

## Влияние бобовых культур и удобрений на продуктивность севооборотов и плодородие почвы

П. С. Семешкина<sup>✉</sup>, Е. С. Бородина

Калужский НИИСХ – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Калужская опытная сельскохозяйственная станция, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: polina.semeshkina@gmail.com

**Аннотация.** Цель – изучение влияния бобовых культур и минеральных удобрений на продуктивность севооборотов и элементы плодородия почвы в условиях Калужской области. **Методы.** Исследования проведены в многолетнем стационарном полевом опыте на серой лесной среднесуглинистой почве. Закладка полевого опыта, наблюдения, учеты и обобщение результатов исследований выполнены в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями. **Результаты.** Установлено, что изучаемые факторы оказали незначительное влияние на засоренность посевов, которая на фоне внесения минеральных удобрений и с увеличением доли бобовых в структуре была несколько выше. В среднем за четвертую ротацию наибольшая продуктивность культур получена в севообороте с 40-процентным насыщением бобовыми культурами как на фоне внесения удобрений (38,6 ц/га зерн. ед.), так и без их применения (32,6 ц/га зерн. ед.). Внесение минеральных удобрений способствовало повышению продуктивности севооборотов на 18–24 %. В среднем по севооборотам от внесения минеральных удобрений дополнительно к неудобренному фонду получено 6,4 ц/га зерн. ед., или 22 %. Отмечено, что применение минеральных удобрений оказало положительное влияние на изменение некоторых показателей почвенного плодородия. Обеспеченность обменными формами калия увеличилась на 27 %, подвижного фосфора – на 54 % по сравнению с вариантами без внесения удобрений. А в сравнении с исходным состоянием содержание  $K_2O$  без внесения удобрений увеличилось на 17 и на 54 мг/кг почвы на фоне их применения, а содержание  $P_2O_5$  соответственно снизилось на 27 мг/кг почвы и повысилось на 66 мг/кг. С увеличением доли бобовых культур в структуре севооборотов с 30 % до 60 % отмечено некоторое увеличение показателей почвенного плодородия, особенно, на фоне внесения минеральных удобрений. **Научная новизна.** Рассмотрены вопросы влияния бобовых культур и минеральных удобрений на продуктивность четвертой ротации севооборотов и элементы плодородия почвы.

**Ключевые слова:** севооборот, культура, бобовые, минеральные удобрения, урожайность, плодородие.

**Для цитирования:** Семешкина П. С., Бородина Е. С. Влияние бобовых культур и удобрений на продуктивность севооборотов и плодородие почвы // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 12. С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21.

**Дата поступления статьи:** 02.05.2023, **дата рецензирования:** 14.06.2023, **дата принятия:** 23.10.2023.

## The influence of legumes and fertilizers on crop rotation productivity and soil fertility

P. S. Semeshkina<sup>✉</sup>, E. S. Borodina

Kaluga Research Agriculture Institute – Branch of Russian Potato Research Centre, Kaluga Experimental Agricultural Station, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: polina.semeshkina@gmail.com

**Abstract.** The purpose of researches is influence legume crops and mineral fertilizers on crop rotation productivity and soil fertility elements in the conditions of Kaluga region. **Methods.** The research was carried out in a long-term stationary field experiment on gray forest medium loamy soil. The laying of field experience, observations, records and generalization of research results were carried out in accordance with generally accepted methodological

recommendations. **Results.** It was found that the studied factors had an insignificant effect on the weed propensity, which, against the background of mineral fertilizers and with an increase in the share of legumes in the structure, was slightly higher. On average, during the fourth rotation, the highest crop productivity was obtained in a crop rotation with 40 % saturation with legumes, both against the background of fertilization (38.6 c/ha of grain units) and without their use (32.6 c/ha of grain units). Applying of mineral fertilizers contributed to an increase in crop rotation productivity by 18–24 %. On average, for crop rotations, 6.4 c/ha of grain units or 22 % were obtained by applying mineral fertilizers in addition to a background without fertilizers. It's noted that use of mineral fertilizers had a positive effect on the change some indicators of soil fertility. Availability of exchangeable forms potassium increased by 27 % and mobile phosphorus by 54 % compared to options without fertilizers. And in comparison with the initial state, the content of  $K_2O$  without fertilizers increased by 17 and by 54 mg/kg of soil against the background of their use, and the content of  $P_2O_5$  decreased by 27 mg/kg of soil and increased by 66 mg/kg, respectively. With an increase in the share of legumes in the structure of crop rotations from 30 % to 60 %, there was a slight increase in soil fertility, especially against the background of mineral fertilizers. **Scientific novelty.** The issues of influence legumes and mineral fertilizers on productivity of the fourth rotation of crop rotations and elements soil fertility were considered.

**Keywords:** crop rotation, crop, legumes, mineral fertilizers, yield, fertility.

**For citation:** Semeshkina P. S., Borodina E. S. Vliyanie bobovykh kul'tur i udobreniy na produktivnost' sevooborotov i plodorodie pochvy [The influence of legumes and fertilizers on crop rotation productivity and soil fertility] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 12. Pp.12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 02.05.2023, **date of review:** 14.06.2023, **date of acceptance:** 23.10.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Повышение продуктивности земледелия – одна из важнейших задач сельскохозяйственного производства любого региона. Успешное решение ее при возделывании полевых культур связано с внесением органических и минеральных удобрений в дозах, превышающих вынос. По данным многочисленных опытов, проведенных исследователями разных регионов, удобрения не только повышают урожайность культур на 20–35 % и более, но и оказывают положительное влияние на плодородие почвы [1, с. 57; 2, с. 23].

На данный момент наиболее распространенной кормовой бобовой культурой на севере Нечерноземной зоны России является клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). При оптимальной реакции почвенной среды, средней обеспеченности почвы фосфором и калием, а также бором и молибденом клевер благодаря его симбиозу с клубеньковыми бактериями способен формировать высокий урожай без внесения азотных удобрений [3, с. 604].

Различные антропогенные воздействия приводят к нарушению микробных систем почвы, однако применение бобового компонента в севооборотах способствует увеличению продуктивности культур, а также улучшению почвенной структуры и ее микробных систем [4, с. 331; 5, с. 231].

На дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья в ФИЦ «Немчиновка» органо-минеральная система удобрения обеспечивала максимальную продуктивность изученных севооборотов, равную 3,0–4,0 т зерн. ед/га в год, но не способствовала поддержанию содержания гумуса в почве

в пределах исходных показателей. Органическая система удобрения обеспечивала формирование 80–99-процентной продуктивности севооборотов от достигнутого максимума и способствовала как минимум сохранению содержания гумуса в почве на исходном уровне [6, с. 44]. На дерново-подзолистых почвах Тверской области внесение 10 т/га органических удобрений способствовало сдерживанию подкисления почвы, обогащению ее органическим веществом [7, с. 13].

Однако в современных условиях внесение органических удобрений сведено к минимуму, поэтому необходим поиск дополнительных источников поступления в почву органического вещества. Так, в Калужской области в среднем за последние 5 лет на 1 га посевной площади внесено всего 2,9 т/га органических удобрений [8, с. 4], из них 86 % под картофель, 13 % под зерновые, остальное количество – под кормовые культуры. Ощущается дефицит внесения и минеральных удобрений. В среднем на 1 га посевной площади внесено 56 кг д. в., из них под картофель – 141 кг, зерновые – 97 кг при средней урожайности зерновых 23,6 ц/га, картофеля – 172 ц/га. Это свидетельствует о том, что формирование урожая сельскохозяйственных культур в земледелии области происходит в большей степени за счет почвенного плодородия. В этой связи дефицит органики в севооборотах может быть восполнен только за счет включения в севообороты зернобобовых культур, многолетних бобовых трав и промежуточных сидеральных посевов [9, с. 69; 10, с. 15; 11, с. 26].

В условиях Свердловской области в звене полевого севооборота отмечена сильная связь между признаками урожайности ячменя и массой сидератов. При этом наибольшее положительное влияние на урожай зерна ярового ячменя оказала заплата кормовых бобов массой 41,2 т/га [12, с. 60; 13, с. 47]. Аналогичные результаты получены и в Орловской области, где использование многолетних трав в качестве сидератов оказывало положительное влияние на микробиологические показатели почвы, водный, азотный и питательный режимы почвы, фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы [14, с. 14]. Благоприятное влияние сидерального пара и отвальной обработки почвы на энергетическую продуктивность севооборота и агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы отмечено в опытах Марийского государственного университета [15, с. 46].

А в почвенно-климатических условиях зоны Верхневолжья применение севооборотов с насыщением бобовыми травами 25 и 50 % позволило обеспечить положительный баланс гумуса благодаря приходу достаточного количества органического вещества в пахотный слой в виде пожнивных и корневых остатков, повысить эффективность применяемых удобрений и увеличить урожайность выращиваемой продукции [16, с. 13].

Общеизвестно, что севооборот является основным звеном любой зональной системы земледелия, оказывающим влияние на агрофизические, агрохимические свойства, водный и температурный режимы почвы. А увеличение в севооборотах доли многолетних трав (прежде всего бобовых и зернобобовых культур) позволяет увеличить поступление органического вещества в почву, что подтверждено опытными данными многих исследователей [17, с. 57; 18, с. 58]. Однако в зависимости от конкретных почвенно-климатических и производственных условий изменяются набор культур в севооборотах, количество полей и другие факторы. Поэтому совершенствование севооборотов и приемов возделывания сельскохозяйственных культур с целью сохранения плодородия почвы и повышения урожайности является важным фактором в современных условиях.

Цель исследований – изучить влияние бобовых культур и минеральных удобрений на продуктивность севооборотов и элементы плодородия серой лесной среднесуглинистой почвы в условиях Калужской области.

#### Методология и методы исследований (Methods)

Полевые исследования проведены на полях Калужского НИИСХ – филиала ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха в 2014–2018 гг. в соответствии с общепринятыми методиками [19] в многолетнем стационарном полевом опыте, заложенном в 1999 г. Размер делянок первого порядка – 220 м<sup>2</sup>, второго –

110 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, расположение ярусное. В опыте изучали продуктивность культур пятипольных севооборотов 4-й ротации с 30 % (горох, овес, озимая пшеница, люпин, картофель, гречиха), 40 % (клевер 1 г. п., озимая пшеница, люпин, картофель, ячмень с подсевом клевера) и 60 % (клевер 2 г. п., озимая пшеница, люпин, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г. п.) зернобобовых культур и многолетних бобовых трав в структуре без внесения минеральных удобрений и на фоне их применения начиная с 2006 г. Удобрения в севооборотах 4-й ротации опыта из расчета в среднем на одно поле внесены в дозах при 30 % бобовых культур в структуре N<sub>25</sub>P<sub>50</sub>K<sub>70</sub>, при 40 % – N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>70</sub>, при 60 % бобовых – N<sub>15</sub>P<sub>50</sub>K<sub>70</sub>.

Минеральные удобрения вносили под предпосевную обработку. Технология возделывания культур общепринятая для региона. Основная обработка включала зяблевую вспашку с предварительным лущением (пласт многолетних трав предварительно дисковали). Под озимую пшеницу после вспашки почву культивировали, после посева прикатывали. Весной под зерновые и зернобобовые проводили ранневесеннее боронование, предпосевную культивацию в два следа, посев и прикатывание после посева с учетом складывающихся погодных условий. Посадку картофеля проводили в предварительно нарезанные гряды.

Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая на лессовидном суглинке, перед закладкой опыта (1999 г.) пахотный слой ее (0–20 см) характеризовался следующими показателями: рН – 4,9...5,0; N л. г. – 5,8...6,3; усвояемых форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O – соответственно 134...156 и 101...111 мг/кг почвы.

Результаты исследований статистически обработаны методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Объект исследований – сельскохозяйственные культуры севооборотов, почва, удобрения.

Погодные условия вегетационных периодов (май – август) в годы проведения исследований были различными. Агрометеорологические условия вегетационных периодов 2015 и 2017 гг. по сумме эффективных температур практически не отличались от среднемноголетних значений при умеренном увлажнении (ГТК = 1,32 и 1,45). Вегетационные периоды 2014, 2016 и 2018 гг. характеризовались повышенным температурным режимом с избыточным увлажнением в 2016 (ГТК = 1,79) и недостаточным в 2014 и 2018 гг. (ГТК = 0,95 и 0,64).

#### Результаты (Results)

В ходе анализа режима засоренности посевов полевых культур в севообороте и отдельно по культурам не отмечено существенного влияния изучаемых факторов на этот показатель. В среднем за

ротацию на одном поле севооборота в период полных всходов насчитывалось 18,2–23,2 шт/м<sup>2</sup> сорных растений, из них многолетних 4,0–5,1 шт. Из полевых культур наибольшая засоренность отмечена в посевах пшеницы яровой, ячменя с подсевом кле-

вера и клевера второго года пользования. В опытах засоренность посевов на фоне внесения минеральных удобрений и с увеличением доли бобовых в структуре была несколько выше, но не превышала экономический порог вредоносности (таблица 1).

Таблица 1  
Засоренность посевов полевых культур 4-й ротации севооборота (среднее за 2014–2018 гг.)

Доля бобовых в севообороте (фон А)	Удобрения (фон Б)	Всходы		Перед уборкой	
		Всего	Из них многолетних	Всего	Из них многолетних
30 % в структуре	Без удобрений	19,4	4,7	9,2	2,3
	Удобрения	19,6	4,6	10,1	2,1
40 % в структуре	Без удобрений	18,2	4,0	10,6	2,8
	Удобрения	21,3	4,3	10,0	3,4
60 % в структуре	Без удобрений	20,4	4,7	13,7	4,7
	Удобрения	23,2	5,1	14,0	4,5
Средняя по фону Б	Без удобрений	19,3	4,5	11,1	3,3
	Удобрения	21,4	4,7	11,6	3,3

Table 1  
Weediness of crops of field crops of the 4th rotation of the crop rotation (average for 2014–2018)

The share of legumes in crop rotation (background A)	Fertilizers (background B)	Shoots		Before harvesting	
		Total	Including perennial	Total	Including perennial
30 % in the structure	No fertilizers	19.4	4.7	9.2	2.3
	Fertilizers	19.6	4.6	10.1	2.1
40 % in the structure	No fertilizers	18.2	4.0	10.6	2.8
	Fertilizers	21.3	4.3	10.0	3.4
60 % in the structure	No fertilizers	20.4	4.7	13.7	4.7
	Fertilizers	23.2	5.1	14.0	4.5
Average background B	No fertilizers	19.3	4.5	11.1	3.3
	Fertilizers	21.4	4.7	11.6	3.3

Таблица 2  
Влияние изучаемых факторов на продуктивность севооборотов, ц/га зерн. ед.

Доля бобовых в севообороте (фон А)	Удобрения (фон Б)	Годы					Средняя	Средняя по фону А
		2014	2015	2016	2017	2018		
30 % в структуре	Без удобрений	27,3	32,0	29,6	28,4	22,9	28,0	31,4
	Удобрения	25,9	33,9	36,8	53,0	24,2	34,8	
40 % в структуре	Без удобрений	20,7	34,8	35,3	48,0	24,2	32,6	35,6
	Удобрения	25,2	40,4	45,3	53,4	28,7	38,6	
60 % в структуре	Без удобрений	20,7	28,1	28,6	35,5	21,2	26,8	30,1
	Удобрения	23,5	32,4	38,0	44,3	28,2	33,3	
Средняя по фону Б		Без удобрений					29,1	
		Удобрения					35,5	
НСР <sub>05</sub> – 7,1; НСР <sub>05</sub> (по фону А) – 4,9; НСР <sub>05</sub> (по фону Б) – 4,1								

Table 2  
The influence of the studied factors on the productivity of crop rotations, c/ha grain units

The share of legumes in crop rotation (background A)	Fertilizers (background B)	Years					Average	Average over background A
		2014	2015	2016	2017	2018		
30 % in the structure	No fertilizers	27.3	32.0	29.6	28.4	22.9	28.0	31.4
	Fertilizers	25.9	33.9	36.8	53.0	24.2	34.8	
40 % in the structure	No fertilizers	20.7	34.8	35.3	48.0	24.2	32.6	35.6
	Fertilizers	25.2	40.4	45.3	53.4	28.7	38.6	
60 % in the structure	No fertilizers	20.7	28.1	28.6	35.5	21.2	26.8	30.1
	Fertilizers	23.5	32.4	38.0	44.3	28.2	33.3	
Average background B		No fertilizers					29.1	
		Fertilizers					35.5	
LSD <sub>05</sub> – 7.1; LSD <sub>05</sub> (background A) – 4.9; LSD <sub>05</sub> (background B) – 4.1								

В конце вегетации полевых культур засоренность посевов значительно снижалась. Из однолетних сорняков в посевах преобладали марь белая, щирица запрокинутая, подмаренник цепкий, пастушья сумка, ромашка непахучая и другие, из многолетних – осот розовый, осот желтый, вьюнок полевой, пырей.

Продуктивность севооборотов четвертой ротации изменялась от 20,7 до 48,0 ц/га зерн. ед. без внесения удобрений и от 23,5 до 53,4 ц/га зерн. ед. на фоне их применения. В среднем за ротацию продуктивность одного поля севооборота варьировала в пределах 26,8 – 38,6 ц/га зерн. ед. Практически во все годы четвертой ротации наибольшая продуктивность культур получена в севообороте с 40-процентным насыщением бобовых в структуре, как без внесения минеральных удобрений, так и при применении. В среднем на одно поле севооборота на этом варианте получено 32,6 и 38,6 ц/га зерн. ед., что на 4,6 и 5,8 ц/га и 3,8 и 5,3 ц/га зерн. ед. соответственно больше по сравнению с севооборотами с 30 % и 60 % бобовых в структуре (таблица 2).

Насыщение севооборотов бобовыми культурами с 30 % до 40 % обеспечивает достоверное повышение урожайности культур и в целом продуктивности севооборота, при дальнейшем повышении доли бобовых в структуре до 60 % этот эффект снижается.

Внесение минеральных удобрений способствовало повышению продуктивности севооборотов на 18–24 %. В среднем по севооборотам от внесения минеральных удобрений дополнительно к неудо-бренному фону получено 6,4 ц/га зерн. ед., или 22 %.

При сельскохозяйственном производстве важна не только урожайность, но и качество получаемой продукции. Для зерновых культур это содержание белка в зерне, для картофеля – содержание крахмала. Эти показатели зависят от обеспеченности растений азотом и сбалансированного минерального питания в целом, а также от генотипа и складывающихся погодных условий в период вегетации.

По результатам исследований в зерне пшеницы озимой без применения удобрений содержалось 8,8–16,1 % белка, пшеницы яровой – 9,1–18,8 %. На фоне внесения минеральных удобрений показатели по содержанию белка были несколько выше в зерне пшеницы яровой (9,5–24,5 %) и ниже у пшеницы озимой (9,9–15,6 %) (таблица 3). Максимальное содержание белка (27,0 %) отмечено у люпина в 2015 г., у гороха – 25,1 % в 2018 г. в севооборотах с 30-процентным насыщением бобовыми культурами. Широкий диапазон показателей объясняется различными метеорологическими условиями в момент вегетации полевых культур по годам.

Важным показателем качества зерна пшеницы является содержание в ней клейковины. В наших опытах в зерне пшеницы озимой содержание данного показателя по годам заметно идет к снижению как на фоне внесения удобрений, так и без их применения. На пшенице яровой такой тенденции не наблюдается. В среднем по годам максимального значения показатель достигает в севообороте с 60-процентным насыщением бобовыми культурами на фоне применения удобрений и без их применения – 31,1 % и 27 % соответственно.

Таблица 3

**Влияние изучаемых факторов на показатели качества основных культур севооборотов**

Культура	Показатели качества									
	Белок, %					Клейковина, %				
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
<b>30 % бобовых в структуре</b>										
Пшеница озимая	13,8/ 8,8	15,6/ 13,6	14,0/ 11,7	10,9/ 9,6	11,2/ 10,3	28,2/ 26,6	29,3/ 22,9	23,3/ 20,5	16,7/ 20,0	16,4/ 16,1
Пшеница яровая	15,4/ 12,8	18,6/ 13,6	18,5/ 9,1	9,5/ 10,3	20,7/ 15,2	34,7/ 27,2	27,8/ 23,2	33,3/ 30,4	15,4/ 14,1	28,7/ 28,8
Люпин/горох	21,8/ 22,0	27,0/ 21,7	–	17,2/ 16,5	25,1/ 23,8	–	–	–	–	–
<b>40 % бобовых в структуре</b>										
Пшеница озимая	14,6/ 10,5	14,2/ 9,8	9,9/ 9,0	12,6/ 12,4	10,8/ 11,4	35,3/ 23,8	27,0/ 21,2	24,4/ 21,4	21,1/ 19,9	17,4/ 14,8
Пшеница яровая	16,9/ 13,2	13,6/ 13,4	13,1/ 13,4	12,5/ 13,2	20,4/ 17,2	40,4/ 29,4	28,2/ 21,4	30,0/ 29,2	18,7/ 18,4	32,7/ 30,5
Люпин/горох	21,9/ 22,5	20,3/ 20,1	–	22,7/ 23,7	18,6/ 20,9	–	–	–	–	–
<b>60 % бобовых в структуре</b>										
Пшеница озимая	15,5/ 11,7	13,0/ 12,6	10,9/ 11,1	13,5/ 15,1	10,3/ 16,1	40,6/ 23,4	28,1/ 28,5	27,3/ 24,2	18,6/ 21,4	17,4/ 17,1
Пшеница яровая	13,4/ 10,9	14,4/ 11,6	16,3/ 18,8	13,6/ 13,2	24,5/ 16,0	39,6/ 27,4	26,3/ 24,8	31,2/ 29,7	25,1/ 22,1	33,1/ 31,0
Люпин/горох	21,8/ 21,4	24,7/ 21,7	–	20,0/ 20,2	21,8/ 19,6	–	–	–	–	–

Примечание. С 2017 года люпин замещен горохом. Над чертой – с удобрениями, под чертой – без удобрений.

Table 3

## The influence of the studied factors on quality indicators of the main crops of crop rotation

Crop	Quality indicators									
	Protein, %					Gluten, %				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
<b>30 % of legumes in the structure</b>										
Winter wheat	13.8/ 8.8	15.6/ 13.6	14.0/ 11.7	10.9/ 9.6	11.2/ 10.3	28.2/ 26.6	29.3/ 22.9	23.3/ 20.5	16.7/ 20.0	16.4/ 16.1
Spring wheat	15.4/ 12.8	18.6/ 13.6	18.5/ 9.1	9.5/ 10.3	20.7/ 15.2	34.7/ 27.2	27.8/ 23.2	33.3/ 30.4	15.4/ 14.1	28.7/ 28.8
Lupine/peas	21.8/ 22.0	27.0/ 21.7	–	17.2/ 16.5	25.1/ 23.8	–	–	–	–	–
<b>40 % of legumes in the structure</b>										
Winter wheat	14.6/ 10.5	14.2/ 9.8	9.9/9.0	12.6/ 12.4	10.8/ 11.4	35.3/ 23.8	27.0/ 21.2	24.4/ 21.4	21.1/ 19.9	17.4/ 14.8
Spring wheat	16.9/ 13.2	13.6/ 13.4	13.1/ 13.4	12.5/ 13.2	20.4/ 17.2	40.4/ 29.4	28.2/ 21.4	30.0/ 29.2	18.7/ 18.4	32.7/ 30.5
Lupine/peas	21.9/ 22.5	20.3/ 20.1	–	22.7/ 23.7	18.6/ 20.9	–	–	–	–	–
<b>60 % of legumes in the structure</b>										
Winter wheat	15.5/ 11.7	13.0/ 12.6	10.9/ 11.1	13.5/ 15.1	10.3/ 16.1	40.6/ 23.4	28.1/ 28.5	27.3/ 24.2	18.6/ 21.4	17.4/ 17.1
Spring wheat	13.4/ 10.9	14.4/ 11.6	16.3/ 18.8	13.6/ 13.2	24.5/ 16.0	39.6/ 27.4	26.3/ 24.8	31.2/ 29.7	25.1/ 22.1	33.1/ 31.0
Lupine/peas	21.8/ 21.4	24.7/ 21.7	–	20.0/ 20.2	21.8/ 19.6	–	–	–	–	–

Note. In 2017, lupine was replaced on peas. Above the line – with fertilizers, below the line – without fertilizers.

Таблица 4

## Изменение биологической активности почвы в зависимости от наличия бобовых культур в севообороте и удобрений (в среднем за 2014–2018 гг.)

Доля бобовых в севообороте (фон А)	Удобрения (фон Б)	Max	Min	Коэф. V	Средняя	Средняя по фону А
30 % в структуре	Без удобрений	28,0	35,5	46,6	31,8	31,5
	Удобрения	24,1	35,6	47,0	31,9	
40 % в структуре	Без удобрений	26,8	37,4	50,5	31,2	31,9
	Удобрения	27,9	36,8	45,0	32,5	
60 % в структуре	Без удобрений	30,7	34,1	51,5	33,0	33,9
	Удобрения	31,6	38,4	44,6	34,9	
Средняя по фону Б		Без удобрений		49,5	32,0	
		Удобрения		45,5	33,1	

Table 4

## Changes in the biological activity of the soil depending on the presence of legumes in the crop rotation and fertilizers (average for 2014–2018)

The share of legumes in crop rotation (background A)	Fertilizers (background B)	Max	Min	Коэф. V	Average	Average over background A
30 % in the structure	Fertilizers	28.0	35.5	46.6	31.8	31.5
	No fertilizers	24.1	35.6	47.0	31.9	
40 % in the structure	Fertilizers	26.8	37.4	50.5	31.2	31.9
	No fertilizers	27.9	36.8	45.0	32.5	
60 % in the structure	Fertilizers	30.7	34.1	51.5	33.0	33.9
	No fertilizers	31.6	38.4	44.6	34.9	
Average background B		No fertilizers		49.5	32.0	
		Fertilizers		45.5	33.1	

Общеизвестно, что применение бобовых культур, особенно многолетних трав, в севообороте позволяет решать многие проблемы земледелия, главная из них связана с плодородием почвы. В наших исследованиях с увеличением доли бобовых культур в структуре севооборота микробиологическая активность почвы, определяемая по интенсив-

ности разложения льняного полотна, повышалась с 31,5 % до 33,9 %. На фоне внесения минеральных удобрений она была несколько выше по сравнению с фоном без применения удобрений. Однако в большей степени изменение данного показателя зависело от погодных условий года, коэффициент вариации варьировал в пределах 44,6–51,5 % (таблица 4).

Проведенные исследования показали, что в результате длительного возделывания полевых культур в севооборотах без применения удобрений произошли значительные изменения показателей почвенного плодородия. Так, через семь лет (1999–2005 гг.) перед внесением минеральных удобрений в стационарном опыте (весна 2006 г.) значительно повысилась кислотность почвы с 5,7 до 4,9 ед., или на 0,8 ед. рН в среднем по севооборотам. При этом наибольшее подкисление отмечено в севообороте с 30 % бобовых в структуре. Также снизилось содержание подвижных форм фосфора и обменного калия соответственно на 8 и 11 мг/кг почвы. Хотя эти показатели находятся в одной группе: очень высокое содержание фосфора (151–250 мг/кг) и среднее содержание калия (81–120 мг/кг). При этом наибольшая разница этих показателей отмечена на

делянках севооборота с 30-процентным наличием бобовых культур в структуре (таблица 5).

Дальнейшее возделывание культур в изучаемых севооборотах без применения удобрений способствовало снижению содержания подвижного фосфора и увеличению обменного калия. При этом кислотность почвы в среднем по севооборотам увеличилась на 0,28 ед. рН, содержание фосфора снизилось на 27 мг/кг почвы, а калия увеличилось на 28 мг/кг почвы. В разрезе севооборотов наибольшее подкисление почвы в конце четвертой ротации произошло в севообороте с 30-процентным насыщением бобовыми культурами (здесь кислотность увеличилась на 1,13 ед. рН по сравнению с началом закладки опыта), в севообороте с 40-процентным насыщением бобовыми – на 1,08, с 60 % бобовых – на 1,04 ед. рН.

Таблица 5

Динамика изменения основных показателей плодородия почвы

Севооборот	рН		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		S	
			мг/кг				мг-экв / 100 г	
	2006 г.	2018 г.	2006 г.	2018 г.	2006 г.	2018 г.	2006 г.	2018 г.
<b>Перед закладкой (1999 г.)</b>								
Среднее	5,7		165		118		11,0	
<b>Без удобрений</b>								
30 % в структуре	4,9	4,57	151	134	101	108	10,6	10,8
40 % в структуре	5,0	4,62	156	170	111	130	12,0	11,6
60 % в структуре	4,9	4,66	165	111	108	168	11,3	11,0
Среднее	4,9	4,62	157	138	107	135	11,3	11,1
<b>С удобрениями</b>								
30 % в структуре	4,9	4,65	151	239	101	142	10,6	11,8
40 % в структуре	5,0	5,34	156	216	111	172	12,0	11,5
60 % в структуре	4,9	5,19	165	183	108	201	11,3	11,9
Среднее	4,9	5,06	157	213	107	172	11,3	11,7

Table 5

Dynamics of changes in the main indicators of soil fertility

Crop rotation	pH		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		S	
			mg/kg				mg-eq / 100 g	
	2006	2018	2006	2018	2006	2018	2006	2018
<b>Before the bookmark (1999)</b>								
Average	5.7		165		118		11.0	
<b>Without fertilizers</b>								
30 % in the structure	4.9	4.57	151	134	101	130	10.6	10.8
40 % in the structure	5.0	4.62	156	170	111	168	12.0	11.6
60 % in the structure	4.9	4.66	165	111	108	168	11.3	11.0
Average	4.9	4.62	157	138	107	135	11.3	11.1
<b>With fertilizers</b>								
30 % in the structure	4.9	4.65	151	239	101	142	10.6	11.8
40 % in the structure	5.0	5.34	156	216	111	172	12.0	11.5
60 % in the structure	4.9	5.19	165	183	108	201	11.3	11.9
Average	4.9	5.06	157	213	107	172	11.3	11.7

При внесении минеральных удобрений отмечено подкисление почвы, но не так явно. В севообороте с 30-процентным содержанием бобовых показатель рН уменьшился на 1,05 ед., с 40 % – на 0,36, с 60 % – на 0,51 ед. по сравнению с исходным состоянием. Однако обеспеченность обменными формами калия увеличилась на 27 % (с 135 до 172 мг/кг почвы), фосфора – на 54 % (со 138 до 213 мг/кг) по сравнению с вариантами без внесения удобрений. При сравнении этих показателей с исходными данными (перед закладкой опыта) содержание подвижных форм фосфора и калия повысилось на 29 % и 45 % соответственно.

В четвертой ротации по сравнению с данными 2006 г. в среднем по севооборотам обеспеченность обменными формами калия увеличилась на 60,7 % (с 107 до 172 мг/кг), доступными формами фосфора – на 35,7 % (с 157 до 213 мг/кг почвы), а по сравнению с началом опыта – на 45 % (с 118 до 172 мг/кг) и на 29 % (с 165 до 213 мг/кг) соответственно.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, в четвертой ротации севооборотов с различным насыщением бобовыми в структуре изучаемые факторы оказали несущественное влияние на засоренность посевов полевых культур. В среднем за ротацию и по севооборотам на одном поле в период полных всходов насчитывалось 19,3–21,4 шт/м<sup>2</sup> сорных растений, в конце вегета-

ции – 11,1–11,6 шт. На фоне внесения удобрений в начальный период роста и развития растений севооборотов наблюдалось некоторое увеличение засоренности, но к концу вегетации эти показатели практически выравнялись. Биологическая активность почвы в севооборотах с 40- и 60-процентным насыщением бобовыми культурами была несколько выше, а в зависимости от внесения удобрений изменялась незначительно. Наибольшая продуктивность культур отмечена в севообороте с 40-процентным насыщением бобовыми культурами как на фоне внесения удобрений, так и без их применения. Внесение минеральных удобрений обеспечило стабилизацию некоторых показателей почвенного плодородия. В среднем по севооборотам обеспеченность обменными формами калия увеличилась на 27 %, подвижного фосфора – на 54 % по сравнению с вариантами без внесения удобрений. А в сравнении с исходным состоянием содержание K<sub>2</sub>O без внесения удобрений увеличилось на 17 и на 54 мг/кг почвы на фоне их применения. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> при внесении удобрений повысилось на 66 мг/кг, а без внесения удобрений снизилось на 27 мг/кг почвы. Увеличение степени насыщенности севооборотов бобовыми культурами с 30 % до 60 % способствовало некоторому росту показателей почвенного плодородия, особенно на фоне внесения минеральных удобрений.

#### Библиографический список

1. Фролова Л. Д., Новиков М. Н. Эффективные технологии использования подстилочного навоза в полевом севообороте // Владимирский земледелец. 2020. № 3 (93). С. 55–58. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10134.
2. Марчук Е. В., Золкина Е. И. Эффективность различных систем удобрения при возделывании тритикале и ячменя на дерново-подзолистой почве // Владимирский земледелец. 2021. № 4. С. 20–26. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-20-26.
3. Naliukhin A., Ryzhakova A., Eregin A. et al. Influence of the after effect of various fertilizer systems on the yield and quality of the green mass of meadow clover (*Trifolium pratense*) // Research on crops. 2021. Vol. 22. No. 3. Pp. 602–607. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.108.
4. Налиухин А. Н., Хамитова С. М., Глинушкин А. П. Изменение метагенома прокариотного сообщества как показатель плодородия пахотных дерново-подзолистых почв при применении удобрений // Почвоведение. 2018. № 3. С. 331–337. DOI: 10.7868/S0032180X18030073.
5. Gritz N. V., Dichensky A. V. Impact of agricultural landscape conditions on botanical composition of legume-bluegrass mixtures: An analytical system of monitoring the state of agrocenoses // Research on Crops. 2020. Vol. 21. No. 2. Pp. 231–236. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.040.
6. Конончук В. В., Штырхунов В. Д., Благовещенский Г. В., Тимошенко С. М., Назарова Т. О. Эффективность и оптимизация систем удобрения в севооборотах с разной долей многолетних трав на дерново-подзолистой почве центра Нечерноземной зоны России // Агрехимия. 2020. № 7. С. 36–46. DOI: 10.31857/S0002188120070078.
7. Кузьменко Н. Н. Влияние систем удобрения на показатели плодородия дерново-подзолистой почвы // Владимирский земледелец. 2021. № 4. С. 10–14. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-10-14.
8. Внесение удобрений в крупных, средних и малых (без микропредприятий) сельхозорганизациях Калужской области: статистический сборник. Калуга: Отдел ИСУ Калугастата, 2021. 24 с.
9. Соколов Н. А., Дьяченко О. В., Бабьяк М. А. Тенденции биологизации земледелия Брянской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 65–73.
10. Чуян Н. А., Брескина Г. М. Влияние приема биологизации на биологическое состояние органического вещества чернозема типичного // Агрехимия. 2020. № 9. С. 8–17. DOI: 10.31857/S0002188120090033.

11. Постников П. А., Попова В. В., Васина О. В., Тиханская Е. Л. Использование ярового рапса в качестве сидеральной культуры в условиях Среднего Урала // Вестник КрасГАУ. 2021. № 5 (170). С. 20–27. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-20-27.
12. Чулков В. А., Чапалда Т. Л. Оценка влияния сидератов на биологические свойства чернозема оподзоленного в звене полевого севооборота // Аграрный вестник Урала. 2021. № 4 (207). С. 55–63. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-55-63.
13. Постников П. А., Попова В. В. Влияние удобрений на урожайность культур и вынос питательных элементов в зернопаросидеральном севообороте // Агрохимия. 2021. № 4. С. 42–48. DOI: 10.31857/S000218812104013X.
14. Масалов В. Н., Березина Н. А., Лобков В. Т., Бобкова Ю. А. Управление плодородием почв на основе интенсификации биологических факторов в системах земледелия // Вестник аграрной науки. 2021. № 3 (90). С. 10–17. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.3.10.
15. Новоселов С. И., Кузьминых А. Н. Влияние видов пара и способов основной обработки почвы на ее плодородие и продуктивность севооборотов // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (10). С. 42–48. DOI: 10.17022/tyem-sd29.
16. Вихорева Г. В., Шишкина С. В. Влияние приемов биологизации на повышение плодородия почв Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2022. № 2 (100). С. 10–13.
17. Куликова А. Х., Яшин Е. А., Черкасов Е. А., Волкова Е. С. Роль органических удобрений (соломы, сидератов, пожнивно-корневых остатков) в воспроизводстве и сохранении гумуса в почве // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-53-58.
18. Коржов С. И., Солодовников А. П., Пимонов К. И., Несмеянова М. А. Влияние бобовых культур на плодородие почвы и продуктивность севооборотов // Агрохимический вестник. 2022. № 3. С. 54–59. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-3-010.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1973. 336 с.

#### Об авторах:

Полина Сергеевна Семешкина, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, ORCID 0000-0001-8450-7105, AuthorID 432941; +7 910 869-72-03, [polina.semeshkina@gmail.com](mailto:polina.semeshkina@gmail.com)  
 Екатерина Сергеевна Бородина, научный сотрудник, ORCID 0000-0002-2687-1387, AuthorID 1043935; +7 999 983-40-28, [ekaterinapeliy@yandex.ru](mailto:ekaterinapeliy@yandex.ru)  
 Калужский НИИСХ – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Калужская опытная сельскохозяйственная станция, Россия

#### References

1. Frolova L. D., Novikov M. N. Effektivnyye tekhnologii ispol'zovaniya podstilochnogo navoza v polevom sevooborote [Efficient technologies of using farmyard manure in crop rotation] // Vladimir Agricolist. 2020. No. 3 (93). Pp. 55–58. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10134. (In Russian.)
2. Marchuk E. V., Zolkina E. I. Effektivnost' razlichnykh sistem udobreniya pri vzdelyvanii tritikale i yachmenya na dernovo-podzolistoy pochve [Efficiency of various fertilizing systems to cultivate triticale and barley on soddy podzolic soil] // Vladimir Agricolist. 2021. No. 4. Pp. 20–26. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-20-26. (In Russian.)
3. Naliukhin A., Ryzhakova A., Eregin A. et al. Influence of the after effect of various fertilizer systems on the yield and quality of the green mass of meadow clover (*Trifolium pratense*) // Research on crops. 2021. Vol. 22. No. 3. Pp. 602–607. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.108.
4. Naliukhin A. N., Khamitova S. M., Glinushkin A. P. Izmenenie metagenoma prokariotnogo soobshchestva kak pokazatel' plodorodiya pakhotnykh dernovo-podzolistykh pochv pri primenении udobreniy [Metagenome change of the prokaryotic community as an indicator of fertility of arable sod-podzolic soils when applying fertilizers] // Eurasian Soil Science. 2018. No. 3. Pp. 331–337. DOI: 10.7868/S0032180X18030073. (In Russian.)
5. Gritz N. V., Dichensky A. V. Impact of agricultural landscape conditions on botanical composition of legume-bluegrass mixtures: An analytical system of monitoring the state of agrocenoses // Research on Crops. 2020. Vol. 21. No. 2. Pp. 231–236. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.040.
6. Kononchuk V. V., Shtyrkhunov V. D., Blagoveshchenskiy G. V., Timoshenko S. M., Nazarova T. O. Effektivnost' i optimizatsiya sistem udobreniya v sevooborotakh s raznoy doley mnogoletnikh trav na dernovo-podzolistoy pochve tsentra Nechernozemnoy zony Rossii [Efficiency and optimization of fertilizer systems in crops rotations with different performance of perennial grasses on the sod-podzolic soil of the center of the Non-Black-Zone of Russia] // Agricultural Chemistry. 2020. No. 7. Pp. 36–46. DOI: 10.31857/S0002188120070078. (In Russian.)

7. Kuz'menko N. N. Vliyanie sistem udobreniya na pokazateli plodorodiya dernovo-podzolistoy pochvy [Impact of fertilizer systems on fertility characteristics of soddy podzolic soil] // Vladimir Agricolist. 2021. No. 4. Pp. 10–14. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-4-10-14. (In Russian.)
8. Vnesenie udobreniy v krupnykh srednikh i malykh (bez mikropredpriyatiy) sel'khozorganizatsiyakh Kaluzhskoy oblasti. Statisticheskiy sbornik [Application of fertilizers in large medium and small (without micro-enterprises) agricultural organizations of the Kaluga region. Statistical collections]. Kaluga: Otdel ISU Kalugastata, 2021. 24 p. (In Russian.)
9. Sokolov N. A., D'yachenko O. V., Bab'yak M. A. Tendentsii biologizatsii zemledeliya Bryanskoy oblasti [Trends in the biology of agriculture in the Bryansk region] // Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2021. No. 2. Pp. 65–73. (In Russian.)
10. Chuyan N. A., Breskina G. M. Vliyanie priema biologizatsii na biologicheskoe sostoyanie organicheskogo veshchestva chernozema tipichnogo [Estimation of biological quality of organic matter of typical chernozem while using a greening practice] // Agricultural Chemistry. 2020. No. 9. Pp. 8–17. DOI: 10.31857/S0002188120090033. (In Russian.)
11. Postnikov P. A., Popova V. V., Vasina O. V., Tikhanskaya E. L. Ispol'zovanie yarovogo rapsa v kachestve sideral'noy kul'tury v usloviyakh Srednego Urala [Using spring rapeseed as a sideral crop in the Middle Urals conditions] // Vestnik KrasGAU. 2021. No. 5 (170). Pp. 20–27. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-20-27. (In Russian.)
12. Chulkov V. A., Chapalda T. L. Otsenka vliyaniya sideratov na biologicheskie svoystva chernozema opodzolenogo v zvene polevogo sevooborota [Evaluation of the influence of siderates on the biological properties of podzolized chernozem in the link of field crop rotation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 4 (207). Pp. 55–63. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-55-63. (In Russian.)
13. Postnikov P. A., Popova V. V. Vliyanie udobreniy na urozhaynost' kul'tur i vynos pitatel'nykh elementov v zernoparosideral'nom sevooborote [Influence of fertilizers on crop yields and the removal of nutrients elements in grain-steam-sideral crop rotation] // Agricultural Chemistry. 2021. No. 4. Pp. 42–48. DOI: 10.31857/S000218812104013X. (In Russian.)
14. Masalov V. N., Berezina N. A., Lobkov V. T., Bobkova Yu. A. Upravlenie plodorodiem pochv na osnove intensivatsii biologicheskikh faktorov v sistemakh zemledeliya [Soil fertility management based on the intensification of biological factors in farming systems] // Bulletin of agrarian science. 2021. No. 3 (90). Pp. 10–17. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.3.10. (In Russian.)
15. Novoselov S. I., Kuz'minykh A. N. Vliyanie vidov para i sposobov osnovnoy obrabotki pochvy na ee plodorodie i produktivnost' sevooborotov [Influence of vapor types and methods of basic treatment of soil on its fertility and productivity of crop rotation] // Vestnik Chuvash State Agricultural Academy. 2019. No. 3 (10). Pp. 42–48. DOI: 10.17022/tyem-sd29. (In Russian.)
16. Vikhoreva G. V., Shishkina S. V. Vliyanie priemov biologizatsii na povyshenie plodorodiya pochv Verkhnevolz'ya [Impact of biologization to increase soil fertility of the Upper Volga] // Vladimir Agricolist. 2022. No. 2 (100). Pp. 10–13. (In Russian.)
17. Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Cherkasov E. A., Volkova E. S. Rol' organicheskikh udobreniy (solomy, sideratov, pozhnivno-kornevykh ostatkov) v vosproizvodstve i sokhraneni ghumusa v pochve [The role of organic fertilizers (straw, green manure, crop-root remains) in humus reproduction and preservation in the soil] // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. No. 4. Pp. 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-53-58. (In Russian.)
18. Korzhov S. I., Solodovnikov A. P., Pimonov K. I., Nesmeyanova M. A. Vliyanie bobovykh kul'tur na plodorodie pochvy i produktivnost' sevooborotov [Influence of legumes on soil fertility and crop rotation productivity] // Agrochem herald. 2022. No. 3. Pp. 54–59. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-3-010. (In Russian.)
19. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]. Moscow: Kolos, 1973. 336 p. (In Russian.)

#### **Authors' information:**

Polina S. Semeshkina, candidate of agricultural sciences, deputy director, ORCID 0000-0001-8450-7105, AuthorID 432941; +7 910 869-72-03, [polina.semeshkina@gmail.com](mailto:polina.semeshkina@gmail.com)  
Ekaterina S. Borodina, researcher, ORCID 0000-0002-2687-1387, AuthorID 1043935; +7 999 983-40-28, [ekaterinapeliy@yandex.ru](mailto:ekaterinapeliy@yandex.ru)  
Kaluga Research Agriculture Institute – Branch of Russian Potato Research Centre, Kaluga Experimental Agricultural Station, Russia