

Общее земледелие и растениеводство / General Agriculture and Crop Production

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-3-1598](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1598)

EDN: JJNLGI

УДК 579.2:633.1:633.31:631.8



Активность агрономически ценных эколого-трофических групп почвенной микробиоты под воздействием природных и агрогенных факторов

Н.Н. Шулико, А.Ю. Тимохин, А.А. Киселёва,
Е.В. Тукмачева, М.С. Шаповал

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Омский аграрный научный центр», Омск,
Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Исследования проводили на базе длительных (с 1978 г.) стационарных опытов лаборатории полевого кормопроизводства ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» в восьмипольном зернотравяном севообороте с твердой пшеницей, ячменем яровым и люцерной. Влияние минеральных удобрений на состав и количество почвенных микроорганизмов остаётся дискуссионным. Это обуславливает необходимость локальных исследований в различных почвенно-климатических зонах.

Цель – определить изменение микробиологических и агрохимических свойств почвы стационарного опыта при внесении азотных и фосфорных минеральных удобрений, определить урожайность культур, возделываемых в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: культура севооборота (фактор А) – ячмень (*Hordeum* L.) сорта Омский 100, твёрдая пшеница (*Triticum durum*) сорта Омский лазурит, люцерна (*Medicago sativa*) сортов Алексис и Флора 6; удобрения (фактор В) – N_0P_0 (без удобрений, контроль), N_{60} , P_{60} , $N_{60}P_{60}$. Данная система позволяет смоделировать различные условия азотно-фосфорного питания, по сравнению с контролем (без удобрений). Азотные и фосфорные удобрения вносили в соответствующих вариантах до посева сеялкой СЗ-3,6. Размещение делянок систематическое. Площадь элементарных

делянок 360 м² (18х20). Повторность – трёхкратная. Учет численности микроорганизмов проводили на селективных питательных средах согласно общепринятым методикам. Азот нитратов определяли по Грандваль-Ляжу с дисульфифеноловой кислотой. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли в программах Microsoft Excel, Statistica 10.0. Долю влияния факторов оценивали при $p \leq 0,05$ согласно дисперсионному анализу.

Результаты. По результатам исследований установлено, что на фоне внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры увеличивается численность общей почвенной биоты, в большей степени на твердой пшенице (39% к контролю). Под влиянием азотно-фосфорных удобрений ($N_{60}P_{60}$) в почве под посевом твердой пшеницы отмечен рост бактерий аммонификаторов на 26%, применение P_{60} активировало тестируемую группу на 22% к контролю на люцерне сорта Флора 6. Стимуляция амилалитических микроорганизмов отмечается на фосфорном фоне под ячменем (12%). Максимальные показатели роста изучаемых бактерий зафиксированы при комплексном внесении удобрений под твердую пшеницу и люцерну сорта Флора 6, составляя 59 и 31% соответственно в сравнении с контрольным вариантом. Под воздействием минеральных удобрений наблюдается усиление иммобилизационных процессов, в наибольшей степени под ячменем и пшеницей на фоне N_{60} (коэффициент иммобилизации – 2,1-1,8), у люцерны сорта Алексис при внесении $P_{60(1,3)}$. Коэффициент трансформации органического вещества почвы выше на азотном фоне под посевом ячменя и пшеницы, составляя 84,8-85,1. В течение периода вегетации содержание азота нитратов в почве варьировало от очень низкого до высокого, увеличиваясь при комплексном применении минеральных удобрений на твердой пшенице до 20,2-27,1 мг/кг. Максимальная прибавка урожайности получена при применении фосфорных удобрений, основное внесение P_{60} обеспечивало прибавку 1,30 т/га зерна ячменя и 1,11 т/га зерна твердой пшеницы, тогда как применение подкормок фосфорсодержащим удобрением в период возобновления вегетации люцерны повышало урожайность на 0,29-0,39 т/га сухого вещества или 3,12-3,51 т/га зеленой массы. Между численностью микромицетов и урожайностью ячменя установлена корреляционная зависимость сильной степени ($r=0,77$).

Ключевые слова: почвенная микробиота; минеральные удобрения; питательный режим; трансформация органического вещества почвы; урожайность

Для цитирования. Шулико, Н. Н., Тимохин, А. Ю., Киселёва, А. А., Тукмачева, Е. В., & Шаповал, М. С. (2026). Активность агрономически ценных эколого-трофических групп почвенной микробиоты под воздействием природных и агрогенных факторов. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(3), 214–232. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1598>

Activity of agronomically valuable ecological-trophic groups of soil microbiota under the influence of natural and agrogenic factors

N.N. Shuliko, A.Y. Timokhin, A.A. Kiseleva,
E.V. Tukmacheva, M.S. Shapoval

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation

Abstract

Background. The research was carried out on the basis of long-term (since 1978) stationary experiments of the field feed production laboratory of the Omsk Agricultural Research Center in an eight-field grain and grass crop rotation with durum wheat, spring barley and alfalfa. The effect of mineral fertilizers on the composition and quantity of soil microorganisms remains controversial. This necessitates local research in various soil and climatic zones.

The **purpose** is to determine the change in the microbiological and agrochemical properties of the soil of a stationary experiment with prolonged agrogenic exposure, to determine the yield of crops cultivated in the conditions of the Omsk Irtysh region.

Materials and methods. The experimental scheme involved the study of the following options: crop rotation crop (factor A) – barley (*Hordeum* L.) varieties Omsk 100, durum wheat (*Triticum durum*) varieties Omsk lapis lazuli, alfalfa (*Medicago sativa*) varieties Alexis and Flora 6; fertilizers (factor B) – N_0P_0 (without fertilizers, control), N_{60} , P_{60} , $N_{60}P_{60}$. This system allows you to simulate different conditions of nitrogen-phosphorus nutrition, compared with the control (without fertilizers). Nitrogen and phosphorus fertilizers were applied in the appropriate variants before sowing with a seed drill SZ-3,6. The placement of plots is systematic. The area of the elementary plots is 360 m² (18x20). The repetition is threefold. The number of microorganisms was recorded on selective nutrient media according to generally accepted methods. The nitrogen of the nitrates was determined by Grandvalge with disulfophenolic acid. Statistical processing of the obtained results was carried out in the programs Microsoft Excel, Statistica 10.0. The proportion of influence of factors was estimated at $p < 0.05$ according to the analysis of variance.

Results. The results showed that the application of fertilizers to agricultural crops increases the abundance of total soil biota, especially in durum wheat (39% of the control). Under the influence of nitrogen-phosphorus fertilizers ($N_{60}P_{60}$), a 26% increase in ammonifying bacteria was observed in the soil under durum wheat; the use of P_{60} activated the test group by 22% compared to the control on the Flora 6 alfalfa variety. Stimulation of amylolytic microorganisms was noted against a phosphorus background

under barley (12%). The maximum growth rates of the studied bacteria were recorded with complex application of fertilizers under durum wheat and alfalfa of the Flora 6 variety, amounting to 59 and 31%, respectively, compared to the control variant. Under the influence of mineral fertilizers, an increase in immobilization processes is observed, to the greatest extent under barley and wheat against a background of N_{60} (immobilization coefficient of 2.1-1.8), in alfalfa of the Alexis variety with the application of P_{60} (1.3). The soil organic matter transformation coefficient was higher under nitrogen conditions for barley and wheat, reaching 84.8-85.1. During the growing season, nitrate nitrogen content in the soil varied from very low to high, increasing to 20.2-27.1 mg/kg with the combined use of mineral fertilizers for durum wheat. The maximum increase in yield was obtained with the use of phosphorous fertilizers, the main application of P_{60} provided an increase of 1.30 t/ha of barley grain and 1.11 t/ha of durum wheat grain, while the use of top dressing with phosphorus-containing fertilizer during the resumption of alfalfa vegetation increased yields by 0.29-0.39 t/ha of dry matter or 3.12-3.51 t/ha of green mass. A strong correlation ($r = 0.77$) was established between the number of micromycetes and barley yield.

Keywords: soil microbiota; mineral fertilizers; nutrient regime; soil organic matter transformation; yield

For citation. Shuliko, N. N., Timokhin, A. Y., Kiseleva, A. A., Tukmacheva, E. V., & Shapoval, M. S. (2026). Activity of agronomically valuable ecological-trophic groups of soil microbiota under the influence of natural and agrogenic factors. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(3), 214–232. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1598>

Введение

В условиях интенсификации сельского хозяйства крайне важно рационально использовать, сохранять и улучшать земельные ресурсы. Главным образом это актуально при внедрении таких технологий, как орошение, применение химических средств и удобрений [7; 15].

Почва представляет собой ключевой ресурс для жизнедеятельности микроорганизмов, обеспечивая их энергией и необходимыми веществами. Микробиологические параметры почвы выступают чувствительным индикатором её качества, что делает их незаменимым инструментом для оценки плодородия [14]. В связи с этим изучение микробиоты почвы привлекает всё большее внимание исследователей [6; 8; 9].

Активность почвенных микроорганизмов определяется комплексом внешних факторов, среди которых особое место занимают минеральные удобрения. Научные данные по этому вопросу неоднозначны: ряд исследо-

ваний демонстрирует, что длительное использование удобрений способно существенно повысить численность бактерий, грибов и актиномицетов [20]. Аналогичные закономерности выявлены Ли Куаньином и соавторами: однократное внесение минеральных удобрений приводит к существенному увеличению численности бактерий, грибов и актиномицетов и доминированию бактериального сообщества в структуре почвенного микробиома [17].

Противоположные результаты показывают, что при таком подходе растёт количество бактерий, но снижается численность микроскопических грибов [18]. Некоторые работы вовсе не обнаруживают значимого воздействия удобрений на структуру микробных сообществ [19].

Другими исследованиями установлено, что любые варианты удобрения (в сравнении с контрольным вариантом без внесения удобрений) способствуют росту микробной популяции. Максимально выраженный эффект наблюдался при комбинированном применении навоза, минеральных удобрений и сидерата – в этом случае численность микроорганизмов достоверно превышала контрольные значения [16].

Таким образом, влияние минеральных удобрений на состав и количество почвенных микроорганизмов остаётся дискуссионным. Это обуславливает необходимость локальных исследований в различных почвенно-климатических зонах.

Целью исследований являлось выявление изменения микробиологических и агрохимических свойств почвы стационарного опыта при внесении азотных и фосфорных минеральных удобрений, определить урожайность культур, возделываемых в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы

Исследования проводили на базе длительного (с 1978 г.) стационарного опыта в восьмипольном севообороте в ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омская область, Омский район) в условиях лесостепи Омского Прииртышья в 2024-2025 гг.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: культура севооборота (фактор А) – ячмень (*Hordeum* L.) сорта Омский 100, твёрдая пшеница (*Triticum durum*) сорта Омский лазурит, люцерна (*Medicago sativa*) сортов Алексис и Флора 6; удобрения (фактор В) – N_0P_0 (без удобрений, контроль), N_{60} , P_{60} , $N_{60}P_{60}$. Данная система позволяет смоделировать различные условия азотно-фосфорного питания, по сравнению с контролем (без удобрений). Азотные и фосфорные удобрения вносили в соот-

ветствующих вариантах до посева сеялкой СЗ-3,6. Размещение делянок систематическое. Площадь элементарных делянок 360 м² (18х20). Повторность – трёхкратная.

Почва – лугово-черноземная, среднемощная, тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0-0,4 м – 5,9-6,4 %, мощность гумусового горизонта «А» – 0,45 м. Реакция почвенной среды в пахотном слое нейтральная – pH 7,0-7,2. Содержание нитратного азота в слое 0-0,4 м среднее – 9,6-12,2 мг/кг, подвижного фосфора на контроле в слое 0-0,2 м среднее (по Чирикову) – до 100 мг/кг, обменного калия в слое 0-0,2 м очень высокое – более 180 мг/кг почвы. Глубина залегания грунтовых вод – 3,5 м [14].

Учет численности микроорганизмов проводили на селективных питательных средах согласно общепринятым методикам [10]. Для определения влияния минеральных удобрений на структуру микробного сообщества дополнительно были рассчитаны следующие показатели: коэффициент минерализации азота, отражающий соотношение бактерий, минерализующих азот, и бактерий-аммонификаторов, $K_{мин} = [КАА]/[МПА]$; коэффициент иммобилизации азота, отражающий соотношение бактерий-аммонификаторов и бактерий, минерализующих азот $K_{иммоб} = [МПА]/[КАА]$; коэффициент олиготрофности – соотношение микроорганизмов, растущих на голодном и мясо-пептонном агаре $Колиг = [ГА]/[МПА]$. Азот нитратов определяли по Грандваль-Ляжу с дисульфопеноловой кислотой [1].

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли в программах Microsoft Excel, Statistica 10.0. Долю влияния факторов оценивали при $p \leq 0,05$ согласно дисперсионному анализу.

Результаты и обсуждение

Почвенная микробиота представляет собой динамичную и разнообразную экосистему, которая участвует в важнейших биогеохимических процессах и играет огромную роль в поддержании биологического равновесия [13].

Биоразнообразие почвенных микроорганизмов в стационарном опыте варьировало в зависимости от метеоусловий, варианта опыта, изучаемой культуры и внесения минеральных удобрений.

Под влиянием азотно-фосфорных удобрений ($N_{60} P_{60}$) в почве под посевом твердой пшеницы отмечается рост бактерий аммонификаторов на 26%, применение P_{60} активировало тестируемую группу на 22% к контролю на люцерне сорта Флора 6. Стимуляция амилалитических микроорганизмов отмечается на фосфорном фоне под ячменем (12%). Максимальные показа-

тели роста изучаемых бактерий зафиксированы при комплексном внесении удобрений под твердую пшеницу и люцерну сорта Флора 6, составляя 59 и 31% соответственно в сравнении с контрольным вариантом (таблица 1).

Таблица 1.

**Численность микроорганизмов лугово-черноземной почвы
под посевом сельскохозяйственных культур, КОЕ/г (n=6)**

**Table 1. Microorganism population in meadow-chernozem soil under agricultural crops,
CFU/g (n=6)**

Вариант	Ячмень				Твердая пшеница				Люцерна				НСР ₀₅ ^{A*} / доля влияния фактора	НСР ₀₅ ^B / доля влияния фактора	НСР ₀₅ ^{AB} / доля влияния фактора
	Контроль	N ₆₀	P ₆₀	N P _{60 60}	Контроль	N ₆₀	P ₆₀	N P _{60 60}	сорт Алексис		сорт Флора 6				
									Контроль	P ₆₀	Контроль	P ₆₀			
Сапротрофные бактерии на МПА, млн	28,1	27,5	23,9	26,8	24,0	29,9	23,7	30,3	27,2	29,5	26,2	32,1	5,0/ 51,0	3,6/ 8,8	7,1/ 40,5
Амилолитические микроорганизмы на КАА, млн	16,8	13,2	18,9	16,0	16,5	16,2	21,5	26,3	27,9	23,2	24,2	31,8	8,8/ 64,9	6,3/ 16,5	12,5/ 18,7
Олиготрофные микроорганизмы, млн	29,4	24,8	30,5	32,6	24,2	31,8	22,2	37,2	31,5	32,0	30,2	30,1	6,4/ 96,7	4,5/ 0,1	9,1/ 3,2
Микромицеты, тыс.	65,6	64,2	78,9	62,9	33,2	42,5	36,4	30,9	44,6	26,3	44,6	38,2	21,4*/ 86,4	15,1/ 1,1	30,2/ 12,5

Примечание: здесь и далее, N₆₀, P₆₀, N₆₀P₆₀ - вносимые под культуры дозы удобрений; *НСР₀₅ - достоверно при 0,05 уровне значимости; НСР₀₅^A - культура, НСР₀₅^B - удобрение, НСР₀₅^{AB} - взаимодействие факторов.

Олиготрофные почвенные микроорганизмы способствуют разложению органики, что приводит к высвобождению минеральных элементов питания. В наших исследованиях, на фоне внесения минеральных удобрений N₆₀P₆₀ под зерновые культуры, отмечается рост олиготрофов на 11-54% по отношению к неудобренному варианту опыта. Это связано с тем, что удобрения меняют условия обитания микроорганизмов и их сообщество быстро реагирует на изменения в среде обитания.

Отдельные виды грибов обладают способностью к биodeградации остаточных количеств пестицидов и иных ксенобиотиков в почве. Данные микроорганизмы играют существенную роль в процессах иммобилизации и сохранения питательных веществ, предотвращают их потери из ризосферы [12].

В условиях влажного вегетационного периода отмечено активное развитие микромицетов. Численность изучаемой группы возрастает под посевом ячменя на фоне фосфорных удобрений (+20% к контролю) и твердой пшеницы при внесении азотных удобрений (+26% к контролю).

В наибольшей степени в течение вегетационного периода улучшение азотного питания стимулирует рост агрономически ценных микроорганизмов в почве под посевом твердой пшеницы – на 39%, улучшение фосфорного питания у сортов люцерны – на 16% (рисунок 1).

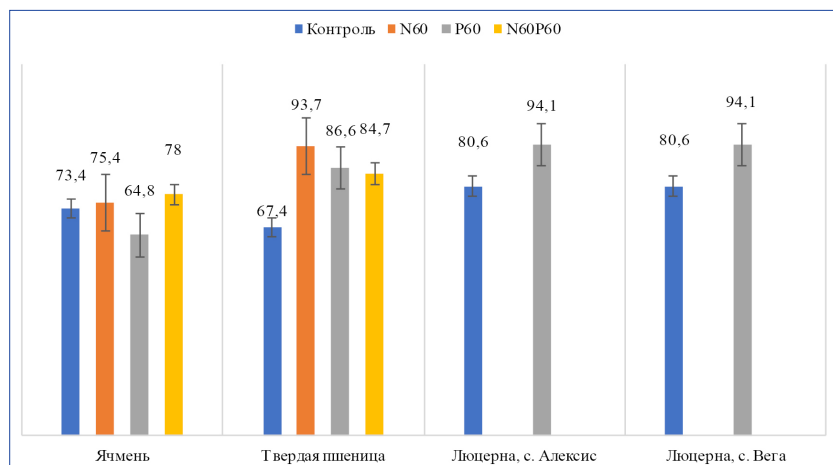


Рис. 1. Общая численность определяемых микроорганизмов в лугово-черноземной почве под посевом сельскохозяйственных культур, млн. КОЕ/г ($HCP_{05}A=8,1^*$, $HCP_{05}B=5,7^*$, $HCP_{05}AB=11,4^*$)

Fig. 1. Total number of identifiable microorganisms in meadow-chernozem soil under agricultural crops, million CFU/g ($NSR_{05}A=8.1^*$, $NSR_{05}B=5.7^*$, $NSR_{05}AB=11.4^*$)

Качественный и количественный состав почвенной биоты является важнейшим фактором, от которого зависит уровень плодородия почвы. Известно, что наряду с минерализацией органических соединений в почве и переводом их в доступные для растений формы, протекает не менее важный процесс – иммобилизация [4; 5].

Установлено, что под воздействием минеральных удобрений происходит усиление иммобилизационных процессов, в наибольшей степени под ячменем и пшеницей на фоне N_{60} (2,1-1,8), у люцерны сорта Алексис при внесении P_{60} (1,3), что обусловлено многочисленностью группы сапротрофов в этих вариантах (таблица 1). Этот процесс важен в плане сохранения

азота от вымывания вниз по почвенному профилю. Стоит отметить, что данная тенденция (преимущество иммобилизационных процессов) согласуется с предыдущими нашими исследованиями [14].

По данным численности бактерий культивируемых на средах КАА и МПА рассчитан коэффициент минерализации. Максимальное обилие амилитических микроорганизмов в почве отмечается лишь в варианте P_{60} сорта Флора 6 (люцерна), что свидетельствует о высокой (>1) степени минерализации азота. На остальных изучаемых вариантах и культурах значения коэффициента минерализации ниже единицы.

Таблица 2.

Интенсивность и направленность процессов в почве под посевом сельскохозяйственных культур в лугово-черноземной почве, $n=6$

Table 2. Intensity and Direction of Soil Processes Under Agricultural Crops in Meadow-Chernozem Soil, $n=6$

Вариант	$K_{имм}$	$K_{мин}$	$K_{олиг}$	Пм
Ячмень				
Контроль	1,7	0,6	1,0	75,1
N_{60}	2,1	0,5	0,9	84,8
P_{60}	1,3	0,8	1,3	54,1
$N_{60} P_{60}$	1,7	0,5	1,2	71,7
Твердая пшеница				
Контроль	1,5	0,7	1,0	58,9
N_{60}	1,8	0,5	1,1	85,1
P_{60}	1,1	0,9	0,9	49,8
$N_{60} P_{60}$	1,2	0,9	1,2	65,2
Люцерна сорт Алексис				
Контроль	1,0	1,0	1,2	53,7
P_{60}	1,3	0,8	1,1	67,0
Люцерна сорт Флора 6				
Контроль	1,1	0,9	1,2	54,6
P_{60}	1,0	1,0	0,9	64,5
$HCP_{05} A$ / доля влияния	2,5/56,5	0,4/61,4	0,3/41,7	76,4/47,2
$HCP_{05} B$ / доля влияния	1,8/21,3	0,3/0,7	0,2/8,1	54,1/18,8
$HCP_{05} AB$ / доля влияния	3,6/22,2	0,6/37,9	0,4/50,3	108,1/34,1

Баланс между разложением остатков и микробным синтезом органического вещества почвы изменяется в зависимости от культуры. Микробная трансформация органических остатков в органическое вещество

почвы (о которой судили по коэффициенту $P_m = (M_{ПА} + K_{АА}) * (M_{ПА} / K_{АА})$) максимальная в вариантах применения азотного удобрения на ячмене и твердой пшенице, составляет 84,8 и 85,1 соответственно. Увеличение скорости трансформации связано с активным развитием аммонификаторов и процесса иммобилизации азота. Количественной характеристикой этого процесса является соотношение численности сапротрофных микробов (растущих на мясо-пептонном агаре, МПА) к амилолитическим микроорганизмам (растущим на среде КАА). В вышеупомянутых вариантах соотношение МПА/КАА составило 2,1 и 1,8 соответственно и было максимальным по опыту.

Для комплексной оценки почвенных процессов применяют коэффициент олиготрофности [11]. Наши расчеты показали, что при внесении минеральных удобрений под зерновые культуры микробное население активно разрушает почвенные органические вещества, что подтверждается коэффициентом олиготрофности (1,1-1,3).

Минеральные удобрения оказывают существенное влияние на количество нитратного азота в почве [2]. В течение периода вегетации содержание $N-NO_3$ варьировало от очень низкого (<10) до высокого (>20), согласно шкале обеспеченности почв минеральными формами азота (Г.П. Гамзиков) [3].

Наблюдения за динамикой нитратного азота в почве показали, что в июне содержание $N-NO_3$ в пахотном слое было на уровне низкого в большинстве вариантов опыта. Комплексное внесение минеральных удобрений на твердой пшенице способствовало увеличению азота нитратов в до высокого уровня – 20,2 мг/кг (таблица 3).

В июле и августе, за счет создавшихся благоприятных метеоусловий (достаточное увлажнение и установившаяся тёплая погода) и текущей нитрификации, количество нитратного азота варьировало от среднего до высокого по всем культурам и вариантам опыта, с максимальным значением на азотно-фосфорном фоне твердой пшеницы (27,1 мг/кг).

На урожайность сельскохозяйственных культур влияет комплекс условий: природные факторы, агротехнические приёмы, применение удобрений, а также интенсивность и направленность почвенных процессов. Благодаря деятельности микроорганизмов происходит распад органических соединений, находящихся в почве и вносимых удобрений. В ходе чего элементы питания переходят в доступную для растений форму и положительным образом влияют на урожайность культур.

Изучаемые дозы минеральных удобрений, особенно фосфорсодержащие, обеспечили получение существенной прибавки урожайности куль-

тур. Так, основное внесение фосфора обеспечивало прибавку 1,30 т/га зерна ячменя (66%) и 1,11 т/га зерна (52%) твердой пшеницы (таблица 4).

Таблица 3.

Содержание нитратного азота в почве под посевом с.-х. культур, в зависимости от применения удобрений, мг/кг, слой 0-20 см, (n=6)
Table 3. Nitrate nitrogen content in soil under agricultural crops, depending on fertilizer application, mg/kg, 0–20 cm layer, (n=6)

Вариант	июнь	июль	август
Ячмень			
Контроль	12,1	18,0	25,4
N ₆₀	13,0	21,2	25,6
P ₆₀	10,4	20,7	25,8
N ₆₀ P ₆₀	13,0	21,5	22,4
Твердая пшеница			
Контроль	14,7	19,1	25,9
N ₆₀	18,6	21,4	25,4
P ₆₀	15,7	15,6	23,1
N ₆₀ P ₆₀	20,2	15,5	27,1
Люцерна сорт Алексис			
Контроль	13,2	17,3	25,4
P ₆₀	10,3	20,7	22,1
Люцерна сорт Флора 6			
Контроль	11,4	16,8	24,5
P ₆₀	9,4	22,0	23,5
HCP ₀₅ A / доля влияния	2,8/33,8		
HCP ₀₅ B / доля влияния	2,0/19,0		
HCP ₀₅ AB / доля влияния	4,0/47,2		

Применение азотных удобрений (N₆₀) оказывало менее существенное влияние на продуктивность зерновых культур – прибавки составляли 0,22-0,27 т/га или 10-14% соответственно. Комплексное применение минеральных удобрений (N₆₀P₆₀) увеличивало урожайность ячменя с 1,98 до 3,42 т/га или на 73 %, твердой пшеницы – с 2,15 до 3,54 или на 65 %.

Применение подкормок фосфорсодержащим минеральным удобрением в период возобновления вегетации люцерны обеспечивало увеличение урожайности на 0,29-0,39 т/га сухого вещества или 3,12-3,51 т/га зеленой массы, при более высокой продуктивности и отзывчивости на изучаемый агроприем сорта Алексис.

Таблица 4.

**Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости
от условий минерального питания, (n=4)**

Table 4. Crop Yields as a Function of Nutrient Availability (n=4)

Вариант	ячмень		твердая пшеница		люцерна			
	т/га	при- бавка	т/га	при- бавка	сорт Алексис		сорт Флора 6	
					т/га сухого вещества (зе- леной массы) за два укоса	при- бавка	т/га сухого вещества (зе- леной массы) за два укоса	при- бавка
Контроль	1,98	-	2,15	-	2,58 (23,33)	-	2,42 (21,67)	-
N ₆₀	2,25	+0,27	2,37	+0,22	-	-	-	-
P ₆₀	3,28	+1,30	3,26	+1,11	2,97 (26,84)	+ 0,39 (3,51)	2,71 (24,79)	+ 0,29 (3,12)
N ₆₀ P ₆₀	3,42	+1,44	3,54	+1,39	-	-	-	-
HCP ₀ A=								

Корреляционный анализ микробиологических показателей лугово-черноземной почвы и урожайности ячменя показал, что существует сильная ($r=0,77$) положительная корреляция между численностью почвенных микромицетов и урожайностью, которая описывается прямолинейным уравнением регрессии (рисунок 2).

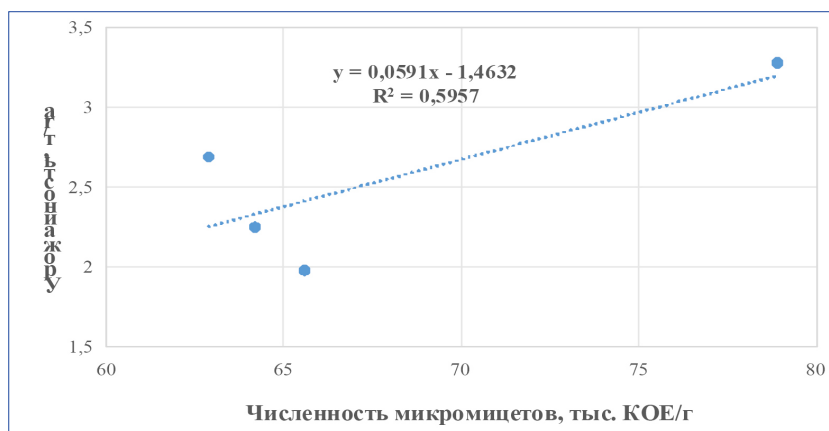


Рис. 2. Зависимость урожайности зерна ярового ячменя (Y, т/га зерна) от численности микромицетов (X, тыс. КОЕ/г), при n=9, (2012-2014 гг.)
Fig. 2. Relationship between spring barley grain yield (Y, metric tons per hectare of grain) and the abundance of microfungi (X, thousand CFU/g), with n=9 (2012–2014)

Заключение

По результатам исследований в длительном стационарном опыте, установлено, что на фоне внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры увеличивается численность общей почвенной биоты, в большей степени на твердой пшенице (39% к контролю). Под воздействием минеральных удобрений наблюдается усиление иммобилизационных процессов, наибольшие значения отмечены под ячменем и пшеницей на фоне N_{60} (2,1-1,8), у люцерны сорта Алексис при внесении P_{60} (1,3). Коэффициент трансформации органического вещества почвы был выше на азотном фоне под посевом ячменя и пшеницы, составляя 84,8-85,1. В течение периода вегетации содержание азота нитратов в почве варьировало от очень низкого до высокого, увеличиваясь при комплексном применении минеральных удобрений на твердой пшенице до 20,2-27,1 мг/кг. Максимальная прибавка урожайности получена при применении фосфорных удобрений, основное внесение P_{60} обеспечивало прибавку 1,30 т/га зерна ячменя и 1,11 т/га зерна твердой пшеницы. Продуктивность люцерны также определялась условиями питания фосфором – применение подкормок в период возобновления вегетации люцерны обеспечивало увеличение урожайности на 0,29-0,39 т/га сухого вещества или 3,12-3,51 т/га зеленой массы. Между численностью микромицетов и урожайностью ячменя установлена корреляционная зависимость сильной степени ($r=0,77$).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Аринушкина, Е. В. (1970). *Руководство по химическому анализу почв*. Москва: МГУ. 325 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01005948187>
2. Гамзиков, Г. П. (2013). *Агрохимия азота в агроценозах*. Новосибирск: РАС-ХН СО. 790 с. EDN: <https://elibrary.ru/UIBXVL>
3. Гамзиков, Г. П. (2015). Прогноз обеспеченности почв азотом и потребности полевых культур в азотных удобрениях. *Инновации и продовольственная безопасность*, 3(9), 11–20. EDN: <https://elibrary.ru/VVCCXF>
4. Еремин, Д. И., & Попова, О. Н. (2016). Бактериальная микрофлора и её роль в почвообразовательном процессе (аналитический обзор). *Вестник ГАУ Северного Зауралья*, 2(33), 12–19. EDN: <https://elibrary.ru/XCCIAT>

5. Зинченко, М. К. (2020). *Трансформация биологических свойств серой лесной почвы агроландшафтов в системе адаптивно-ландшафтного земледелия*. Суздаль-Иваново: ФГБНУ Верхневолжский ФАНЦ. 144 с. ISBN: 978-5-6045431-1-5. EDN: <https://elibrary.ru/LECTBS>
6. Коробова, Л. Н., Риксен, В. С., & Батурина, О. А. (2023). Микробиоценоз солонца как индикатор изменения среды при замене кормовых севооборотов сеяным лугом. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 53(8), 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-8-1>. EDN: <https://elibrary.ru/UYYRTB>
7. Мелихова, Н. П., Зибаров, А. А., & Вронская, Л. В. (2022). Продуктивность и плодородие почвы в орошаемых севооборотах Поволжья. *Орошаемое земледелие*, 1(36), 25–28. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2022-1-3>. EDN: <https://elibrary.ru/FJGOIJ>
8. Риксен, В. С., Коробова, Л. Н., & Ломова, Т. Г. (2024). Влияние севооборота с донником на биологические и физико-химические свойства подсолонцового горизонта солонца мелкого. *Достижения науки и техники АПК*, 38(1), 4–9. https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_1_4. EDN: <https://elibrary.ru/ZAPCCS>
9. Синеговская, В. Т., & Банецкая, Е. В. (2022). Микробиоценозный состав луговой черноземовидной почвы в посевах сои и пшеницы при длительном внесении удобрений. *Плодородие*, 1, 46–49. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.1>. EDN: <https://elibrary.ru/SHUZVA>
10. Теппер, Е. З., & Шильникова, В. К. (2004). *Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов* (под ред. В. К. Шильниковой). Москва: Дрофа. 256 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01002409466>
11. Хасанова, Р. Ф., Суяндукоев, Я. Т., & Семенова, И. Н. (2017). Оценка экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности. *Вестник НВГУ*, 1, 103–108. EDN: <https://elibrary.ru/YJTVSN>
12. Шалагинова, Л. И., Федотов, И. А., & Хвоина, Т. Ю. (2006). Влияние минеральных удобрений при орошении на микрофлору и эффективное плодородие черноземов выщелоченных. *Вестник Алтайского ГАУ*, 6(26), 28–31. EDN: <https://elibrary.ru/KUXSRL>
13. Шулико, Н. Н., Корчагина, И. А., Тукмачева, Е. В., Кубасова, Е. В., Киселёва, А. А., Юшкевич, Л. В., Ющенко, Д. Н., & Дидманидзе, О. Н. (2025). Биологическая активность лугово-черноземной почвы под посевом гороха в южной лесостепи Омской области. *Земледелие*, 5, 18–23. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2025-5-18-23>. EDN: <https://elibrary.ru/MISSGZ>
14. Шулико, Н. Н., Тимохин, А. Ю., Хамова, О. Ф., Бойко, В. С., Тукмачева, Е. В., Корчагина, И. А., & Вейнбендер, А. А. (2024). Биологические и агрохими-

- ческие свойства лугово-черноземной почвы Омского Прииртышья в связи с продуктивностью кормовых культур при применении минеральных удобрений. *Сельскохозяйственная биология*, 59(1), 156–173. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.156rus>. EDN: <https://elibrary.ru/CTISQB>
15. Юшкевич, Л. В., & Тимохин, А. Ю. (2024). *Управление ресурсами влаги в агроландшафтах Омского Прииртышья*. Омск: Омский АНЦ. 323 с. EDN: <https://elibrary.ru/TTRELA>
16. Li, J., Lin, L., Zhang, F., & Wan, X. (2019). Effect of fertilization mode on the number of microorganisms and enzyme activity in the rhizosphere soil of tea tree. *Research on Soil and Water Conservation*, 26(03), 22–28.
17. Li, K., Wang, Z., Xu, X., & Yang, H. (2019). Effects of different fertilization treatments on soil microbial quantity and enzyme activity in solar greenhouse. *Journal of Northwest Forestry University*, 34(02), 56–61.
18. Nanda, S. K., Da, P. K., & Behera, B. (1998). Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification and CO₂ evolution in a rice soil. *Oryza*, 25(4), 413–416.
19. Stark, C. H., Condon, L. M., O'Callaghan, M., Stewart, A., & Hong, J. Di. (2008). Differences in soil enzyme activities, microbial community structure and short-term nitrogen mineralisation resulting from farm management history and organic matter amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6), 1352–1363. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.025>
20. Zou, X., Yi, B., Zhang, Q., & Di, H. (2020). Effects of long-term fertilization on the microbial community structure and nitrogen cycling function of paddy soil. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 26(12), 2158–2167.

References

1. Arinushkina, E. V. (1970). *Manual on the chemical analysis of soils*. Moscow: MSU. 325 p.
2. Gamzikov, G. P. (2013). *Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses*. Novosibirsk: RASKhN SO. 790 p. EDN: <https://elibrary.ru/UIBXVL>
3. Gamzikov, G. P. (2015). Predicting soil nitrogen availability and crop nitrogen requirements. *Innovations and food security*, 3(9), 11–20. EDN: <https://elibrary.ru/VVCCXF>
4. Eremin, D. I., & Popova, O. N. (2016). Bacterial microflora and its role in soil formation: An analytical review. *Bulletin of the State Agrarian University of Northern Trans-Urals*, 2(33), 12–19. EDN: <https://elibrary.ru/XCC1AT>
5. Zinchenko, M. K. (2020). *Transformation of the biological properties of gray forest soil in agrolandscapes within the adaptive landscape farming system*. Suzdal-Ivanovo: FGBNU Verkhnevolzhsky FANC. 144 p. ISBN: 978-5-6045431-1-5. EDN: <https://elibrary.ru/LECTBS>

6. Korobova, L. N., Riksen, V. S., & Baturina, O. A. (2023). Solonetz microbiocenosis as an indicator of environmental change when replacing forage crop rotations with a sown meadow. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 53(8), 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-8-1>. EDN: <https://elibrary.ru/UYRYTB>
7. Melikhova, N. P., Zibarov, A. A., & Vronskaya, L. V. (2022). Productivity and soil fertility in irrigated crop rotations in the Volga region. *Irrigated agriculture*, 1(36), 25–28. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2022-1-3>. EDN: <https://elibrary.ru/FJGOIJ>
8. Riksen, V. S., Korobova, L. N., & Lomova, T. G. (2024). The effect of crop rotation with melilot on the biological and physicochemical properties of the subsolonetzh horizon of shallow solonetz. *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*, 38(1), 4–9. https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_1_4. EDN: <https://elibrary.ru/ZAPCCS>
9. Sinegovskaya, V. T., & Banetskaya, E. V. (2022). Microbial community composition of meadow chernozem-like soil under soybean and wheat crops with long-term fertilizer application. *Fertility*, 1, 46–49. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.1>. EDN: <https://elibrary.ru/SHUZVA>
10. Tepper, E. Z., & Shil'nikova, V. K. (2004). *Practical course in microbiology: A textbook for universities* (V. K. Shil'nikova, Ed.). Moscow: Drofa. 256 p. <https://search.rsl.ru/ru/record/01002409466>
11. Khasanova, R. F., Suyundukov, Ya. T., & Semenova, I. N. (2017). Assessment of the ecological state of soils in steppe agroecosystems based on biological activity indicators. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 1, 103–108. EDN: <https://elibrary.ru/YJTVSN>
12. Shalaginova, L. I., Fedotov, I. A., & Khvoina, T. Yu. (2006). The effect of mineral fertilizers under irrigation on the microflora and effective fertility of leached chernozems. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 6(26), 28–31. EDN: <https://elibrary.ru/KUXSRL>
13. Shuliko, N. N., Korchagina, I. A., Tukmacheva, E. V., Kubasova, E. V., Kiseleva, A. A., Yushkevich, L. V., Yushchenko, D. N., & Didmanidze, O. N. (2025). Biological activity of meadow-chernozem soil under pea crops in the southern forest-steppe of the Omsk region. *Agriculture*, 5, 18–23. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2025-5-18-23>. EDN: <https://elibrary.ru/MISSGZ>
14. Shuliko, N. N., Timokhin, A. Yu., Khamova, O. F., Boyko, V. S., Tukmacheva, E. V., Korchagina, I. A., & Veinbender, A. A. (2024). Biological and agrochemical properties of meadow-chernozem soil in the Omsk Irtysh region in relation to forage crop productivity under mineral fertilizer application. *Agricultural biology*, 59(1), 156–173. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.156rus>. EDN: <https://elibrary.ru/CTISQB>

15. Yushkevich, L. V., & Timokhin, A. Yu. (2024). *Management of moisture resources in agrolandscapes of the Omsk Irtysh region*. Omsk: Omsk ANC. 323 p. EDN: <https://elibrary.ru/TTRELA>
16. Li, J., Lin, L., Zhang, F., & Wan, X. (2019). Effect of fertilization mode on the number of microorganisms and enzyme activity in the rhizosphere soil of tea tree. *Research on Soil and Water Conservation*, 26(03), 22–28.
17. Li, K., Wang, Z., Xu, X., & Yang, H. (2019). Effects of different fertilization treatments on soil microbial quantity and enzyme activity in solar greenhouse. *Journal of Northwest Forestry University*, 34(02), 56–61.
18. Nanda, S. K., Da, P. K., & Behera, B. (1998). Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification and CO₂ evolution in a rice soil. *Oryza*, 25(4), 413–416.
19. Stark, C. H., Condon, L. M., O'Callaghan, M., Stewart, A., & Hong, J. Di. (2008). Differences in soil enzyme activities, microbial community structure and short-term nitrogen mineralisation resulting from farm management history and organic matter amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6), 1352–1363. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.025>
20. Zou, X., Yi, B., Zhang, Q., & Di, H. (2020). Effects of long-term fertilization on the microbial community structure and nitrogen cycling function of paddy soil. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 26(12), 2158–2167.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шулико Наталья Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shuliko@anc55.ru

Тимохин Артем Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий агротехнологического центра
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»

*пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
timokhin@anc55.ru*

Киселёва Алина Андреевна, младший научный сотрудник лаборатории микробиологии

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»

*пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
veybender@anc55.ru*

Тукмачева Елена Васильевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»

*пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
tukmacheva@anc55.ru*

Шаповал Максим Сергеевич, младший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»

*пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shapoval@anc55.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Shuliko, PhD in Agricultural, Head of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

shuliko@anc55.ru

SPIN-code: 7601-1991

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>

ResearcherID: ABF-6522-2021

Artem Yu. Timokhin, PhD in Agricultural, Head of Laboratory of Field Feed Production

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

timokhin@anc55.ru

SPIN-code: 5162-2346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

ResearcherID: JPL-4190-2023

Scopus Author ID: 57213195613

Alina A. Kiseleva, Junior Researcher of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

veybender@anc55.ru

SPIN-code: 1146-1516

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5089-3703>

Elena V. Tukmacheva, PhD in Biological, Leading Researcher of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

tukmacheva@anc55.ru

SPIN-code: 1881-1679

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>

ResearcherID: AAD-9301-2021

Maxim S. Shapoval, Junior Researcher

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

ms.shapoval1813@mail.ru

SPIN-code: 3687-8121

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8960-0817>

Поступила 20.01.2026

После рецензирования 05.04.2026

Принята 27.04.2026

Received 20.01.2026

Revised 05.04.2026

Accepted 27.04.2026