		
3. Зерновой	P	0,233	0,300	0,275	0,317	0,285	–0,021*
	NP	0,244	0,250	0,300	0,358		
4. Яровая пшеница бес- сменно (контроль)	P	0,233	0,225	0,300	0,342	0,278	–0,028*
	NP	0,231	0,225	0,310	0,358		
Средние по С		0,238	0,281	0,320	0,341	0,295	
Различия по С		контроль	0,04*	0,08*	0,10*		

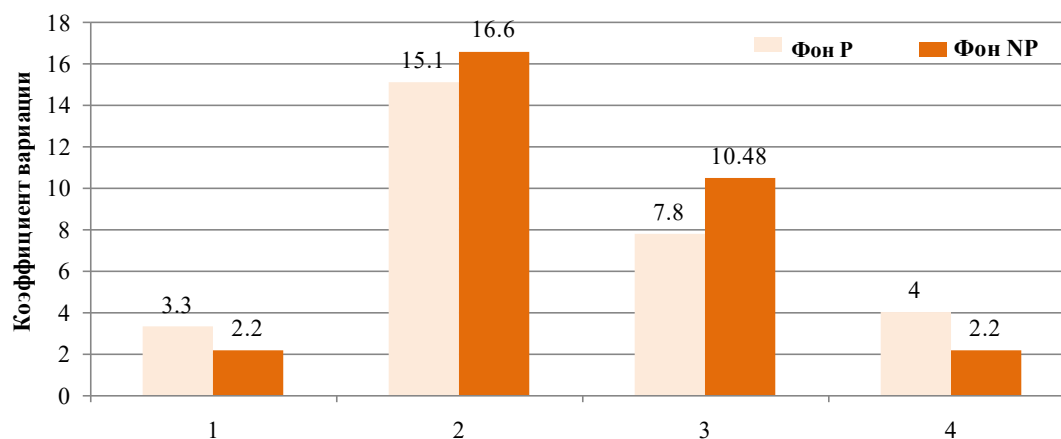
$HCP_{0,5}A = 0,017$; $HCP_{0,5}B = 0,012$ не сущ.; $HCP_{0,5}C = 0,017$; $HCP_{0,5}AB = 0,024$ не сущ.; $HCP_{0,5}AC = 0,034$; $HCP_{0,5}BC = 0,024$

Table 2

Dynamics of total nitrogen in the soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the variants of the experiment, %

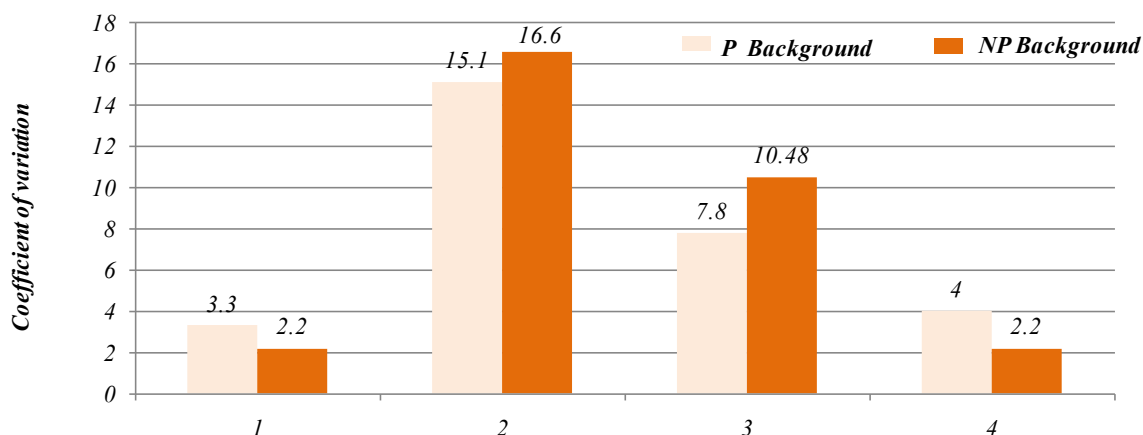
Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain-steam	P	0.239	0.325	0.325	0.325	0.306	Control
	NP	0.239	0.300	0.350	0.342		
2. Grain-and-grass	P	0.250	0.300	0.325	0.333	0.312	0.006
	NP	0.237	0.325	0.375	0.350		
3. Grain	P	0.233	0.300	0.275	0.317	0.285	–0.021*
	NP	0.244	0.250	0.300	0.358		
4. Spring wheat permanently (control)	P	0.233	0.225	0.300	0.342	0.278	–0.028*
	NP	0.231	0.225	0.310	0.358		
Average by C		0,238	0,281	0,320	0,341	0,295	
The differences by C		Control	0.04*	0.08*	0.10*		

$LCD_{0,5}A = 0.017$; $LCD_{0,5}B = 0.012$ insignificant; $LCD_{0,5}C = 0.017$; $LCD_{0,5}AB = 0.024$ insignificant; $LCD_{0,5}AC = 0.034$; $LCD_{0,5}BC = 0.024$



1. Зернопаровой севооборот 2. Зернопаротравяной севооборот 3. Зерновой севооборот 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 2. Коэффициент вариации содержания азота общего в слое почвы 0–20 см за 1998–2021 гг.



1. Grain-steam crop rotation 2. Grain-grass crop rotation 3. Grain crop rotation 4. Spring wheat permanently

Fig. 2. Coefficient of variation of the total nitrogen content in the 0–20 cm soil layer for 1998–2021

Таблица 3
Динамика азота легкогидролизуемого в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, мг/кг

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	P	92	63	84	65	82	Контроль
	NP	93	70	102	85		
2. Зернопаротравяной	P	89	78	77	57	80	–2
	NP	90	70	102	80		
3. Зерновой	P	91	70	72	74	80	–2
	NP	92	72	96	76		
4. Яровая пшеница бессеменно (контроль)	P	91	68	106	79	86	4
	NP	91	65	110	78		
Средние по С		91	69	94	74		
Различия по С		Контроль	–22	3	–17		

HCP_{0,5}A = 6,2 не сущ.; HCP_{0,5}B = 4,4; HCP_{0,5}C = 6,2; HCP_{0,5}AB = 8,8; HCP_{0,5}AC = 12,4; HCP_{0,5}BC = 8,8

Table 3
Dynamics of nitrogen in the easily hydrolyzed soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the experimental variants, mg/kg

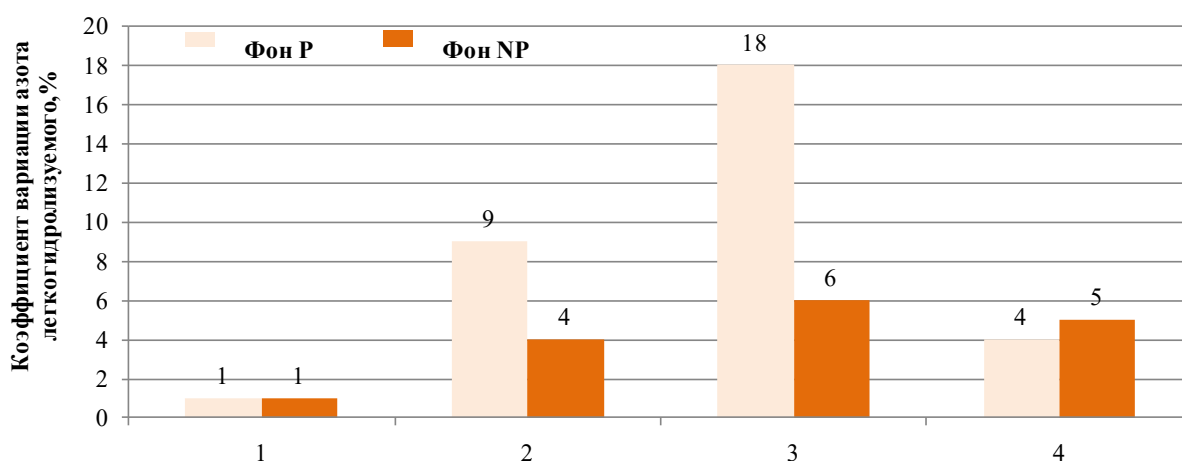
Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain-steam	P	92	63	84	65	82	Control
	NP	93	70	102	85		
2. Grain-and-grass	P	89	78	77	57	80	–2
	NP	90	70	102	80		
3. Grain	P	91	70	72	74	80	–2
	NP	92	72	96	76		
4. Spring wheat permanently (control)	P	91	68	106	79	86	4
	NP	91	65	110	78		
Average by C		91	69	94	74		
The differences by C		Control	–22	3	–17		

LCD_{0,5}A = 6.2 insignificant; LCD_{0,5}B = 4.4 LCD_{0,5}C = 6.2; LCD_{0,5}AB = 8.8 insignificant; LCD_{0,5}AC = 12.4 insignificant; LCD_{0,5}BC = 8.8

В результате проведенных исследований установлено, что содержание азота легкогидролизуемого существенно зависит от фона минерального питания и условий года. Содержание азота легкогидролизуемого в зернопаровом севообороте на фоне Р снизилось по сравнению с исходным на 29 %, на фоне NP – на 9 %. В зернопаротравяном севообороте содержание азота легкогидролизуемого уменьшилось по сравнению с исходным на фоне Р на 36 %, на фоне NP – на 11 %. Содержание азота легкогидролизуемого в зерновом севообороте уменьшилось на фоне Р на 19 %, на фоне NP – на 17 %. При бессменном возделывании яровой пшеницы содержание азота легкогидролизуемого уменьшилось на фоне Р на 13 %, на фоне NP – на 14 %. Снижение азота легкогидролизуемого по сравнению с исходным связано с накоплением органического вещества за счет пожнивно-корневых остатков и замедлению процессов минерализации. В среднем за 1998–2021 годы установлено сниже-

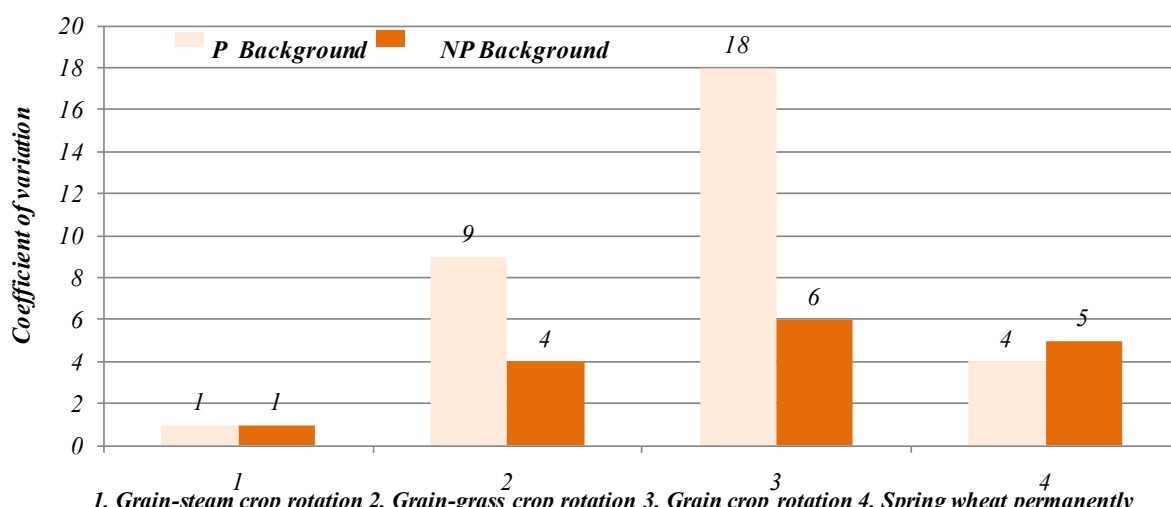
ние азота легкогидролизуемого на 17–22 %. На фоне минерального питания NP в среднем по севооборотах установлено увеличение азота легкогидролизуемого на 7 мг/кг. Изменения по вариантам севооборотов содержания азота легкогидролизуемого составили 5 мг/кг, что находится в пределах ошибки опыта. Коэффициент вариации (V) азота легкогидролизуемого по севооборотам в среднем за 1998–2021 годы был незначительным (меньше 10 %), особенно в зернопаровом севообороте (рис. 3).

Значительные изменения азота легкогидролизуемого произошли в зерновом севообороте на фоне Р ($V = 18 %$), на фоне NP они составили 6 %. Более стабильным по изменениям азота легкогидролизуемого был зернопаровой севооборот независимо от фонов удобрённости. В зернопаротравяном севообороте изменчивость на фоне NP была на 5 % меньше, в зерновом севообороте – на 12 %. Это обусловлено меньшей устойчивостью севооборотов к изменению условий окружающей среды.



1. Зернопаровой севооборот 2. Зернопаротравяной севооборот 3. Зерновой севооборот 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 3. Коэффициенты вариации азота легкогидролизуемого в слое почвы 0–20 см в среднем за 1998–2021 гг.



1. Grain-steam crop rotation 2. Grain-grass crop rotation 3. Grain crop rotation 4. Spring wheat permanently

Fig. 3. Coefficients of variation of nitrogen easily hydrolyzed in the 0–20 cm soil layer on average for 1998–2021

Таблица 4

Динамика фосфора подвижного в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, мг/кг

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Год (фактор С)				Среднее	Различия по А
		1998	2008	2013	2021		
1. Зернопаровой	P	101	100	119	93	103	Контроль
	NP	92	94	120	103		
2. Зернопаротравяной	P	91	95	110	64	87	-16
	NP	88	94	94	58		
3. Зерновой	P	104	119	120	113	106	3
	NP	101	105	96	91		
4. Яровая пшеница бессменно (контроль)	P	106	106	111	113	105	2
	NP	103	94	108	100		
Средние по С		98	101	110	92		
Различия по С		Контроль	3	12	-6		
$HCP_{0,5}A = 6,7$; $HCP_{0,5}B = 4,8$; $HCP_{0,5}C = 6,7$; $HCP_{0,5}AB = 9,5$ не сущ.; $HCP_{0,5}AC = 13,5$; $HCP_{0,5}BC = 9,5$ не сущ.							

Table 4

Dynamics of mobile phosphorus in the soil layer of 0–20 cm leached chernozem according to the experimental variants, mg/kg

Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)				Average	Differences by A
		1998	2008	2013	2021		
1. Grain- steam	P	101	100	119	93	103	Control
	NP	92	94	120	103		
2. Grain-and-grass	P	91	95	110	64	87	-16
	NP	88	94	94	58		
3. Grain	P	104	119	120	113	106	3
	NP	101	105	96	91		
4. Spring wheat permanently(control)	P	106	106	111	113	105	2
	NP	103	94	108	100		
Average by C		98	101	110	92		
The differences by C		Control	3	12	5		
$LCD_{0,5}A = 6.7$; $LCD_{0,5}B = 4.8$; $LCD_{0,5}C = 6.7$; $LCD_{0,5}AB = 9.5$ insignificant; $LCD_{0,5}AC = 13.5$; $LCD_{0,5}BC = 9.5$ insignificant							

Кроме азота, большое участие в питании растений принимает и фосфор. Как известно, он в виде фосфорной кислоты играет большую роль для живых клеток. Особенно необходим он для синтеза органических фосфорсодержащих соединений. Контроль и регулирование содержания минеральных солей фосфорной кислоты актуализируют процесс протекания синтеза органических фосфорсодержащих соединений. Избыток фосфора может привести к увеличению содержания минеральных фосфатов.

В результате проведенных многолетних исследований установлено, что содержание подвижного фосфора существенно зависит от варианта севооборота, фона удобренности и времени. Содержание подвижного фосфора в варианте зернопаротравяного севооборота в среднем за 1998–2021 годы было выше по сравнению с зернопаровым севооборотом на 16 % (таблица 4).

С 1998 года содержание подвижного фосфора увеличилось в среднем по вариантам опыта в 2013 на 12 %, к 2021 году – на 6 %. В среднем по вариантам опыта содержание подвижного фосфора на фоне минерального питания P отмечено на 8 % выше, чем на фоне NP. Это связано с вариабельностью факторов внешней среды и выносом фосфора с урожаем сельскохозяйственных культур. Значительные изменения содержания подвижного фосфора в среднем за 1998–2021 годы отмечены при бессменном возделывании яровой пшеницы при коэффициенте вариации $V = 23...24\%$ (рис. 4).

Устойчивость к изменениям содержания подвижного фосфора проявили варианты севооборотов зернопаровой, зернопаротравяной и зерновой, у которых вариабельность по годам была незначительной. По фонам удобренности в среднем за 1998–2021 годы вариабельность увеличилась на 5 % в зерновом севообороте, в других вариантах севооборотов она была незначительной.

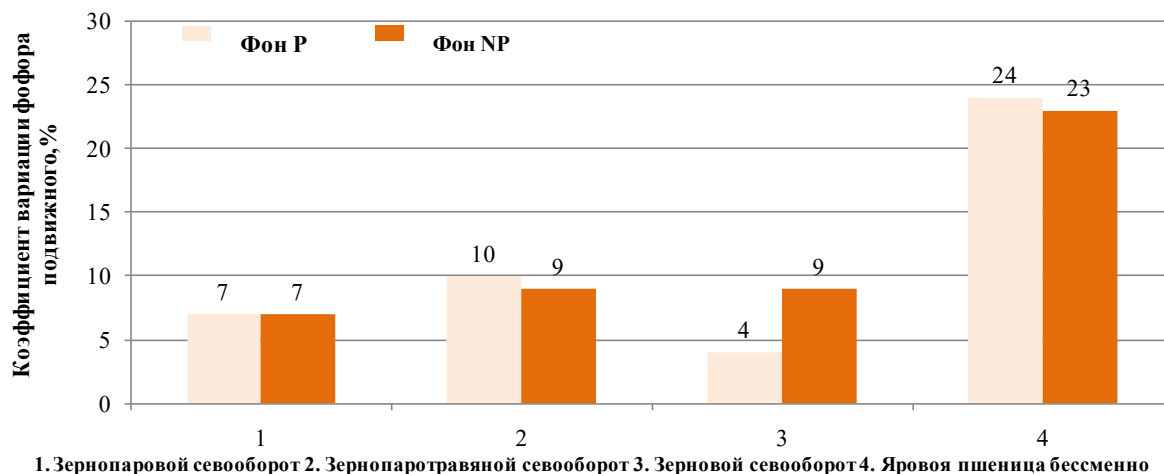


Рис. 4. Коэффициенты вариации фосфора подвижного в слое почвы 0–20 см в среднем за 1998–2021 гг.

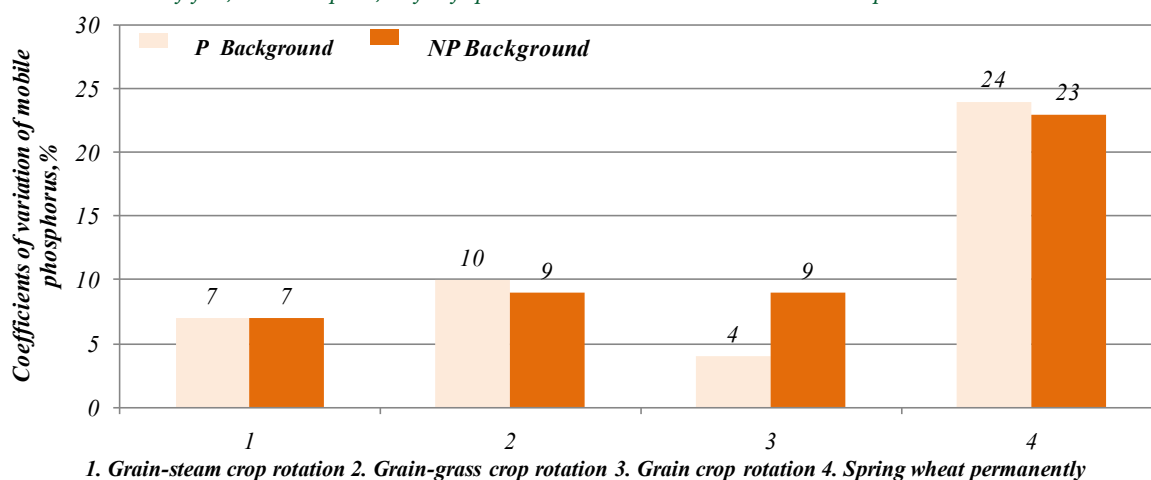


Fig. 4. Coefficients of variation of mobile phosphorus in the 0–20 cm soil layer on average for 1998–2021

Установлены корреляционные связи элементов питания с продуктивностью севооборотов (таблица 5). Сильная корреляционная зависимость установлена между продуктивностью севооборотов и азотом общим на фоне Р в 1998 и 2013 годах, продуктивностью севооборотов и азотом легкогидролизуемым в 1998 и 2021 годах, продуктивностью севооборотов и подвижным фосфором за все годы исследований.

На фоне минерального питания NP сильная корреляционная связь установлена между продуктивностью севооборотов и гумусом в 1998 и 2008 годах, азотом общим в 2008, азотом легкогидролизуемым в 2013, подвижным фосфором в 2013 году.

Максимальная доля влияния содержания гумуса на продуктивность севооборотов (65 %) установлена на фоне Р в 2013 году. Доля влияния содержания азота общего на продуктивность севооборотов на фоне Р в 1998 году составила 94 %, 2013 году – 92 %, на фоне NP – только в 2008 году 80 %.

Наибольшая доля (65 %) влияния содержания азота легкогидролизуемого на продуктивность севооборотов установлена на фоне Р в 1998 году.

Содержание подвижного фосфора оказывало максимальное влияние на продуктивность севооборотов от 56 до 98 % на фоне Р за все годы исследований, на фоне NP – только в 1998 году 56 %.

Обсуждение и выводы (Discussions and Conclusion)

На содержание гумуса в большей степени оказывали влияние скорость его минерализации и усиление его миграции по слоям почвы вследствие количества поступления пожнивно-корневых остатков.

В среднем по вариантам севооборотов наблюдается повышение содержания азота общего, однако за весь период исследований выделились севообороты с насыщением зерновыми культурами по сравнению с зернопаровым севооборотом они уступали на 7–9 %. Вариабельность изменений азота общего основана на использовании минеральных удобрений и биологического азота за счет агротехнических приемов.

Недостаток питания растений обеспечивает азот легкогидролизуемый, изменение содержания которого за счет минерального питания растений в среднем составило 7 мг/кг в зависимости от условий года и от скорости минерализации 25 мг/кг. В целом по всем вариантам опыта фиксируется снижение этого показателя плодородия почвы.

Таблица 5
Коэффициенты корреляции элементов питания с продуктивностью севооборотов
в среднем по севооборотам

Год/ ГТК	Фон	Показатель			
		Гумус	Азот общий	Азот легкогидролизуемый	Подвижный фосфор
1998 0,7	P	0,6	0,9	0,8	0,9
	NP	0,7	0,4	0,6	0,7
2008 1,5	P	0,2	0,4	0,5	0,9
	NP	0,8	0,9	0,3	0,4
2013 1,8	P	0,1	0,9	0,4	0,7
	NP	0,4	0,2	0,7	0,4
2021 0,7	P	0,2	0,5	0,8	0,7
	NP	0,3	0,3	0,6	0,3

Table 5
Correlation coefficient of nutrition elements with crop rotation productivity
on average for crop rotations

Year/ HTC	Background	Indicator			
		Humus	Common nitrogen	Easily hydrolyzed nitrogen	Mobile phosphorus
1998 0.7	P	0.6	0.9	0.8	0.9
	NP	0.7	0.4	0.6	0.7
2008 1.5	P	0.2	0.4	0.5	0.9
	NP	0.8	0.9	0.3	0.4
2013 1.8	P	0.1	0.9	0.4	0.7
	NP	0.4	0.2	0.7	0.4
2021 0.7	P	0.2	0.5	0.8	0.7
	NP	0.3	0.3	0.6	0.3

В среднем по вариантам опыта за 1998–2021 годы процесс усваивания подвижного фосфора на фоне NP идет интенсивнее на 8 %. Динамика мониторинга изменения содержания подвижного фосфора по фонам удобрённости – 8 мг/кг, за счет севооборота – 19 мг/кг, за счет фактора времени – 18 мг/кг.

Черноземы выщелоченные в пределах рассматриваемого стационарного полевого опыта имели вполне благоприятные показатели плодородия почвы, так как поступающие в большом количестве в почву органические вещества в виде не только растительных остатков, но и корневых выделений оказывают положительное влияние на состояние почвенной биоты и почвообразовательный процесс.

Библиографический список

1. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062.
2. Кудяров В. Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агротехнологии. 2018. № 10. С. 3–11. DOI:10.1134/S0002188118100101.
3. Юдин С. А., Ермолаев Н. Р., Белобров В. П., Завалин А. А. Нулевая обработка почвы и ее роль в накоплении гумуса в типичных чернозёмах // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 4. С. 39–42. DOI: 10.31857/S250026272204007X.
4. Некрасов Р. В., Лукин С. В., Куницын Д. А., Пироженко В. В., Сискевич Ю. И., Бадин А. Е. Мониторинг основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв в Центрально-Черноземном районе России // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 4–10. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_4.
5. Турусов В. И., Богатых О. А., Дронова Н. В., Балюнова Е. А. Роль пожнивных-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 10–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.03.
6. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. Москва: Изд-во РАН, 2019. 328 с.
7. Волынкина О. В. Баланс питательных веществ на посевах сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 13–16. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.04.

8. Новоселов С. И., Кузьминых А. Н., Еремеев Р. В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки почвы и севооборота // Плодородие. 2019. № 6 (111). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.06.
9. Завалин А. А., Дридигер В. К., Белобров В. П., Юдин С. А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516. DOI: 10.1134/S0032180X18120146.
10. Еремин Д. И., Демина О. Н. Влияние минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота и нитрификационную способность пахотного чернозёма в лесостепи Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2 (167). С. 26–32. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-26-32.
11. Овсянников Ю. А. О единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования // Аграрный вестник Урала. 2022. № 1 (216). С. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46.
12. Васбиева М. Т. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении удобрений // Почвоведение. 2021. № 1. С. 90–99. DOI: 10.31857/S0032180X21010135.
13. Скороходов В. Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на чернозёмах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 176–185.
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. Рекомендации по агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур Челябинской области / Под ред. Ю. П. Прядуна ; сост. А. А. Агеев, А. А. Анисимов, Ю. Б. Анисимов [и др.]. Челябинск: Челябинский НИИСХ, 2021. 56 с.
16. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Изменение гумусного состояния чернозёмных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.
17. Шаталина Л. П., Анисимов Ю. Б., Калюжина Е. Л. Качественный состав гумуса чернозема выщелоченного в севооборотах северной лесостепи Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2022. № 09 (224). С. 33–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-33-46.
18. Черепухина И. В., Безлер Н. В., Чистотин М. В., Хатунцева Ю. Ю. Зависимость содержания доступных форм азота в почве от скорости разложения соломы зерновых культур // Плодородие. 2019. № 5 (110). С. 37–41. DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.11.
19. Awale R., Chatterjee A., Franzen D. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil. // Soil and Tillage Research. 2013. No. 11. Pp. 213–222. DOI: 10.1016/j.still.2013.08.006.
20. Abdollahi L., Schjonning P., Elmholt S., Munkholm L. J. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability // Soil and Tillage Research. 2013. No. 10. Pp. 28–37. DOI: 10.1016/j.still.2013.09.011.
21. Samorodova A. P., Tvorogova V. E., Tkachenko A. A., Potsenkovskaya E. A., Lebedeva M. A., Tikhonovich I. A., Lutova L. A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced CLE genes in pea // Journal of Plant Physiology. 2018. Vol. 221. Pp. 94–100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005.
22. Froussart E., Bonneau J., Franche C., Bogusz D. Recent advances in actinorhizal symbiosis signaling // Plant Molecular Biology. 2016. Vol. 90. No. 6. Pp. 613–622. DOI: 10.1007/s11103-016-0450-2.

Об авторах:

Любовь Петровна Шаталина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148; +7 (351) 687-14-88, lubashatalina@mail.ru
 Юрий Борисович Анисимов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0003-4385-3655, AuthorID 900182; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru
 Юлия Сергеевна Мошкина, научный сотрудник, ORCID 0000-0001-7385-4443, AuthorID 1097396; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru
 Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Тимирязевский, Россия

References

1. Kiryushin V. I. Upravleniye plodorodiyem pochv i produktivnost'yu agrotsenozov v adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya [Management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive landscape far-

- ming systems] // Eurasian Soil Science. 2019. No. 9. Pp. 1130–1139. DOI: 10.1134/S0032180X19070062. (In Russian.)
2. Kudеyаrov V. N. Balans азота, фосфора и калия в земледелии России [The balance of nitrogen, phosphorus and potassium in agriculture in Russia] // Agricultural Chemistry. 2018. No. 10. Pp. 3–11. DOI: 10.1134/S0002188118100101. (In Russian.)
 3. Yudin S. A., Ermolaev N. R., Belobrov V. P., Zavalin A. A. Nulevaya obrabotka pochvy i ee rol' v nakoplenii gumba v tipichnykh chernozemakh [Zero tillage and its role in the accumulation of humus in typical chernozems] // Russian Agricultural Sciences. 2022. No. 4. Pp. 39–42. DOI: 10.31857/S250026272204007X. (In Russian.)
 4. Nekrasov R. V., Lukin S. V., Kunitsyn D. A., Pirozhenko V. V., Siskevich Yu. I., Badin A. E. Monitoring osnovnykh agrokhimicheskikh pokazateley plodorodiya pakhotnykh pochv v Tsentral'no-Chernozemnom rayone Rossii [Monitoring of the main agrochemical indicators of fertility of arable soils in the Central Chernozem region of Russia] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2021. Vol. 35. No. 9. Pp. 4–10. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_4. (In Russian.)
 5. Turusov V. I., Bogatykh O. A., Dronova N. V., Balyunova E. A Rol' pozhnivno-kornevykh ostatkov v voss-tanovlenii plodorodiya pochvy [The role of crop-root residues in restoring soil fertility] // Plodorodie. No. (115). 2020. Pp. 10–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.03. (In Russian.)
 6. Sychev V. G. Sovremennoye sostoyaniye plodorodiya pochv i osnovnyye aspekty ego regulirovaniya [The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation]. Moscow: Izd-vo RAN, 2019. 328 p. (In Russian.)
 7. Volynkina O. V. Balans pitatel'nykh veshchestv na posevakh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The balance of nutrients in agricultural crops] // Plodorodie. 2020. No. 4 (115). Pp. 13–16. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.04. (In Russian.)
 8. Novoselov S. I., Kuz'minykh A. N., Ereemeev R. V. Plodorodie pochvy i produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zavisimosti ot osnovnoy obrabotki pochvy i sevooborota [Soil fertility and crop productivity depending on the main tillage and crop rotation] // Plodorodie. No. 6 (111). 2019. Pp. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.06. (In Russian.)
 9. Zavalin A. A., Dridiger V. K., Belobrov V. P., Yudin S. A. Azot v chernozemakh pri traditsionnoy tekhnologii obrabotki i pryamom poseve (obzor) [Nitrogen in chernozems with traditional processing technology and direct sowing (review)] // Eurasian Soil Science. 2018. No. 12. Pp. 1506–1516. DOI: 10.1134/S0032180X18120146. (In Russian.)
 10. Eremin D. I., Demina O. N. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na sodержaniye legkogidrolizuyemogo азота i nitrifikatsionnyuyu sposobnost' pakhotnogo chernozema v lesostepi Zaural'ya [The effect of mineral fertilizers on the content of easily hydrolyzable nitrogen and the nitrification ability of arable chernozem in the forest-steppe of the Trans-Urals] // Vestnik KrasGAU. 2021. No. 2 (167). Pp. 26–32. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-26-32. (In Russian.)
 11. Ovsyannikov Yu. A. O edinstve protsessov fotosinteza, азотфиксации и почвообразования [On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 1 (216). Pp. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46. (In Russian.)
 12. Vasbieva M. T. Izmeneniye agrokhimicheskikh pokazateley dernovo-podzolistoy pochvy Predural'ya pri dlitel'nom primenении udobreniy [Changes in agrochemical parameters of the sod-podzolic soil of the Urals with prolonged use of fertilizers] // Eurasian Soil Science. 2021. No. 1. Pp. 90–99. DOI: 10.31857/S0032180X21010135. (In Russian.)
 13. Skorokhodov V. Yu. Vliyaniye pogodnykh faktorov vegetatsii i fona pitaniya na nakopleniye nitratnogo азота v pochve pod sel'skokhozyaystvennymi kul'turami na chernozemakh Orenburgskogo Predural'ya [The influence of weather factors of vegetation and nutrition background on the accumulation of nitrate nitrogen in the soil under agricultural crops on the chernozems of the Orenburg Urals] // Animal Husbandry and Fodder Production. 2018. Vol. 101. No. 2. Pp. 176–185. (In Russian.)
 14. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Sovershenstvovaniye sevooborotov dlya sokhraneniya plodorodiya pochvy i uvelicheniya ikh produktivnosti v usloviyakh biologicheskoy intensivatsii [Improvement of crop rotations to preserve soil fertility and increase their productivity in conditions of biological intensification] // Agricultural Science Evro-North-East. 2019. No. 20 (5). Pp. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477. (In Russian.)
 15. Rekomendatsii po agrotekhnologiyam vzdelyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur Chelyabinskoy oblasti [Recommendations on agrotechnologies of cultivation of agricultural crops of the Chelyabinsk region]. / Under the editorship of Yu. P. Pryadun ; compiler A. A. Ageev, A. A. Anisimov, Yu. B. Anisimov et al. Chelyabinsk: Chelyabinskiy NIISKh, 2021. 56 p. (In Russian.)
 16. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Izmeneniye gumusnogo sostoyaniya chernozemnykh pochv Chelyabinskoy oblasti v rezul'tate sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Changes in the humus state of chernozem soils of

the Chelyabinsk region as a result of agricultural use] // Vestnik KrasGAU. 2022. No. 2 (179). Pp. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russian.)

17. Shatalina L. P., Anisimov Yu. B., Kalyuzhina E. L. Kachestvennyy sostav gumusa chernozema vyshchelochnogo v sevooborotakh severnoy lesostepi Yuzhnogo Urala [The qualitative composition of the humus of chernozem leached in crop rotations of the northern forest-steppe of the Southern Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 09 (224). Pp. 33–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-33-46. (In Russian.)

18. Cherepukhina I. V., Bezler N. V., Chistotin M. V., Khatuntseva Yu. Yu. Zavisimost' sodержaniya dostupnykh form azota v pochve ot skorosti razlozheniya solomy zernovykh kul'tur [Dependence of the content of available forms of nitrogen in the soil on the rate of decomposition of grain straw] // Plodorodie. 2019. No. 5 (110). Pp. 37–41. DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.11. (In Russian.)

19. Awale R., Chatterjee A., Franzen D. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil. // Soil and Tillage Research. 2013. No. 11. Pp. 213–222. DOI: 10.1016/j.still.2013.08.006.

20. Abdollahi L., Schjonning P., Elmholt S., Munkholm L. J. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability // Soil and Tillage Research. 2013. No. 10. Pp. 28–37. DOI: 10.1016/j.still.2013.09.011.

21. Samorodova A. P., Tvorogova V. E., Tkachenko A. A., Potsenkovskaya E. A., Lebedeva M. A., Tikhonovich I. A., Lutova L. A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced CLE genes in pea // Journal of Plant Physiology. 2018. Vol. 221. Pp. 94–100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005.

22. Froussart E., Bonneau J., Franche C., Bogusz D. Recent advances in actinorhizal symbiosis signaling // Plant Molecular Biology. 2016. Vol. 90. No. 6. Pp. 613–622. DOI: 10.1007/s11103-016-0450-2.

Authors' information:

Lyubov P. Shatalina, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148; +7 (351) 687-14-88, lubashatalina@mail.ru

Yuriy P. Anisimov, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0003-4385-3655, AuthorID 900182; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru

Yuliya S. Moshkina, researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0001-7385-4443, AuthorID 1097396; +7 (351) 687-14-88, chniisx2@mail.ru
Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia