

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

© 2026 Тимохин А. Ю.¹✉, Шулико Н. Н.¹, Кубасова Е. В.¹, Тукмачева Е. В.¹, Терентьев А. В.²

¹Омский аграрный научный центр
(г. Омск, Российская Федерация)

²Государственный университет управления
(г. Москва, Российская Федерация)

✉ timokhin@anc55.ru

Реферат. Исследования проводили с целью изучения степени влияния различных форм минеральных удобрений на ферментативную активность почвы, интенсивность разложения целлюлозы и урожайность сельскохозяйственных культур для совершенствования систем удобрения. Работу выполняли в 2022–2024 годы. в Омской области в длительном стационарном полевом опыте, который включал следующие варианты: без удобрений – контроль, N₆₀, P₆₀, N₆₀P₆₀. Почва опытного участка – лугово-черноземная среднетяжелосуглинистая. Ферментативную активность определяли в воздушно-сухих образцах. На энзиматическую активность почвы влияли метеорологические условия периода наблюдений и выращиваемые культуры. Каталаза проявляла максимальную в опыте активность под посевами многолетних трав к завершению вегетационного периода – в августе, достигая 2,03 O₂ см³/мин. Значительного воздействия азотных и фосфорных удобрений на активность инвертазы и уреазы не наблюдали. Наибольшую интенсивность разложения целлюлозы в почве отмечали в посевах льна масличного, где величина этого показателя варьировала от 0,82 до 0,95% в сутки, против 0,60...0,71% в сутки под многолетними травами и 0,69...0,85% в сутки под сорго-суданковым гибридом. В сложившихся условиях применение N₆₀P₆₀ в посевах льна масличного, ежи в смеси с эспарцетом и сорго-суданкового гибрида было наиболее эффективным и обеспечивало сбор 1,54 т/га маслосемян, 4,21 и 5,23 т/га абсолютно сухого вещества надземной массы растений соответственно.

Ключевые слова: ферментативная активность, лугово-черноземная почва, минеральные удобрения, плодородие, урожайность.

Для цитирования: Влияние различных условий минерального питания на биологическую активность лугово-черноземной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур / А.Ю. Тимохин, Н.Н. Шулико, Е.В. Кубасова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 46–53. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-46-53

INFLUENCE OF VARIOUS MINERAL NUTRITION CONDITIONS ON BIOLOGICAL ACTIVITY OF MEADOW-CHERNOZEM SOILS AND PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROP

© 2026 Timokhin A. Yu.^a✉, Shuliko N. N.^a, Kubasova E. V.^a, Tukmacheva E. V.^a, Terentev A. V.^b

^aOmsk Agricultural Research Center
(Omsk, Russian Federation)

^bState University of Management
(Moscow, Russian Federation)

✉ timokhin@anc55.ru

Abstract. The study was conducted to assess the influence of various forms of mineral fertilizers on soil enzymatic activity, cellulose decomposition rate and crop yields, with the aim of improving fertilization systems. The study was conducted from 2022 to 2024 in Omsk region in a long-term stationary field experiment, which included the following treatments: no fertilizer (control), N₆₀, P₆₀ and N₆₀P₆₀. The experimental plot soil was a medium-humus, heavy loamy meadow-chnozem soil. Enzymatic activity was determined in air-dried samples. Meteorological conditions during the observation period and crops grown influenced the soil's enzymatic activity. Catalase demonstrated its highest activity under perennial grass crops towards the end of growing season, in August, reaching 2.03 O₂ cm³/min. No significant effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on invertase and urease activity were observed. The highest rate of cellulose decomposition in the soil was observed in oil flax crops, where this indicator varied from 0.82 to 0.95% per day, compared to 0.60 to 0.71% per day under perennial grasses and 0.69 to 0.85% per day under the sorghum-sudan hybrid. Under the current conditions, the use of N₆₀P₆₀ in flaxseed, orchardgrass mixed with sainfoin and sorghum-sudan hybrid

crops was most effective, yielding 1.54 t/ha of oilseeds and 4.21 and 5.23 t/ha of aboveground plant dry matter, respectively.

Key words: enzymatic activity, meadow-chernozem soil, mineral fertilizers, fertility, productivity.

For citation: Timokhin AYu, Shuliko NN, Kubasova EV, et al. [Influence of various mineral nutrition conditions on biological activity of meadow-chernozem soils and productivity of agricultural crop]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 46-53 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-46-53

Введение. Микробиологические процессы считают маркером почвенного плодородия [1]. Энзиматическая активность, при применении различных сельскохозяйственных технологий, позволяя объективно оценить их воздействие на почвенное плодородие [2, 3]. Каталазная и инвертазная активность существенно снижается с глубиной почвенного профиля [4]. При усилении агротехнологического воздействия на почву (применение минеральных удобрений), активность каталазы возрастает. Положительная корреляция установлена между активностью уреазы и содержанием доступного азота в почве [5, 6].

Почвенные ферменты играют важную роль в разложении и трансформации органического вещества, высвобождают доступные питательные вещества для биоты и участвуют в циклах биогенных элементов [7]. Ферментативная активность почвы изменяется намного быстрее, чем большинство физических и химических показателей, что обеспечивает выявление трансформации органического вещества на ранних стадиях [8].

В условиях континентального и умеренного климата, при относительно оптимальном увлажнении, ограничивающим активность ферментов фактором выступает режим теплообеспеченности. В этой связи, пик энзиматической активности выпадает на летние месяцы, совпадая с всплеском биологической активности почвы [9, 10].

Непрерывное протекание микробиологических процессов и применение удобрений улучшают свойства почвы, например, активизируется биологическая и энзиматическая активность, происходит обогащение гумусом, улучшаются водные и физические свойства, что, в конечном итоге, способствует сохранению плодородия [11].

Утилизация и включение в биологический круговорот послеуборочных остатков полевых культур – первостепенное условие сохранения почвенного плодородия. На целлюлозолитическую активность оказывают влияние температура воздуха и почвы, увлажнение, аэрация, биологическая активность, средства интенсификации и др. [12].

Цель исследований – определение степени воздействия различных доз минеральных удобрений на энзиматическую и целлюлозолитическую активность почвы и урожайность сельскохозяйственных культур для совершенствования системы удобрений.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2024 годы на полях

ФГБНУ «Омский АНЦ». Опыт проведен в восьмипольном севообороте. Эксперимент предполагал изучение следующих вариантов:

- сельскохозяйственная культура (фактор А) – однолетняя культура (лен масличный, *Linum usitatissimum* L.); многолетние травы (смесь эспарцета песчаного *Onobrychis arenaria* (Kit.) с ежой сборной *Dactylis glomerata* L.); однолетние травы (сорго-суданковый гибрид – ССГ, *Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase);

- минеральные удобрения (фактор В) – без удобрений (контроль), N₆₀, P₆₀, N₆₀P₆₀.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднегумусная тяжелосуглинистая, рНвод – 7,2, плотность пахотного слоя 1,07...1,14 г/см³. Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0...20 см в варианте без применения удобрений (контроль) – среднее (менее 100 мг/кг, по Чирикову), обеспеченность почвы подвижным калием – очень высокая (более 180 мг/кг) независимо от агрофона.

Анализ ферментативной активности почвы проводили в воздушно-сухих образцах: инвертазы – по Купревичу, уреазы по Гофману, каталазы – газометрически [13]. Интенсивность разложения целлюлозы определяли методом Тихомировой [14].

Метеорологические условия в годы проведения исследований были контрастными. Так, 2022 и 2023 года характеризовались неравномерным поступлением атмосферных осадков при повышенной температуре воздуха, в таких условиях ГТК за май-август составил 0,98 и 0,80 соответственно. В 2024 году количество выпавших осадков превышало средние многолетние значения при ГТК – 1,70.

Результаты и обсуждение. При анализе микробиологической активности важным показателем выступает активность фермента каталазы, который разлагает ядовитую для микроорганизмов и растений перекись водорода на молекулярный кислород и воду. Активность каталазы возрастала в течении вегетационного периода вне зависимости от варианта опыта, это объясняется повышением средней температуры пахотного слоя почвы, что, как известно, способствует активации микробиологических процессов. Максимальный уровень активности отмечали в августе (в среднем на 68% относительно июньского отбора проб) (рис. 1).

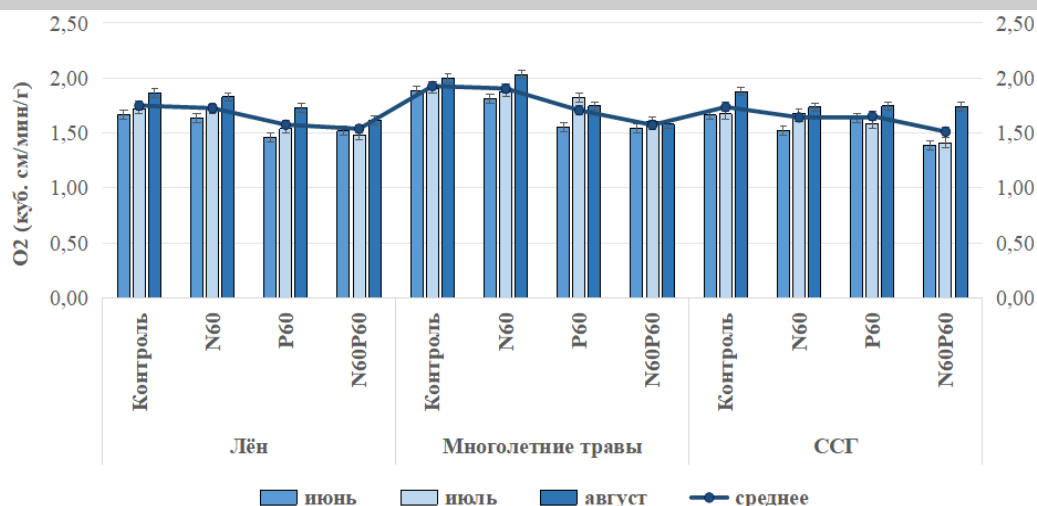


Рис. 1 – Катазная активность почвы при применении минеральных удобрений (2022–2024 гг.), O₂ см³/мин/г

Fig. 1 – Catalase activity of the soil under the application of mineral fertilizers (2022–2024), O₂ cm³/min/g

При рассмотрении минеральных удобрений как фактора воздействия на динамику ферментативной активности почвы, не было обнаружено чёткой взаимосвязи между элементами питания и уровнем ферментов в почве. Активность каталазы повышалась при выращивании многолетних трав, максимальные значения активности фермента отмечены в августе в варианте с применением азотных удобрений (N₆₀) – до 2,03 см³/мин/г, что можно объяснить биологическими свойствами выращиваемой травосмеси, в составе которой присутствует бобовая культура.

На содержание фермента инвертазы существенным образом повлиял видовой состав

растительности, а также более благоприятный температурный режим почвы во второй половине вегетационных периодов. На фоне многолетних трав даже в контрольном варианте отмечена высокая инвертазная активность, до 2,46 мг, что на 77% выше, по сравнению с аналогичным вариантом сорговой культуры.

В отношении внесения элементов питания заметных различий между вариантами не было обнаружено. Оценивая средние значения показателя, можно отметить тенденцию на активацию энзимов инвертазы при внесении фосфорных удобрений (P₆₀), от 15,93 у сорго-суданкового гибрида до 21,07 мг у многолетних трав (рис. 2).

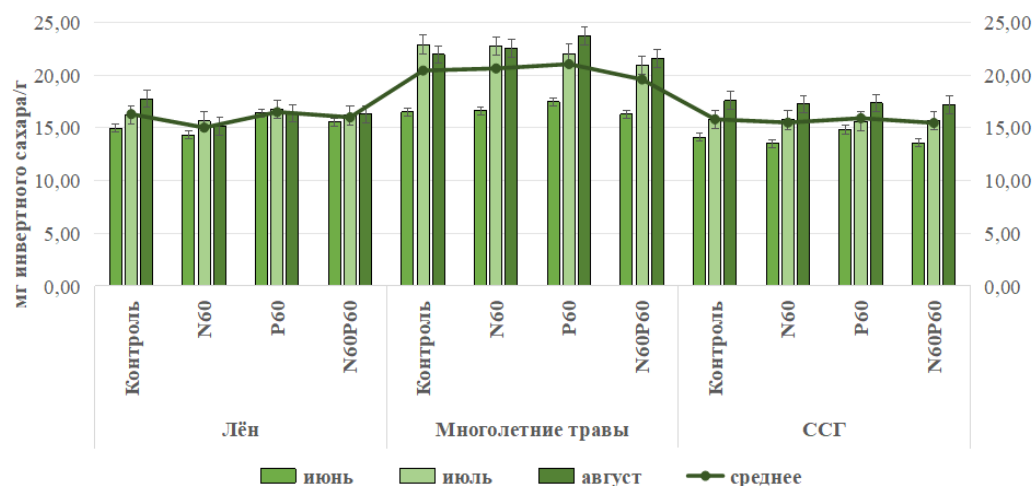


Рис. 2 – Активность фермента инвертаза в зависимости от применения минеральных удобрений (2022–2024 годы), мг инвертного сахара/г почвы

Fig. 2 – Invertase enzyme activity depending on the application of mineral fertilizers (2022–2024), mg of invert sugar/g of soil

В наших исследованиях вариант с многолетними травами показал максимальные результаты по активности фермента уреазы – достигая 0,81 мг NH₃/г почвы, что подтверждает тесную взаимосвязь почвенной

микробиоты с сельскохозяйственными культурами и различный характер их взаимодействия в зависимости от видового состава растительности (рис. 3). Так, исследованиями коллег установлено, что непосредственно на

корнях хлопчатника, томатов и перца увеличивается количество бактерий, использующих минеральные формы азота и труднорастворимые фосфаты; в корневой зоне фасоли, кукурузы и пшеницы относительно высоко количество бактерий, использующих органические формы азота и минеральные формы фосфора. Это свидетельствует о специфическом воздействии разных видов растений на микроорганизмы [15].

Известно, что микробный ценоз играет важнейшую роль в процессах почвообразования. Бактерии и грибы участвуют в большинстве биохимических превращений в почвах, включая минерализацию органических соединений, гумификацию, азотфиксацию, нитрификацию и аммонификацию. При этом направленность вызываемых микроорганизмами процессов может способствовать росту растений или угнетать его [16].

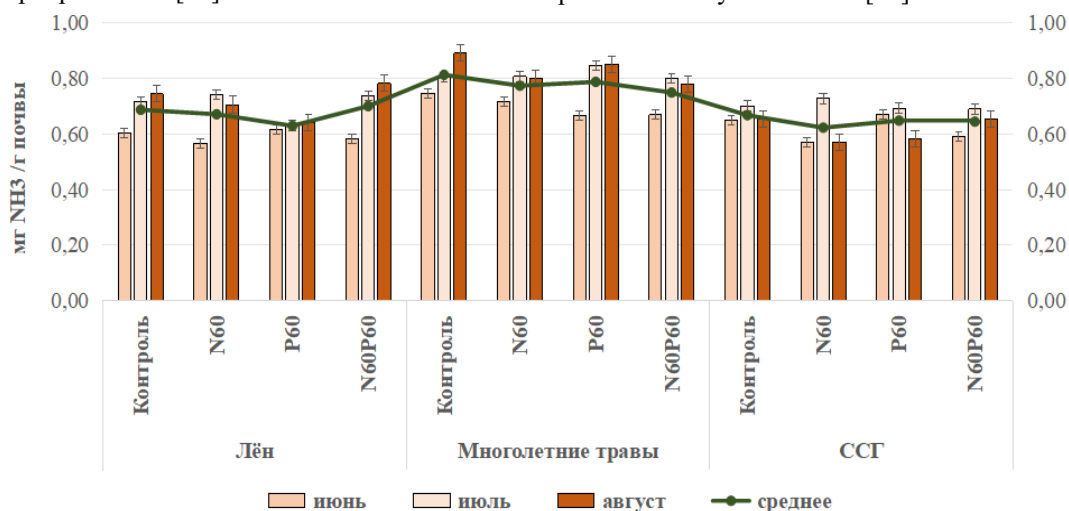


Рис. 3 – Активность фермента уреазы в зависимости от применения бактериальных удобрений (2022–2024 годы), мг NH₃/г почвы

Fig. 3 – Urease enzyme activity depending on the application of bacterial fertilizers (2022–2024), mg of NH₃/g of soil

Интенсивность разложения целлюлозы в почве характеризует её биологическую активность. Величина этого показателя отражает интенсивность микробиологических процессов, которые определяют плодородие почвы и скорость трансформации органического вещества. Целлюлозолитическая активность зависит от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода, наличия в почве легкодоступного азота, состава и численности микробных ассоциаций, разрушающих целлюлозу и других факторов.

Наибольшей в опыте интенсивностью разложения целлюлозы в почве отличались варианты под посевом льна масличного, варьирование составило от 0,82 до 0,95% в сутки, при уровне под многолетними травами от 0,60 до 0,71% в сутки, под сорго-суданковым гибридом – от 0,69 до 0,85% в сутки (табл. 1). Это может быть обусловлено тем, что в разрушении целлюлозы по большей части участвуют микрогрибы, нашими исследованиями установлены высокие их абсолютные значения в почве под посевом льна [17].

Таблица 1 – Интенсивность разложения целлюлозы в слое почвы 0...20 см в зависимости от применения удобрений (2022–2024 годы), %

Table 1 – Intensity of cellulose decomposition in the 0–20 cm soil layer depending on the application of fertilizers (2022–2024), %

Культура (фактор А)	Минеральные удобрения (фактор В)	Год				Среднее за сутки, %
		2022	2023	2024	среднее	
1	2	3	4	5	6	7
Лён масличный	0	65,28	44,53	47,46	52,42	0,90
	N ₆₀	63,13	45,99	48,77	52,63	0,91
	P ₆₀	52,50	42,68	70,38	55,19	0,95
	N ₆₀ P ₆₀	57,10	40,46	45,86	47,81	0,82
	среднее	59,50	43,42	53,12	52,01	0,90
Многолетние травы	0	44,50	29,79	45,73	40,01	0,69
	N ₆₀	30,25	29,00	45,48	34,91	0,60
	P ₆₀	29,53	32,66	45,01	35,73	0,62
	N ₆₀ P ₆₀	46,80	34,72	42,63	41,38	0,71
	среднее	37,77	31,54	44,71	38,01	0,66

Продолжение таблицы 1 / Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7
Сорго-суданковый гибрид	0	51,98	35,57	33,32	40,29	0,69
	N ₆₀	62,55	28,61	57,35	49,50	0,85
	P ₆₀	50,78	37,26	37,26	41,76	0,72
	N ₆₀ P ₆₀	68,43	35,83	43,69	49,31	0,85
	среднее	58,44	34,32	42,91	45,22	0,78
Среднее	0	53,92	36,63	42,17	44,24	0,76
	N ₆₀	51,98	34,53	50,53	45,68	0,79
	P ₆₀	44,27	37,53	50,88	44,23	0,76
	N ₆₀ P ₆₀	57,44	37,00	44,06	46,17	0,79
	среднее	51,90	36,43	46,91	45,08	0,78
HCP ₀₅ для факторов		A=7,15*; B=8,25; AB=14,30				
Доля влияния факторов, %		A=89,4; B=1,4; AB=9,2				

* $p \geq 0,05$

Применение минеральных удобрений в различных дозах способствовало усилению интенсивности разложения клетчатки в почве под льном масличным (на 0,05% при внесении P₆₀ против 0,90% в контроле) и сорго-суданковым гибридом (на 0,16% при внесении N₆₀, N₆₀P₆₀ против 0,69% в контроле).

В почве под посевом многолетних трав наблюдали некоторое снижение величины показателя в вариантах с удобрениями N₆₀, P₆₀ соответственно на 0,09 и 0,07%, по отношению к контролю. Возможно слишком плотное сложение почвы под посевом многолетних трав послужило причиной снижения интенсивности разложения целлюлозы, так как

происходит ограничение распространения корней, снижается активность и численность микроорганизмов [11].

Гидротермические условия вегетационного периода и уровень минерального питания оказывали влияние на биологические свойства почвы, и, как следствие, на продуктивность сельскохозяйственных культур в опыте. Недобор осадков и повышенный температурный фон в 2023 году приводили к снижению продуктивности многолетних трав на 35% в сравнении с 2022 года. При этом, в переувлажненном 2024 году отмечено снижение урожайности льна масличного и сорго-суданкового гибрида (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние условий минерального питания на урожайность культур (2022–2024 гг.), т/га

Table 2 – Effect of mineral nutrition conditions on crop yield (2022–2024), t/ha

Вариант	Год			
	2022	2023	2024	Среднее
Лен масличный (маслосемена), HCP ₀₅ =0,45				
0	1,12	0,99	0,71	0,94
N ₆₀	0,98	1,13	0,92	1,01
P ₆₀	1,73	1,01	0,86	1,13
N ₆₀ P ₆₀	1,73	1,76	1,14	1,54
Среднее	1,34	1,22	0,91	1,16
Многолетние травы (сухая надземная масса за два укоса), HCP ₀₅ =0,71				
0	3,84	2,42	3,18	3,15
N ₆₀	4,17	2,32	3,85	3,45
P ₆₀	3,97	2,81	3,65	3,48
N ₆₀ P ₆₀	4,43	3,10	5,09	4,21
Среднее	4,11	2,66	3,94	3,57
Сорго-суданковый гибрид (сухая надземная масса), HCP ₀₅ =1,35				
0	2,77	2,56	2,25	2,53
N ₆₀	3,64	3,50	4,03	3,72
P ₆₀	3,11	4,59	2,94	3,54
N ₆₀ P ₆₀	4,25	5,52	5,93	5,23
Среднее	3,44	4,04	3,79	3,76

В вариантах применения азотных минеральных удобрений (N₆₀) отмечена тенденция увеличения урожайность маслосемян льна масличного с 0,94 до 1,01 т/га или на 7%, фосфорных – до 1,13 т/га (на 20%), а при их

сочетании – до 1,54 т/га, или на 64%.

Многолетние травы, в среднем за период исследований, сформировали в контрольном варианте 3,15 т/га сухого вещества надземной массы за два укоса. Азотные удобрения

способствовали интенсивному развитию мятликового компонента, а фосфорсодержащие – бобового, то есть повышали сбалансированность травосмеси. Наиболее эффективным в опыте в таких условиях было внесение удобрений в дозе $N_{60}P_{60}$, что способствовало увеличению урожайности на 34% до 4,21 т/га.

Сорго-суданковый гибрид был отзывчивым на применение минеральных удобрений. Внесение N_{60} и P_{60} увеличивало урожайность надземной массы до 3,72 и 3,54 т/га сухого вещества, что на 47 и 40% выше контроля, а $N_{60}P_{60}$ – до 5,23 т/га или на 107%.

Выводы. На ферментативную активность почвы существенное воздействие оказывает вид сельскохозяйственной культуры. Более сильный отклик был получен при выращивании многолетних трав, в состав которых входят бобовые культуры. Эта закономерность отмечена для каталазы ($1,93 O_2 \text{ см}^3/\text{мин}/\text{г}$), инвертазы (21,07 мг инвертного сахара/г) и

уреазы (0,81 мг $NH_3/\text{г}$ почвы). Активность фермента инвертазы несколько увеличивалась при внесении P_{60} . Наибольшую интенсивность разложения целлюлозы в почве отмечали в вариантах со льном масличным, где величина этого показателя варьировала от 0,82 до 0,95% в сутки, против 0,60...0,71% в сутки под многолетними травами, 0,69...0,85% в сутки под сорго-суданковым гибридом.

Внесение азотно-фосфорных удобрений способствовало интенсивному развитию растений и, как следствие, росту урожайности. Сбор маслосемян льна в варианте $N_{60}P_{60}$ достигал 1,54 т/га, сухого вещества надземной массы многолетних трав и сорго-суданкового гибрида – 4,21 и 5,23 т/га соответственно.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2024-542.

Литература

1. Sheikh S. A., Atmapoojya S. L. Experimental study on factors affecting the efficiency of microbially induced carbonate precipitation in soil. *Materials Today // Proceedings*. 2022. Vol. 60. No. 4. P. 275-280. doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.530.
2. Проворов Н. А., Тихонович И. А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 5. С. 821–831. doi: 10.15389/agrobiol.2022.5.821rus.
3. Белоусов А. А., Белоусова Е. Н., Кухбуди Д. Д. Динамика каталазной активности чернозема обыкновенного в условиях минимизации обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 5 (170). С. 103–108.
4. Магда Е. В., Мазиров М. А., Зинченко М. К. Активность каталазы и инвертазы при различной интенсивности механической обработки почвы // *Владимирский земледелец*. 2022. № 2 (100). С. 24–30.
5. Завалин А. А., Алешин М. А. Использование растениями азота в различных агроценозах. М.: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова», 2024. 310 с.
6. Почвы ксерофитных лугов Среднего Подесенья: к вопросам накопления органических веществ и биохимической активности / С. Н. Поцепай, Л. Н. Анищенко, М. В. Семышев и др. // *Аграрная наука*. 2024. № 3. С. 109–113. doi: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113.
7. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) / Д. А. Никитин, М. В. Семенов, Т. И. Чернов и др. // *Почвоведение*. 2022. № 2. С. 228–243. doi: 10.31857/S0032180X22020095.
8. Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation / Z. Kotroczó, Z. Veres, I. Fekete, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 70. P. 237–243.
9. Ферментативная активность орошаемых луговых почв Бухарского оазиса / Л. А. Гафурова, Г. М. Набиева, Д. Ю. Махкамова и др. // *Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса: Коллективная монография / Под редакцией В. В. Окоркова*. Иваново: ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», 2020. С. 13–15.
10. Зинченко М. К., Зинченко С. И. Оценка ферментативной активности серой лесной почвы агросистем // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2019. № 2 (27). С. 5–11. doi: 10.35523/2307-5872-2019-27-2-5-11.
11. Relative impacts of tillage, residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem / Y. E. Navarro-Noya, S. Gomez, N. Montoya-Ciriaco, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. No. 65. P. 86–95. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.05.009.
12. Osler G. H. R., Sommerkorn M. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna // *Ecology*. 2007. No. 88. P. 1611–1621. doi: 10.1890/06-1357.1.
13. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
14. Тихомирова Л. Д. Биологический метод определения плодородия почвы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 1973. № 5. С. 15–18.
15. Wang X., Chi Y., Song S. Important soil microbiota's effects on plants and soils: a comprehensive 30-year systematic literature review // *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 15. P. 1347745. doi: 10.3389/fmicb.2024.1347745.
16. Халикова Л. В., Кавеленова Л. М. Почвенный микробоценоз в агросреде как динамичная система: первичные результаты оценки изменений // *Самарский научный вестник*. 2023. Т. 12. № 2. С. 91–97. doi: 10.55355/snv2023122114.
17. Эффективность применения минеральных удобрений в орошаемом севообороте / Н. Н. Шулико, А. Ю. Тимохин, Е. В. Тукмачева и др. // *Плодородие*. 2023. № 2 (131). С. 82–88. doi: 10.25680/S19948603.2023.131.19.

References

1. Sheikh SA, Atmapoojya SL. Experimental study on factors affecting the efficiency of microbially induced carbonate precipitation in soil. *Materials today proceedings*. 2022; Vol.60. No.4. 275-280 p. doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.530.
2. Provorov NA, Tikhonovich IA. [Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agroecosystems (review)]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2022; Vol.57. 5.

821-831 p. doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.821rus.

3. Belousov AA, Belousova EN, Kukhbudi DD. [Dynamics of catalase activity of ordinary chernozem under conditions of minimized tillage]. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 5 (170). 103-108 p.

4. Magda EV, Mazirov MA, Zinchenko MK. [Catalase and invertase activity under different intensities of mechanical tillage]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2022; 2 (100). 24-30 p.

5. Zavalin AA, Aleshin MA. Ispolzovanie rasteniyami azota v razlichnykh agrotsenozakh. [Nitrogen use by plants in various agrocenoses]. Moscow: FGBNU Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut agrokhimii imeni D.N.Pryanishnikova. 2024; 310 p.

6. Potsepay SN, Anishchenko LN, Semyshev MV. [Soils of xerophytic meadows of Middle Podsenya region: on the accumulation of organic matter and biochemical activity]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 3. 109-113 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113.

7. Nikitin DA, Semenov MV, Chernov TI. [Microbiological indicators of ecological functions of soils (review)]. *Pochvovedenie*. 2022; 2. 228-243 p. doi: 10.31857/S0032180X22020095.

8. Kotroczo Z, Veres Z, Fekete I. Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014; Vol.70. 237-243 p.

9. Gafurova LA, Nabieva GM, Makhkamova DYU. Fermentativnaya aktivnost oroshaemykh lugovykh pochv Bukharskogo oazisa. Sovremennye tendentsii v nauchnom obespechenii agropromyshlennogo kompleksa: kollektivnaya monografiya. [Enzyme activity of irrigated meadow soils of Bukhara oasis. Modern trends in scientific support of the agro-industrial complex: collective monograph]. / Editorship V.V. Okorkov. Ivanovo: FGBNU Verkhnevolzhskiy FANTs. 2020; 13-15 p.

10. Zinchenko MK, Zinchenko SI. [Assessment of enzymatic activity of gray forest soil of agrosystems]. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya*. 2019; 2 (27). 5-11 p. doi: 10.35523/2307-5872-2019-27-2-5-11.

11. Navarro-Noya YE, Gomez S, Montoya-Ciriaco N. Relative impacts of tillage, residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013; No.65. 86-95 p. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.05.009.

12. Osler GHR, Sommerkorn M. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna. *Ecology*. 2007; No.88. 1611-1621 p. doi: 10.1890/06-1357.1.

13. Khaziev FK. Metody pochvennoy enzimologii. [Methods of soil enzymology]. Moscow: Nauka. 2005; 252p.

14. Tikhomirova LD. [Biological method for determining soil fertility]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 1973; 5. 15-18 p.

15. Wang X, Chi Y, Song S. Important soil microbiota's effects on plants and soils: a comprehensive 30-year systematic literature review. *Frontiers in Microbiology*. 2024; Vol.15. 1347745 p. doi: 10.3389/fmicb.2024.1347745.

16. Khalikova LV, Kavelenova LM. [Soil microbiocenosis in the agricultural environment as a dynamic system: primary results of change assessment]. *Samarskiy nauchnyy vestnik*. 2023; Vol.12. 2. 91-97 p. doi: 10.55355/snv2023122114.

17. Shuliko NN, Timokhin AYU, Tukmacheva EV. [Efficiency of mineral fertilizer application in irrigated crop rotation]. *Plodorodie*. 2023; 2 (131). 82-88 p. doi: 10.25680/S19948603.2023.131.19.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Тимохин Артем Юрьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. Агротехнологическим центром Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: timokhin@anc55.ru, ORCID 0000-0002-5120-4068

Шулико Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией микробиологии Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: shuliko@anc55.ru, ORCID 0000-0001-5641-434X

Кубасова Екатерина Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: kbasova.k@mail.ru, ORCID 0009-0003-3166-0028

Тукмачева Елена Васильевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: tukmacheva@anc55.ru, ORCID 0000-0002-1312-3881

Терентьев Алексей Вячеславович – главный научный сотрудник Управления координации научных исследований Государственного университета управления (109542, Российская федерация, г. Москва, Рязанский проспект 99), e-mail: av_terentev@guu.ru, ORCID 0000-0003-3500-2201

Вклад авторов:

А. Ю. Тимохин – концептуализация исследования, научное руководство, формальный анализ, получение финансирования;

Н. Н. Шулико – верификация данных, проведение исследования, написание первоначального текста, редактирование и доработка текста;

Е. В. Кубасова – проведение исследования, написание первоначального текста, визуализация;

Е. В. Тукмачева – проведение исследования, редактирование и доработка текста;

А. В. Терентьев – концептуализация исследования, научное руководство, получение финансирования.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 16.06.2025; одобрена после рецензирования 09.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Timokhin Artem Yurevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Agrotechnological Center of Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: timokhin@anc55.ru, ORCID 0000-0002-5120-4068

Shuliko Natalya Nikolaevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Microbiology Laboratory, Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: shuliko@anc55.ru, ORCID 0000-0001-5641-434X

Kubasova Ekaterina Vladimirovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Microbiology Laboratory of Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: kubasova.k@mail.ru, ORCID 0009-0003-3166-0028

Tukmacheva Elena Vasilevna – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher of Microbiology Laboratory of Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: tukmacheva@anc55.ru, ORCID 0000-0002-1312-3881

Terentev Aleksey Vyacheslavovich – chief researcher of Scientific Research Coordination Department of State University of Management (99 Ryazansky Prospekt, Moscow, Russian Federation, 109542), e-mail: av_terentev@guu.ru, ORCID 0000-0003-3500-2201

Contribution of the authors:

A.Yu. Timokhin – Conceptualization of study, Scientific supervision, Formal analysis, Funding acquisition;

N.N. Shuliko – Data verification, Research implementation, Initial writing, editing, and finalizing the text;

E.V. Kubasova – Research implementation, Initial writing and visualization;

E.V. Tukmacheva – Research implementation, Editing and finalizing the text;

A.V. Terentev – Study conceptualization, Scientific supervision, Funding acquisition.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.
Submitted 16.06.2025; revised 09.06.2026; accepted 25.06.2026.

