


<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.249-256>

УДК 631:633.3 (571.1)

## Вклад многолетних кормовых культур в азотный баланс агроэкосистем Западной Сибири

© 2023. В. С. Бойко , Н. А. Воронкова, А. Ю. Тимохин, Н. Ф. Балабанова  
ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация

*В статье представлены результаты экспериментов, полученных в стационарных опытах на основе зерно-парового и зерно-травяного севооборотов на лугово-черноземной почве в условиях Омской области. Установлено влияние предшественников яровой пшеницы (люцерна 3-го года жизни и чистый пар) на отдельные элементы плодородия почвы и урожайность культуры. Выявлено, что при возделывании яровой пшеницы по пару в зернопаровом севообороте баланс азота отрицательный (-28 кг/га) с интенсивностью 66 %. В зерно-травяном севообороте при посеве пшеницы по пласту многолетних трав достигнут положительный баланс азота (+21,0 кг/га) с интенсивностью 119 %. Благоприятное влияние бобового компонента в севообороте на азотный режим почвы существенно увеличило урожайность яровой пшеницы на 0,5 т/га в сравнении с пшеницей, возделываемой в полевом севообороте по чистому пару. В аналогичных условиях проведены исследования на орошаемой лугово-черноземной почве в восьмипольном стационарном зерно-травяном севообороте. Изучен вынос азота урожаем различных многолетних трав, а также отзывчивость люцерны, костреца и донника параметрами продуктивности на уровень азотно-фосфорного питания. Текущая мобилизация азота в этих условиях под вегетирующим кострецом на фоне без удобрений составила 76 кг/га. При оптимизации фосфатного режима почвы этот показатель повышался до 99 кг/га. Вынос азота люцерной на аналогичных агрофонах увеличивался за счет симбиотически фиксированного азота соответственно на 89 и 193 кг/га, или в 2,2 и 2,9 раза. Люцерна и донник положительно реагировали на улучшение условий минерального питания ( $P_{60}N_{60-160}$ ). На люцерне 1-5 гг. жизни сбор зеленой массы и кормовых единиц увеличился до 40,56 и 7,00 т/га соответственно, или на 86 и 54 % относительно контроля без удобрений, при 82,76 ГДж обменной энергии на гектар. Продуктивность донника 2-го года жизни увеличилась до 30,85 т/га зеленой массы и 2,83 т/га кормовых единиц, или на 37 и 17 % относительно контроля.*

**Ключевые слова:** лугово-черноземная почва, баланс азота, содержание подвижного фосфора, многолетние травы, орошение

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № FNUN-2022-0015).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Бойко В. С., Воронкова Н. А., Тимохин А. Ю., Балабанова Н. Ф. Вклад многолетних кормовых культур в азотный баланс агроэкосистем Западной Сибири. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):249-256. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.249-256>

Поступила: 30.01.2023

Принята к публикации: 30.03.2023

Опубликована онлайн: 25.04.2023

## The contribution of perennial fodder crops to the nitrogen balance of agroecosystems in Western Siberia

© 2023. Vasily S. Boiko , Natalya A. Voronkova, Artem Yu. Timokhin,  
Natalya F. Balabanova

Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russian Federation

*The article presents the results of experiments obtained in stationary experiments on the basis of grain-fallow and grain-grass crop rotations on meadow-chernozem soil in the Omsk region. The influence of spring wheat precursors (alfalfa of the 3rd year of life and fallow) on individual elements of soil fertility and crop yield has been established. It was revealed that when cultivating spring wheat by fallow in the grain-fallow crop rotation, the nitrogen balance (-28 kg/ha) is negative with an intensity of 66 %. When sowing wheat in grain-grass crop rotation on a layer of perennial grasses, the nitrogen balance is positive (+21.0 kg/ha) and the intensity is 119 %. The favorable effect of the legume component in the crop rotation on the nitrogen regime of the soil significantly increased the yield of spring wheat by 0.5 t/ha in comparison with wheat cultivated in the field crop rotation by bare fallow. Under similar conditions, studies were carried out on irrigated meadow-chernozem soil in an eight-field stationary grain-grass crop rotation. The removal of nitrogen by the yield of various perennial grasses, as well as the responsiveness of alfalfa, bromus and sweet clover with productivity parameters to the level of nitrogen-phosphorus nutrition, were studied. The current mobilization of nitrogen under these conditions under the vegetative brome*

without fertilizers was 76 kg/ha. When optimizing the phosphate regime of the soil, this indicator increased to 99 kg/ha. The removal of nitrogen by alfalfa on similar agricultural backgrounds increases due to symbiotically fixed nitrogen, by 89 and 193 kg/ha, respectively, or 2.2 and 2.9 times. Alfalfa and sweet clover responded positively to the improvement of mineral fertilizing conditions ( $P_{60}N_{60-160}$ ). In alfalfa of the 1-5 year of life the collection of green mass and fodder units increased to 40.56 and 7.00 t/ha, respectively, or by 86 and 54 % relative to the control without fertilizers, with 82.76 GJ of exchange energy per hectare. The productivity of sweet clover of the 2nd year of life increased up to 30.85 t/ha of green mass and 2.83 t/ha of fodder units or by 37 u 17 % relative to the control.

**Keywords:** meadow-chernozem soil, nitrogen balance, content of mobile phosphorus, perennial grasses, irrigation

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Omsk Agricultural Scientific Center (theme No. FNUN-2022-0015).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Boiko V. S., Voronkova N. A., Timokhin A. Yu., Balabanova N. F. The contribution of perennial fodder crops to the nitrogen balance of agroecosystems in Western Siberia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):249-256. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.249-256>

Received: 30.01.2023

Accepted for publication: 30.03.2023

Published online: 25.04.2023

Основная парадигма современного земледелия – сохранение почвенного плодородия и получение максимально возможных урожаев сельскохозяйственных культур высокого качества. Это обеспечивается, прежде всего, рациональным применением удобрений и биологических ресурсов (растительных остатков, органических отходов различного происхождения, травосеяния) в составе ресурсо- и энергосберегающих технологий [1, 2, 3, 4].

Таковыми приемами можно нивелировать различия в балансе элементов минерального питания и органического вещества между природными и агрогенными экосистемами [5, 6]. В агроценозах на поступление и накопление растительной биомассы в почве влияет набор культур в севообороте, применение систем удобрения и обработки почвы [7, 8, 9, 10]. Существенная роль в пополнении органического вещества почвы, сохранении ее плодородия принадлежит многолетним травам и, прежде всего, бобовым. Положительное влияние их обусловлено способностью к фиксации биологического азота, накоплению в почве большого количества корневых и пожнивных остатков с высокой степенью их гумификации. Многолетние травы, имея развитую корневую систему, благотворно влияют на агрофизические показатели почвы, защищая ее от эрозии и дефляции [11, 12].

По мнению ряда авторов – Е. Н. Мишустина, Н. И. Черепкова [13], А. Е. Нагибина с соавторами [14], М. М. Сабитова [15] и др., эффективность многолетних трав как предшественников для других культур зависит от уровня их урожая, почвенно-климатических условий, вида трав и состава травосмесей, сроков и способов заделки пласта, засоренности

посевов и по влиянию на урожайность зерновых культур не уступает чистым парам.

Однако исследований, направленных на сравнительную оценку баланса азота в зерно-травяных и зернопаровых севооборотах, а также изучение выноса азота и продуктивности многолетних бобовых и бобово-мятликовых травостоев на лугово-черноземных почвах в условиях лесостепи Западной Сибири, недостаточно, что и послужило необходимостью изучения данного вопроса.

**Цель исследований** – изучить влияние условий минерального питания на азотный режим под многолетними бобовыми и бобово-мятликовыми травостоями на лугово-черноземных почвах в условиях лесостепи Западной Сибири.

**Новизна исследований** – получение новых научных данных на основе многолетних полевых экспериментов по балансу азота под многолетними травами на лугово-черноземных почвах Западной Сибири.

**Материал и методы.** Полевые эксперименты проводили в южной лесостепи Западной Сибири в четырёхпольном зерно-травяном (люцерна 1-3 года жизни – яровая мягкая пшеница – яровая мягкая пшеница – овес) и пятипольном зернопаровом (чистый пар – яровая мягкая пшеница – соя – яровая мягкая пшеница – яровой ячмень) севооборотах, заложенных в 1987-1988 гг.

Почва опытного участка лугово-черноземная, среднемошная, среднегумусная, тяжелоуглинистая. Исходное содержание гумуса в пахотном слое 6,4-6,6 % (по Тюрину), подвижный  $P_2O_5$  и обменный  $K_2O$  – соответственно 105-128 и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову), обменные  $Ca^{2+}$  – 89 и  $Mg^{2+}$  – 11 мг-экв/100 г

в поглощающем комплексе почвы,  $pH_{\text{сол}} 6,4-6,7$ . Повторность четырехкратная, общая площадь делянок 200 и 160 м<sup>2</sup>, учетная – 36 м<sup>2</sup>.

В аналогичных почвенно-климатических условиях проведены исследования на орошаемой лугово-черноземной почве. На фоне орошения дождеванием в полях, в том числе выводных, восьмипольного стационарного зернотравяного севооборота (1978 г. закладки) изучены параметры выноса азота с урожаем многолетних бобовых и мятликовых трав в различных вариантах удобрения почвы, а также отзывчивость люцерны, костреца и донника белого продуктивностью на уровень азотно-фосфорного питания.

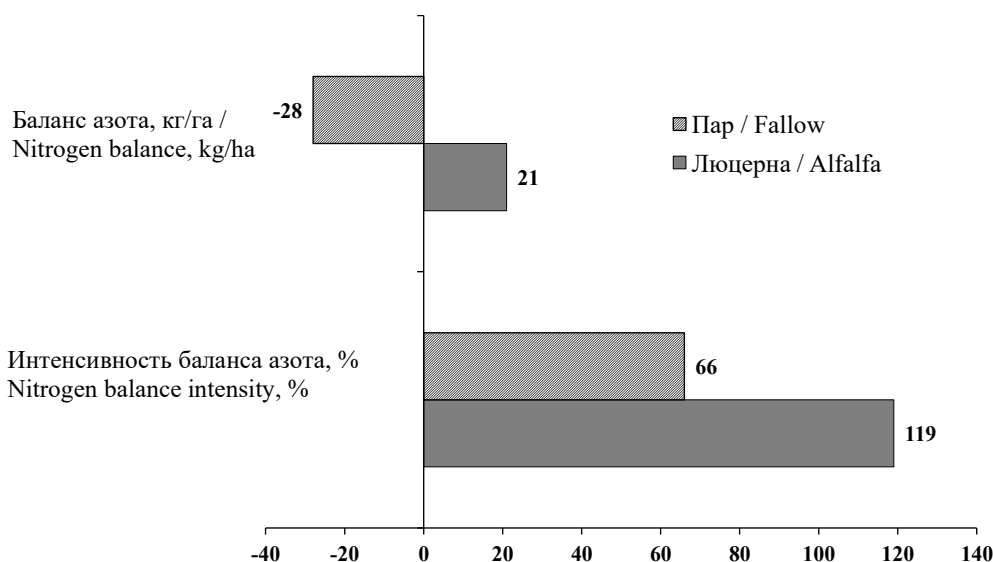
Почва орошаемого участка – лугово-черноземная тяжелосуглинистая, с исходным содержанием гумуса в пахотном слое 6,57 % и различной обеспеченностью подвижным фосфором (по Чирикову) на фонах: 0 – среднее содержание (50...100 мг/кг – естественный уровень); I – повышенное (100...150 мг/кг); II – высокое (150...200 мг/кг); III – очень высокое (более 200 мг/кг почвы). Фосфорсодержащие минеральные удобрения вносили под основную обработку почвы на все года пользования многолетних трав, азотные – в дозе N<sub>40-60</sub> дисковой сеялкой врезали до посева и под каждый укос в последующие годы жизни. Повторность в

опытах трехкратная, общая площадь делянки 360 м<sup>2</sup>, учетная – 78 м<sup>2</sup>.

Закладку опытов и обработку данных методом дисперсионного анализа осуществляли по Б. А. Доспехову<sup>1</sup>. Агрохимические анализы почвы и растений проводили общепринятыми стандартными методами. Баланс азота и его интенсивность рассчитывали по методике Е. П. Трепачева<sup>2</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Сравнительный анализ двух севооборотов (зернотравяного и зернопарового) показал, что в первом севообороте в приходной статье баланса органического вещества, кроме растительных остатков зерновых культур, большую долю составляла послеуборочная биомасса многолетних бобовых трав. Для учета вклада биологического азота растительных остатков в азотный режим лугово-черноземной почвы был рассчитан баланс данного макроэлемента и его интенсивность, по которой можно оценить уровень поступления и расхода азота.

Баланс азота в почве зернопарового и зернотравяного севооборотов существенно различался (рис. 1): в первом он был дефицитным (-28 кг/га) при интенсивности 66 %, в агроценозе с люцерной (50 % в севообороте) – профицитным (+21 кг/га) с интенсивностью 119 %.



*Рис. 1. Баланс и интенсивность баланса азота в севооборотах с чистым паром и люцерной (2000-2018 гг.) / Fig. 1. Balance and intensity of nitrogen balance in crop rotations with bare fallow and alfalfa (2000-2018)*

<sup>1</sup>Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

<sup>2</sup>Трепачев Е. П. О понятии «вынос азота» для бобовых культур. Агрехимия. 1979;(11):21-24.

Улучшение условий азотного питания растений объясняется, прежде всего, обогащением почвы растительными остатками люцерны 3 г. п., так как более 82 % в приходной статье баланса азота в зернотравяном севообороте приходится на растительные остатки данной культуры.

Стабильное функционирование почвенного покрова сельскохозяйственных ландшафтов, включающее оптимизированное сочетание физико-химических и биологических процессов в почве, определяет плодородие и продуктивность растений [16].

Пласт люцерны, как предшественник зерновых, в том числе яровой пшеницы, активизирует биологические процессы в почве. Общее количество микроорганизмов превышало паровой предшественник на 41 %, КАА – на 49 %, олигонитрофилов – на 48 %, нитрификаторов – на 37 %. При этом происходило увеличение активности катализирующих гидролитические процессы ферментов – инвертазы и уреазы на 13 и 27 % соответственно. Окислительно-восстановительные процессы, характеризующиеся

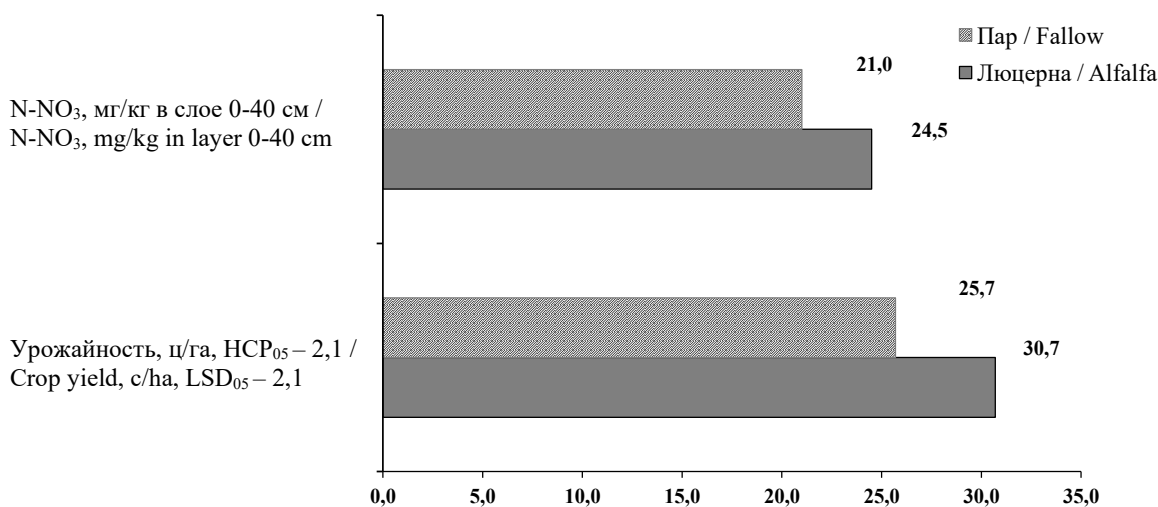
активностью каталазы, возрастали на 37 % в сравнении с паровым предшественником [17].

Активность целлюлозоразрушающей микробиоты зависит от содержания в почве доступных форм макроэлементов и отражает в целом направленность хода микробиологических процессов в почве [18]. Интенсивность разложения целлюлозы в лугово-черноземной почве возрастала на 48 % под пшеницей после люцерны в сравнении с паровым предшественником.

Нитрификационная способность почв, характеризующая потенциал легкоминерализуемых азотсодержащих органических веществ после распашки люцерны 3-го года жизни, на 67 % превышала паровой предшественник.

Поступление в почву свежего обогащенного азотом органического вещества способствовало повышению биологической активности и накоплению питательных веществ.

Содержание нитратного азота в почве перед посевом пшеницы после распашки бобового компонента было высоким, как и после парования, обеспечивая увеличение урожайности яровой мягкой пшеницы на 5,0 ц/га в сравнении с пшеницей по пару (рис. 2).



**Рис. 2. Влияние предшественника на содержание нитратного азота в почве и урожайность зерна яровой мягкой пшеницы (в среднем за 2000-2018 гг.) /**

**Fig. 2. Influence of preceding crop on the content of nitrate nitrogen in the soil and grain yield of spring soft wheat (on average for 2000-2018)**

На среднеобеспеченной подвижным фосфором орошаемой лугово-черноземной почве азот нитрификации использовался мятликовой культурой (кострец безостый) в количестве 76 кг/га, при повышенной обеспеченности фосфором – 99 кг/га (табл. 1).

Люцерна 2-4 года жизни на аналогичных агрофонах увеличивала вынос азота за счет симбиотической фиксации его диазототрофами на 89 и 193 кг/га, или в 2,2 и 2,9 раза. Вынос

азота в контроле (без внесения минерального азота) составил 265 кг/га в среднем по фонемам обеспеченности P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, что втрое больше выноса его кострецом безостым на аналогичном фоне.

Донник 2 года жизни в варианте без удобрений при одноукосном использовании выносил 110 кг/га азота, а на фоне оптимизации фосфорного и азотного питания – 124 и 129 кг/га соответственно.

*Таблица 1 – Вынос азота с урожаем зеленой массы многолетних трав, кг/га / Table 1 – Removal of nitrogen with the yield of green mass of perennial grasses, kg/ha*

Норма внесения азота, кг/га / Nitrogen application dose, kg/ha	Фон обеспеченности P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> availability background			
	средний / medium	повышенный / increased	высокий / high	очень высокий / very high
<i>Люцерна 2-4 г. жизни, 1988-1990 г. / Alfalfa of the 2-4 years of life, 1988-1990</i>				
0	165	292	300	303
160	152	326	324	308
Изменение выноса от азотных удобрений, % / Change in removal from nitrogen fertilizers, %				
-	-8	11	8	2
<i>Кострец безостый 2-5 г. жизни, 1987-1990 г. / Bromus of the 2-5 years of life, 1987-1990</i>				
0	76	99	85	79
160	146	187	178	182
Увеличение выноса от бобовой культуры / Increasing nitrogen removal from legumes				
0	89	193	215	224
160	6	139	146	126
<i>Донник белый 2 г. жизни, 1 укос, среднее за 1987-1990 г. / Sweet clover of the 2nd year of life, 1 cut, average for 1987-1990</i>				
0	110	119	124	120
60	106	127	129	130
Изменение выноса от азотных удобрений, % / Change in removal from nitrogen fertilizers, %				
-	-4	7	4	8

Примечание. Норма внесения азота (160 кг д. в.) под люцерну и кострец включает ежегодное его применение под каждый из трех укосов (N<sub>60+60+40</sub>) /

Note. Nitrogen application rate (160 kg a. i.) for alfalfa and bromus includes its annual application for each of the three cuttings (N<sub>60+60+40</sub>)

Азотные удобрения на бобовых травах прошлых лет посева, судя по выносу, малоэффективны. Вынос азота люцерной увеличился на 24-34 кг/га (8-11 %), донником – на 5-10 кг/га (4-8 %) к соответствующим контролям.

Вынос азота кострецом безостым под влиянием азотных удобрений, в сравнении с контролем, удваивается. Максимальным он был на фоне с повышенной обеспеченностью фосфором – 187 кг/га, что на 28 % больше, чем в варианте с внесением азотных удобрений при средней обеспеченности почвы подвижным фосфором.

Многолетние бобовые травы (люцерна и донник) высокопродуктивны и положительно реагируют на улучшение условий минерального питания, особенно фосфором. На люцерне 1-5 г. жизни сбор зеленой массы и кормовых единиц увеличился до 40,56 и 7,00 т/га соответственно,

или на 86 и 54 %, при 82,76 ГДж обменной энергии на гектар (табл. 2).

Донник 2-го года жизни в этих условиях также энергетически высокоэффективен – продуктивность культуры увеличивается до 30,85 т/га зеленой массы, в том числе 2,83 т/га кормовых единиц при 22,58 и 2,42 т/га соответственно в контроле, получено 44,72 ГДж/га обменной энергии при коэффициенте энергетической эффективности – 2,96. Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином в сухом веществе донника белого во 2 г. ж. достигает 200 г.

Кострец менее эффективен по показателям продуктивности в сравнении с бобовыми травами. Однако оптимизация азотно-фосфорного питания на орошаемом фоне повышает его кормовую и энергетическую ценность до конкурентных значений.

Таблица 2 – Продуктивность многолетних трав в зависимости от условий выращивания / Table 2 – Productivity of perennial grasses depending on growing conditions

Культура / Crop	Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	Среднеудобренный фон (P <sub>60</sub> N <sub>60-160</sub> ) / Medium fertilized background (P <sub>60</sub> N <sub>60-160</sub> )
<i>Люцерна 1-4 гг. жизни, 1987-1990 гг. / Alfalfa of the 1-4 years of life, 1987-1990</i>		
Зеленая масса, т/га / Biomass, t/ha	21,80	40,56
Кормовые единицы, т/га / Feed units, t/ha	4,54	7,00
Обменная энергия в урожае, ГДж/га / Exchange energy in the yield, GJ/ha	55,44	82,76
Коэффициент энергетической эффективности / Energy efficiency factor	2,92	3,76
<i>Кострец 1-5 гг. жизни, 1986-1990 гг. / Bromus of the 1-5 years of life, 1986-1990</i>		
Зеленая масса, т/га / Biomass, t/ha	13,62	32,03
Кормовые единицы, т/га / Feed units, t/ha	2,14	4,95
Обменная энергия в урожае, ГДж/га / Exchange energy, GJ/ha	29,99	68,89
Коэффициент энергетической эффективности / Energy efficiency factor	1,80	2,43
<i>Донник белый 2 г. жизни, среднее за 1987-1990 гг. / Sweet clover of the 2nd year of life, average for 1987-1990</i>		
Зеленая масса, т/га / Biomass, t/ha	22,58	30,85
Кормовые единицы, т/га / Feed units, t/ha	2,42	2,83
Обменная энергия в урожае, ГДж/га / Exchange energy the yield, GJ/ha	37,58	44,72
Коэффициент энергетической эффективности / Energy efficiency factor	2,81	2,96

**Выводы.** В агроценозах южной лесостепи Западной Сибири в связи с низким уровнем применения удобрений очевиден дефицит элементов минерального питания. Установлено, что при введении в севооборот бобового компонента (50 %) улучшается азотный режим почвы и продуктивность агроценоза. В зерно-травяном севообороте при посеве яровой пшеницы по пласту люцерны формируется положительный баланс азота (+21,0 кг/га) с интенсивностью 119 %. Урожайность яровой пшеницы по пласту многолетних бобовых трав

на 19 % выше в сравнении с чистым паром. В условиях орошения вынос азота многолетними бобовыми травами (люцерна) увеличивается до 300 кг/га за счет симбиотической фиксации. Основным условием является улучшение питания фосфором.

Средообразующая роль многолетних бобовых и бобово-мятликовых травостоев на неполивных и орошаемых лугово-черноземных почвах лесостепи Западной Сибири заключается в сохранении плодородия на высоком уровне.

#### Список литературы

1. Гамзиков Г. П., Сулейменов С. З. Влияние биомассы растений на азотный режим серой лесной почвы и продуктивность полевых культур. Российская сельскохозяйственная наука. 2020;(4):32-36. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262720040080> EDN: YBDCAS
2. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации. М.: РАН, 2019. 252 с.
3. Blanchet G., Gavazov K., Bragazza L., Sinaj S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. Agric. Ecosyst. Environ. 2016;230:116-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.032>
4. Тютюнов С. И., Воронин А. Н., Соловиченко В. Д. Биологизация земледелия как фактор повышения содержания органического вещества в почве и роста продуктивности культур. Сахарная свекла. 2019;(7):32-35. DOI: <https://doi.org/10.25802/SB.2019.57.65.007> EDN: QUHIRD
5. Сычев В. Г., Налиухин А. Н., Шевцова Л. К., Рухович О. В., Беличенко М. В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России. Почвоведение. 2020;(12):1521-1536. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138> EDN: QUGQQM

6. Милащенко Н. З., Шкуркин С. И., Чернова Л. С., Трушкин С. В. Экологически безопасная интенсификация зональных технологий для увеличения производства продовольственного зерна пшеницы. *Плодородие*. 2021;(4):63-65. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.19> EDN: BRNRJA
7. Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Юшкевич Л. В. Содержание органического вещества в лугово-черноземной почве при различных системах обработки. *Плодородие*. 2021;(6):13-16. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.04> EDN: ENJWLX
8. 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):594-601. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601> EDN: BEVVCY
9. Кравцова Е. В., Рудакова Л. В. Изменение агрохимических показателей чернозема обыкновенного под влиянием сидеральных культур. *Аграрный вестник Урала*. 2019;(4):12-19. DOI: [https://doi.org/10.32417/article\\_5cf94d7fa5cc35.98074134](https://doi.org/10.32417/article_5cf94d7fa5cc35.98074134) EDN: XOPUDM
10. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability*. 2017;9(12):2316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
11. Постников П. А., Попова В. В., Данько Е. Ф., Васина О. В. Урожайность культур, вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте. *Плодородие*. 2022;(3):16-19. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.04> EDN: URSFJO
12. Постников П. А., Бородулина Ф. А., Васина О. В., Тиханская Е. Л. Продуктивность севооборотов с различным насыщением клевером в зависимости от фона питания. *Земледелие*. 2022;(2):15-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48158285> EDN: PICCDH
13. Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Роль бобовых культур и свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов азотном балансе земледелия. *Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрение-вода*. М.: Наука, 1979. С. 9-17.
14. Нагибин А. Е., Тормозин М. А., Зырянцева А. А. Травы в системе кормопроизводства. Екатеринбург, 2018. 784 с.
15. Сабитов М. М. Влияние многолетних трав на повышение плодородия почв и продуктивности зерновых культур. *Агрохимический вестник*. 2019;(5):50-54. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41121002> EDN: MGOIIE
16. Griffiths B. S., Bonkowski M., Roy J., Ritz K. Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts. *Applied Soil Ecology*. 2001;16(1):49-61. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00081-0)
17. Козлов А. В., Куликова А. Х., Селицкая О. В., Уромова И. П. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019;(46):26-47. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/46/2> EDN: MBNMZC
18. Shuliko N. N., Khamova O. F., Timokhin A. Y., Boiko V. S., Tukmacheva E. V., Krempe A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chnozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer. *Sci Rep*. 2022;12(1):14672. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>

### References

1. Gamzikov G. P., Suleymenov S. Z. Influence of plant biomass on nitrogen soil mode and productivity of field crops. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(4):32-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262720040080>
2. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Ecology of nitrogen fixation. Moscow: RAN, 2019. 252 p.
3. Blanchet G., Gavazov K., Bragazza L., Sinaj S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016;230:116-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.032>
4. Tyutyunov S. I., Voronin A. N., Solovichenko V. D. Biologization of agriculture as a factor of increasing the content of organic matter in the soil and the growth of crop productivity. *Sakharnaya svekla*. 2019;(7):32-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25802/SB.2019.57.65.007>
5. Sychev V. G., Naliukhin A. N., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V., Be-lichenko M. V. Influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2020;(12):1521-1536. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138>
6. Milashchenko N. Z., Shkurkin S. I., Chernova L. S., Trushkin S. V. Environmentally safe intensification of zonal technologies as an opportunity to increase the production of food grain wheat. *Plodorodie*. 2021;(4):63-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.19>
7. Voronkova N. A., Balabanova N. F., Yushkevich L. V. The content of organic matter in meadow-chnozem soil under various treatment systems. *Plodorodie*. 2021;(6):13-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.04>

8. 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. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(6):594-601. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>
9. Kravtsova E. V., Rudakova L. V. Change of agrochemical indicators the chernozem ordinary under the influence of sideralny cultures. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;(4):12-19. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.32417/article\\_5cf94d7fa5cc35.98074134](https://doi.org/10.32417/article_5cf94d7fa5cc35.98074134)
10. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability*. 2017;9(12):2316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
11. Postnikov P. A., Popova V. V., Danko E. F., Vasina O. V. Crop yield, removal and balance of nutrition elements in the grain crop rotation. *Plodorodie*. 2022;(3):16-19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48158285>
12. Postnikov P. A., Borodulina F. A., Vasina O. V., Tikhanskaya E. L. Productivity of crop rotations with different clover saturation depending on the nutrition background. *Zemledelie*. 2022;(2):15-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48158285>
13. Mishustin E. N., Cherepkov N. I. The role of legumes and free-living nitrogen-fixing micro-organisms in the nitrogen balance of agriculture. Nitrogen cycle and balance in the soil-fertilizer-water system. Moscow: *Nauka*, 1979. pp. 9-17.
14. Nagibin A. E., Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Herbs in the feed production system. Ekaterinburg, 2018. 784 p.
15. Sabitov M. M. Influence of perennial grasses to increase the fertility and productivity of grain crops. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(5):50-54. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41121002>
16. Griffiths B. S., Bonkowski M., Roy J., Ritz K. Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts. *Applied Soil Ecology*. 2001;16(1):49-61. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00081-0)
17. Kozlov A. V., Kulikova A. Kh., Selitskaya O. V., Uromova I. P. Stability of microbiological activity of the sod-podsolic soil when applying diatomite and zeolite. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology. 2019;(46):26-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/46/2>
18. Shuliko N. N., Khamova O. F., Timokhin A. Y., Boiko V. S., Tukmacheva E. V., Krempe A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer. *Sci Rep*. 2022;12(1):14672. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>

#### **Сведения об авторах**

✉ **Бойко Василий Сергеевич**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4871-231X>, e-mail: [boiko@anc55.ru](mailto:boiko@anc55.ru)

**Воронкова Наталья Артемовна**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4797-9765>

**Тимохин Артем Юрьевич**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

**Балабанова Наталья Федоровна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1445-2203>

#### **Information about the authors**

✉ **Vasily S. Boiko**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4871-231X>, e-mail: [boiko@anc55.ru](mailto:boiko@anc55.ru)

**Natalya A. Voronkova**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4797-9765>

**Artem Yu. Timokhin**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

**Natalya F. Balabanova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: [55asc@bk.ru](mailto:55asc@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1445-2203>

✉ – Для контактов / Corresponding author