

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 239-249.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 3. P. 239-249.

Научная статья
УДК 633.11:631.52(470.56)
doi:10.33284/2658-3135-106-3-239

**Влияние биологических факторов на продуктивность твёрдой пшеницы
в условиях степной зоны Южного Урала**

**Виталий Юрьевич Скороходов¹, Юрий Васильевич Кафтан², Дмитрий Владимирович Митрофанов³,
Николай Алексеевич Максюттов⁴**

¹²³⁴Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹skorohodov.vitali1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4179-7784>

²yu.kaftan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6653-7220>

³dvm.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

⁴maksyutov.n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4394-6325>

Аннотация. Данными исследованиями впервые изучены влияние и пролонгированное действие температуры воздуха, атмосферных осадков, целлюлозоразлагающей активности почвы, содержания нитратного азота на урожайность твёрдой пшеницы в севооборотах и монокультуре в условиях Южного Урала. Целью исследования является определение влияния биологических факторов на продуктивность твёрдой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала и установление взаимосвязи с урожайностью культуры. Полевые исследования проводились в с. Нежинка Оренбургской области с 2002 по 2022 годы. При камеральной обработке данных выявлена корреляционная зависимость урожайности с температурой воздуха мая, июня средней силы $r = -0,49-0,65$, с выпавшими осадками $r = 0,33-0,67$. В посевах твёрдой пшеницы установлена слабая (r от 0,17 до -0,31) корреляционная зависимость между урожайностью культуры и целлюлозолитической активностью почвы. Наилучшим предшественником твёрдой пшеницы в наших исследованиях является сидеральный пар, что подтверждается повышенной целлюлозолитической активностью почвы на фоне минеральных удобрений и формированием средней урожайности $0,97 \pm 0,59$ т с 1 га. Минеральные удобрения усиливают целлюлозолитическую активность при возделывании культуры по чёрному на 0,6 %, по сидеральному пару – на 3 % соответственно.

Ключевые слова: биологическая активность почвы (БАП), продуктивность, нитратный азот, предшественник, минеральные удобрения, севооборот, твёрдая пшеница, монокультура

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2022-0014).

Для цитирования: Влияние биологических факторов на продуктивность твёрдой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, Д.В. Митрофанов, Н.А. Максюттов // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 239-249. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-239>

Original article

**The influence of biological factors on the productivity of durum wheat in the conditions
of the steppe zone of the Southern Urals**

Vitaly Yu Skorokhodov¹, Yuri V Kaftan², Dmitry V Mitrofanov³, Nikolai A Maksyutov⁴

¹²³⁴Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹skorohodov.vitali1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4179-7784>

²yu.kaftan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6653-7220>

³dvm.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

⁴maksyutov.n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4394-6325>

Abstract. These research for the first time studied the influence and prolonged effect of air temperature, precipitation, cellulose-decomposing activity of the soil, the content of nitrate nitrogen on the

durum wheat yield in crop rotations and monoculture in the conditions of the Southern Urals. The aim of the study is to determine the effect of biological factors on the productivity of durum wheat in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals and to establish a relationship with crop yield. Field research was conducted from 2002 to 2022 in Nezhinka village, Orenburg region. A moderate correlation dependence of productivity with air temperature in May and June $r = -0.49 - 0.65$ and with precipitation $r = 0.33 - 0.67$ were revealed during office data processing. In crops of durum wheat, a weak ($r =$ from 0.17 to -0.31) correlation was found between the crop yield and the cellulolytic activity of the soil. The green manure fallow is the best predecessor of durum wheat in our studies, which is confirmed by the increased cellulolytic activity of the soil against the background of mineral fertilizers and the formation of an average yield of 0.97 ± 0.59 tons per 1 ha. Mineral fertilizers increase the cellulolytic activity when cultivating the crop in bare fallow by 0.6%, in green manure by 3%, respectively.

Keywords: soil biological activity (SBA), productivity, nitrate nitrogen, predecessor, mineral fertilizers, crop rotation, durum wheat, monoculture

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2024 FSBRI FRC BST RAS (No. 0526-2022-0014).

For citation: Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Mitrofanov DV, Maksyutov NA. The influence of biological factors on the productivity of durum wheat in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):239-249. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-239>

Введение.

Образование плодородного почвенного слоя неразрывно связано с жизнедеятельностью микроорганизмов и все агротехнические приёмы оказывают влияние на микрофлору почвы (Стифеев А.И. и др., 2019; Беленков А.И. и др., 2014). Эффективное плодородие пашни, её физико-химические и агротехнические свойства зависят от биологической активности почвенной микробиоты (Турусов В.И. и Балюнова Е.А., 2022; Скороходов В.Ю., 2022а). Почвенные микроорганизмы участвуют в процессе разложения клетчатки, накопленной пожнивными и другими остатками, и скорость разрушения указывает на интенсивность процессов, определяющих условия формирования продуктивности сельскохозяйственных культур (Скороходов В.Ю., 2022б).

Целлюлоза разлагается быстрее лигнина в виду её химического состава и структуры (Torres IF et al., 2014). Многие исследователи занимались изучением влияния изменения климата на урожайность пшеницы (Hatfield JL and Dold C, 2018; Çaldag B and Şaylan L, 2010; Tassadit K et al., 2022; Ozdogan M, 2011).

На интенсивность микробиологических процессов в севооборотах положительно влияют чёрные и почвозащитные пары, что объясняется в первую очередь влагонакоплением. Применение минеральных удобрений усиливает целлюлозолитическую активность почвы. По мнению многих учёных, для предотвращения снижения продуктивности твёрдой пшеницы необходимо внесение в почву минеральных удобрений с преобладанием азотных (Киришин В.И., 2020; Замятин С.А. и Максимова Р.Б., 2021; Шоба В.Н. и др., 2017). Способность нитратного азота накапливаться в почве в зависимости от условий аэрации в период цветения твёрдой пшеницы приводит к увеличению урожайности (Шахова О.А., 2022; Сапега В.А. и Турсумбекова Г.Ш., 2020). Азот играет основную роль во всех жизненно важных физиологических и метаболических процессах в растениях, связанных с белком и обеспечивает повышение урожая твёрдой пшеницы (Galieni A et al., 2016; Adnan M et al., 2016). Запасы азота в почве и эффективность использования его существенно влияют на продуктивность твёрдой пшеницы и содержание белка в её зерне (Fortunato S et al., 2019).

Сложные экологические условия, вызванные изменением климата, приводят к серьёзным проблемам выращивания и необходимости увеличения производства зерна твёрдой пшеницы в ближайшие десятилетия (Ray DK et al., 2012).

В связи с этим проводилось изучение влияния климатических факторов, биологической активности почвы и содержания нитратного азота на продуктивность твёрдой пшеницы в условиях Южного Урала.

Цель исследования. Определить влияние биологических факторов на продуктивность твёрдой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала.

В задачи исследования входило: 1) Провести анализ погодных условий вегетационного периода; 2) Выявить степень биологической активности почвы; 3) Установить содержание нитратного азота в почве; 4) Определить урожайность культуры в системе севооборота и при моновозделывании; 5) Выявить корреляционные связи между изучаемыми факторами.

Материалы и методы исследования.

Объекты исследования: посевы яровой твёрдой пшеницы в многополье, двуполье и монокультуре, а также почвообразцы под вариантами опытов.

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Место расположения опытного участка: с. Нежинка Оренбургской области (координаты – 51.775125° с. ш. и 55. 306547 в. д.). Почва: чернозём южный карбонатный среднесиловый малогумусный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса (в пахотном слое почвы) 3,2-4,0 %, общего азота – 0,20-0,31 %, общего фосфора – 0,14-0,22 %, обменного калия – 300-380 мг/кг почвы, рН=7,0-8,1.

Схема эксперимента. Исследование проводилось в богарных условиях на стационарном опытном участке отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

I. Шестиполье: 1. Пар чёрный кулисный – озимая рожь – твёрдая пшеница (исследуемая культура) – просо – мягкая пшеница – ячмень; 2. Пар чёрный кулисный – исследуемая культура – мягкая пшеница – горох – мягкая пшеница – ячмень; 3. Пар занятый почвозащитный – исследуемая культура – мягкая пшеница – просо – мягкая пшеница – ячменя; 4. Пар сидеральный – исследуемая культура – мягкая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень; II. Двуполье: 5. Мягкая пшеница – исследуемая культура; 6. Кукуруза на силос – исследуемая культура; III. Монопосев – исследуемой культуры.

Полевые исследования проводились в 2002-2022 годах с закладкой опыта в четырёх повторениях по методике Доспехова Б.А. (2011). Размер делянок посевов яровой твёрдой пшеницы в многополье составил 14,4×90 м (из них 14,4×30 м – удобрённый фон), в двуполье и монокультуре – 7,2×90 м (из них 7,2×30 м – удобрённый фон). Длина неудобренного фона делянки составила 60 м. Под основную обработку почвы предшественника на удобренном фоне вносились минеральные удобрения в норме N₄₀P₈₀K₄₀. Норма высева семян исследуемой культуры твёрдой пшеницы составила 4,0 млн всхожих семян на 1 га (сорта – Оренбургская 10 и Оренбургская 21). Оценка погодных условий вегетационного периода проводилась в сравнении со среднесиловыми данными Оренбургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Определение биологической активности почвы проводили по интенсивности разложения целлюлозы методом Мишустина Е.Н., Вострова И.С. и Петровой А.Н. При исследовании степени разложения льняного полотна, ткань взвешивали, нашивали на стекло и прикапывали на глубину пахотного слоя (0-30 см) в исследуемых делянках. Через 3 месяца аппликации извлекали из почвы и взвешивали ткань в условиях лаборатории. По потере массы льняной ткани определяли интенсивность разложения клетчатки почвенными микроорганизмами.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы лаборатории агроэкологии и почвоведения и ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Ионномер лабораторный И-160 (РУП "Гомельский завод измерительных приборов", Беларусь, г. Гомель), весы лабораторные электронные MB210-A (ЗАО "Сартогосм", г.С.-Петербург).

Статистическая обработка. Полученные данные обрабатывали с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 12.0» («Stat Soft Inc.», США). Результаты представлены в виде усреднённых значений количественного содержания нитратного азота в почве, биологической активности почвы, урожайности твёрдой яровой пшеницы (M) и стандартной ошибки среднего (SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по критерию Стьюдента.

Результаты исследования.

По результатам исследований, в 2021 году среднегодовая температура воздуха превысила на 2,1 °С среднемноголетние значения Оренбургской метеообсерватории. Вегетационный период (май-август) стал теплее по сравнению со среднемноголетними данными на 1,2 °С (табл. 1).

Таблица 1. Показатели температуры воздуха, число суховейных дней и выпавших осадков, 2021 г.
Table 1. Air temperature indicators, number of dry winds days and precipitation in 2021

Значение / Mean	Показатели / Indicators	За сель- скохозяй- ственный год / For agricultural year	Месяц / Month				Средняя Т °С и ∑ осад- ков / Medium T°C and ∑ precipitation	Дни с относи- тельной влажностью воздуха 30 % и ниже / Days with rela- tive humidity of 30% or less
			май / May	июнь / June	июль / July	август / August		
Среднее / Average	Т О	5,7	16,2 35	20,6 29	22,7 39	22,0 32	20,3 126	68
Средне- многолетнее / Average long-term	Т О	3,6	15,0 38	19,7 44	21,9 41	20,0 32	19,1 155	56
Разница / Difference	Т О	+2,1	+1,2 -3	+0,9 -15	+0,8 -2	+2,0 -10	+1,3 -29	+12

Примечание: Т – температура, О – осадки

Note: T – temperature, O – precipitation

В мае и летние месяцы превышение температурного режима составило от 0,8 до 2,0 °С. В мае среднемноголетнее повышение температуры воздуха достигло 1,2 °С, в июне – 0,9, июле – 0,8 в августе – 2,0 °С. Среднее количество осадков за вегетационный период (относительно нормы 155 мм) составило 126 мм, что ниже среднемноголетних данных на 29 мм. В целом за годы исследований отмечается недобор выпавших осадков за сельскохозяйственный год относительно среднемноголетних данных, составляющий 3 мм. В период вегетации полевых культур в годы эксперимента отмечается увеличение количества дней с атмосферной влажностью 30 % и ниже на 12 суток.

На продуктивность твёрдой пшеницы влияет ряд факторов, включающих различных предшественников, последствие севооборотов с применением и пролонгированным действием минеральных удобрений и без них. Нашим исследованием рассматривается влияние предшествующих культур твёрдой пшеницы на её урожайность при возделывании в двуполье, шестиполье и бессменно. Исследованиями выявлено пролонгированное влияние культур-предшественников и их набор в севооборотах. При этом средняя урожайность твёрдой пшеницы в двуполье за 21 год экспериментов составила при использовании минеральных удобрений 0,79 т/га, без их применения – 0,69 т/га (табл. 2).

Возделывание твёрдой пшеницы без применения удобрений в системе шестипольных севооборотов с озимыми приводит к урожайности 0,82 т/га, с чёрным паром – 0,78, с почвозащитными – 0,85, с сидеральными – 0,81 т/га. Биологическая активность почвы (целлюлозолитическая) характеризуется степенью разложения льняного полотна. Наибольшая целлюлозолитическая активность микроорганизмов в годы исследований отмечается в посевах твёрдой пшеницы на фоне минеральных удобрений в последствии чёрного пара 10,3±7,4 % и сидерального – 12,0±7,45 %. Корреляционная зависимость урожайности культуры и целлюлозоразлагающая активность почвы в этих вариантах – прямая слабая, $r = 0,02-0,17$. В бессменных посевах твёрдой пшеницы целлюлозолитическая активность почвы на фоне минеральных удобрений составила 9,8±8,0 %, без них – 9,1±5,8 %.

Таблица 2. Урожайность твёрдой пшеницы по различным предшественникам на двух фонах почвенного питания в сопряжении с биологической активностью почвы (2002-2022 годы)
Table 2. The yield of durum wheat for various predecessor on two backgrounds of soil nutrition in conjunction with the biological activity of the soil (2002-2022)

Вариант / Variant	Предшественник / Predecessor	Показатели / Indicators					
		БАП, % / SBA, %			урожайность, т с 1 га / yield, t per 1 ha		
		фон питания / feeding background		разница / difference	фон питания / feeding background		разница / difference
		A	B		A	B	
Шестиполье / Six-field	Озимая рожь / Winter rye	9,8*±6,81**	9,7*±7,32**	+0,1	0,87*±0,527**	0,82*±0,596**	+0,05
	Чёрный пар / bare fallow	10,3±7,40	9,7±5,71	+0,6	0,85±0,653	0,78±0,669	+0,07
	Занятый пар / busy fallow	9,8±7,86	10,9±6,46	-1,1	0,91±0,588	0,85±0,626	+0,06
	Сидеральный / green manure	12,0±7,45	9,0±5,71	+3,0	0,97±0,588	0,91±0,649	+0,06
Двуполье / double field	Пшеница / wheat	9,6±5,74	10,0±6,46	-0,4	0,79±0,536	0,69±0,436	+0,10
	Кукуруза / corn	9,9±4,02	9,6±6,62	+0,3	0,79±0,406	0,77±0,495	+0,02
Яровая твёрдая пшеница / Spring solid wheat		0,70±0,360	9,8±8,00	+0,7	0,64±0,405	0,70±0,360	+0,06
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	A,B	0,76	0,698,6		0,10	0,09	
	A+B		0,79	-		0,14	-

Примечание: М* – усреднённые значения без учёта лет отсутствующей урожайности;

**±SEM – стандартная ошибка средней; БАП – биологическая активность почвы

Note: M* – average values without taking into account the years of missing yields;

**±SEM – is the standard error of the mean; SBA – soil biological activity

Наибольший расход почвенного нитратного азота за период вегетации культуры отмечается в постсидеральном варианте без применения минеральных удобрений 1,6 мг, на фоне удобрений – 1,2 мг на 100 г почвы (табл. 3).

Пролонгированное влияние чёрного пара парозанимающей сидеральной злаково-бобовой смеси заключается в накоплении и фиксации нитратного азота, активизирующего микробиологические почвенные процессы.

Разница в содержании нитратного азота составляет в весенний период 0,4 мг, в осенний – до 0,8 мг. Расход макроэлементов связан в первую очередь с повышенной деятельностью микроорганизмов, где отмечается прямая корреляционная связь при применении минеральных удобрений $r=0,36$ и неудобренном – $r=0,37$. В варианте возделывания твёрдой пшеницы по почвозащитному пару отмечается большой вынос парозанимающей культурой минеральных веществ, в том числе нитратного азота.

В данном варианте отмечается наибольшая корреляционная зависимость биологической активности почвы от содержания нитратного азота на фоне удобрений $r=0,39$. В двуполье, при чередовании исследуемой культуры с кукурузой, содержание N-NO₃ на фоне удобрений составляет в весенний период 8,6 мг и 8,2 мг/100 г почвы – осенью. Количественное содержание нитратного азота в монопосевах культуры к осени имеет наименьшие показатели по двум фонам питания

(5,5 мг – на удобренном и 5,2 мг – на неудобренном фоне), что объясняется длительным её возделыванием и при анализе связи урожайности зерна с содержанием макроэлемента имеет слабую отрицательную связь в весенний период $r=0,13$ до $-0,34$ и осенний – $r=-0,02$ до $-0,33$.

Таблица 3. Содержание нитратного азота в почве под посевом яровой твёрдой пшеницы по различным предшественникам в начале и конце вегетации культуры в среднем за 2002-2022 годы

Table 3. The content of nitrate nitrogen in the soil under the sowing of spring durum wheat for various predecessors at the beginning and end of the growing season on average for 2002-2022

Время года / Seasons	Фон питания / Feeding background	Предшественник в севообороте, бессменный посев / Predecessor in crop rotation, permanent sowing							HCP ₀₅ / LSD ₀₅	
		шестиполье /six-field				двуполье / double field		монополев твёрдой пшеницы / mono- sowing durum wheat		
		озимая рожь / winter rye	пары / fallow			мягкая пшеница / soft wheat	кукуруза/ corn			
			чёр- ный / bare	зая- тый пар /busy fallow	сиде- раль- ный / green manure					
Весна/ Spring	А	7,6*±4,14**	8,1±5,21	6,8±3,69	8,0±4,63	8,2±5,24	8,6±4,71	7,5±4,60	0,53	
	В	6,3±3,52	6,9±4,30	6,0±2,94	7,6±4,82	6,7±4,13	6,6±4,34	6,8±3,40	0,46	0,57
	разница / difference	+1,3	±1,2	+0,8	+0,4	+1,5	+2,0	+0,7	-	-
Осень / Autumn	А	6,5±4,21	6,7±4,22	7,3±4,86	6,8±4,23	6,7±4,67	8,2±4,62	5,5±4,89	0,75	
	В	5,6±4,02	6,2±3,89	6,1±4,39	6,0±4,44	6,1±4,62	5,9±4,21	5,2±3,77	0,32	0,78
	разница / difference	+0,9	+0,5	+1,2	+0,8	+0,6	+2,3	+0,3	-	-
R	А	-1,1	-1,4	+0,5	-1,2	-1,5	-0,4	-2,0	-	-
	В	-0,7	-0,7	+0,1	-1,6	-0,6	-0,7	-1,6	-	-

Примечание: М* – усреднённые значения количественного содержания нитратного азота в почве; **±SEM – стандартная ошибка средней; R – расход за вегетацию. А – удобренный фон, В – неудобренный фон.

Note: M* – average values of the quantitative content of nitrate nitrogen in the soil; **±SEM – is the standard error of the mean; R – consumption for the growing season, A – fertilized background, B – unfertilized background.

Обсуждение полученных результатов.

Биологическая активность почвы снижается при неблагоприятных температурном и водном режимах года с вариацией разложения льняной ткани от 12,4 до 20,8 % (Сайдяшева Г.В. и Зайцева К.Г., 2022). В годы с сильной засушливостью степень разложения полотна льна по чистому пару – 15,8 %, во влажные – 30,7 % (Егорова Г.С., 2015). Использование минеральных удобрений усиливает целлюлолитическую активность почвы, причём наибольшая (12,6 %) отмечается в посевах культуры в последствии сидерального пара за счёт увеличения содержания почвенной органики (Максютов Н.А. и др., 2022). Разложение сложной органики микроорганизмами обеспечивает высвобождение доступного для растений азота (Cai J et al., 2018). В сидеральном севообороте обеспечивается накопление макроэлементов в пахотном слое за счёт использования минеральных удобрений и парозанимающей культуры. Увеличение микроорганизмов на удобренных почвах активизирует почвенные процессы и во многом зависит от предшественника, почвенных условий и ротации культур в севообороте. Без использования минеральных удобрений биологическая активность поч-

вы снижается на 7,4 % (Скороходов В.Ю., 2021). Возврат органического вещества сидеральной массой на фоне минеральных удобрений способствует повышению нитратного почвенного азота, усиливает биологическую активность, что положительно сказывается на урожайности выращиваемых культур. Применение минеральных удобрений в шестипольных севооборотах приводит к увеличению целлюлозолитической активности почвы при возделывании культуры по чёрному пару на 0,6 %, по сидеральному – на 3,0 %. Моновозделывание твёрдой пшеницы уступает севооборотам на двух фонах почвенного питания с разницей урожайности 0,23 т/га.

Заключение.

Таким образом, в засушливых условиях степной зоны Южного Урала биологические факторы (температура воздуха, выпадающие осадки, суховейные дни, количественное содержание элементов питания почвы и др.) являются основополагающими в формировании урожайности твёрдой пшеницы и в целом ряда сельскохозяйственных культур. В годы проведения исследований отмечались превышение температуры воздуха на 2,1 °С и недобор осадков 29 мм относительно среднесезонных значений. Твёрдая пшеница положительно реагирует на применение и пролонгированное действие минеральных удобрений в системе шестипольных севооборотов, при этом урожайность культуры составляет 0,85-0,97 т/га. Возделывание твёрдой пшеницы в шестипольных севооборотах сопровождается повышенной целлюлозолитической активностью почвы на фоне минеральных удобрений, особенно в пролонгации чёрного и сидерального паров (10,3-12,0 %), связанная с фиксацией к накоплению нитратного азота сидеральной смесью и чёрным паром.

Список источников

1. Беленков А.И., Зеленёв А.В., Амантаев Б.О. Приёмы биологизации в севооборотах Нижнего Поволжья // Земледелие. 2014. № 1. С. 23-26. [Belenkov AI, Zelenev AV, Amantaev BO. Methods of biologization in crop rotations of lower Volga Region. Zemledelie. 2014;1:23-26. (In Russ.)].
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высш. с.-х. учеб. заведений по агрономическим специальностям. Изд. 6-е, перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350 с. [Dospheov BA. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnik dlja studentov vysshih sel'skohoz'jajstvennyh uchebnyh zavedenij po agronomicheskim special'nostjam. Izd. 6-e, perepech. s 5-go izd. 1985 g. Moscow: Al'jans; 2011:350 p. (In Russ.)].
3. Егорова Г.С., Шиянов К.В., Несмиянова Е.А. Микробиологическая активность почвы в посевах озимой тритикале в зависимости от предшественников и способов основной обработки почвы // Плодородие. 2015. № 2(83). С. 39-40. [Egorova GS, Shiyanov KV, Nesmiyanova EA. Microbiological activity of soil in winter triticale plantations depending on preceding crops and basic soil cultivation. Plodorodie. 2015;2(83):39-40. (In Russ.)].
4. Замятин С.А., Максимова Р.Б. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 39-44. [Zamyatin SA, Maksimova RB. The effect of crop rotation on the soil biological activity. Grain Economy of Russia. 2021;4(76):39-44. (In Russ.)]. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44
5. Кирюшин В.И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. 2020. № 7. С. 871-879. [Kiryushin VI. Methodology for integrated assessment of agricultural land. Pochvovedenie. 2020;7:871-879. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S0032180X20070060
6. Резервы повышения урожайности яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири / В.Н. Шоба, В.К. Каличкин, С.А. Ким, А.В. Каличкин // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 31-33. [Shoba VN, Kalichkin VK, Kim SA, Kalichkin AV. Reserves to increase yield of spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2017;31(6):31-33. (In Russ.)].

7. Сайдяшева Г.В., Зайцева К.Г. Влияние применения минеральных, биоминеральных удобрений и биопрепарата Бисолбифит на биологическую активность почвы и урожайность яровой пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1(72). С. 101-107. [Saidyasheva GV, Zaitseva KG. Effect of mineral and biomineral fertilizers and BisolbiFit biological preparation on the biological activity of soil and spring wheat yield. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2022;15(1-72):101-107. (In Russ.)]. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_101
8. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твёрдой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 114-123. [Sapega VA, Tursumbekova GSh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region. Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):114-123. (In Russ.)]. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
9. Скороходов В.Ю. Биологическая активность почвы как фактор влияния на урожайность при возделывании яровой твёрдой пшеницы в монокультуре и севооборотах степной зоны Южного Урала // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2022б. № 3(67). С. 195-202. [Skorokhodov VYu. Soil biological activity as a factor of influence on yield during the cultivation of spring hard wheat in monoculture and crops in the steppe zone of Southern Urals. 2022b;3(67):195-202. (In Russ.)]. doi: 10.32786/2071-9485-2022-03-23
10. Скороходов В.Ю. Продуктивность пшеницы на фоне биологической активности почвы в севооборотах и монопосеве в условиях Южного Урала // Вестник КрасГАУ. 2022а. № 11(188). С. 62-69. [Skorokhodov VYU. Wheat productivity on the soil biological activity background in crop rotations and monosowing under the Southern Urals conditions. Bulliten KrasSAU. 2022a;11(188):62-69. (In Russ.)]. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-62-69
11. Скороходов В.Ю. Продуктивность яровой мягкой пшеницы в сопряжении с содержанием макроэлементов и биоактивностью почвы на чернозёмах южных степной зоны Южного Урала // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(54). С. 46-53. [Skorokhodov VYu. Productivity of spring soft wheat in conjunction with the content of macroelements and bioactivity of soil on the black soils of the southern steppe zone of the Southern Urals. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021;2(54):46-53. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-46-53
12. Стифеев А.И., Лазарев В.И., Никитина О.В. Роль микроорганизмов в круговороте веществ и почвенном плодородии Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 9. С. 22-29. [Stifeev AI, Lazarev VI, Nikitina OV. The role of microorganisms in the circulation of substances and soil fertility of the Central Black Earth. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. 2019;9:22-29. (In Russ.)].
13. Турусов В.И., Балюнова Е.А. Биологическая активность почвы под озимой пшеницей в различных севооборотах. Плодородие. 2022. № 3(126). С. 68-71. [Turusov VI, Balyunova EA. Biological activity of soil under winter wheat in different cropped rotations. Plodorodie. 2022;3(126):68-71. (In Russ.)]. doi: 10.25680/S19948603.2022.126.18
14. Шахова О.А. Целлюлозоразлагающая способность микроорганизмов в зависимости от способов обработки серых лесных почв Северного Зауралья // Агропродовольственная политика России. 2022. № 2-3. С. 35-38. [Shakhova OA. Cellulose-decomposing ability of microorganisms depending on the methods of processing gray forest soils of the Northern Trans-Urals. 2022;2-3:35-38. (In Russ.)]. doi: 10.35524/22270280_2022_0203_35
15. Эффективность зеленого удобрения под яровую твёрдую пшеницу в полевых севооборотах степной зоны Южного Урала: монография / Н.А. Максютов, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов, Д.В. Митрофанов, Ю.В. Кафтан. Оренбург: ФНЦ БСТ РАН – ООО Типография «Агенство Пресса», 2022. 125 с. [Maksjutov NA, Zorov AA, Skorokhodov VJu, Mitrofanov DV, Kaftan JuV. Effektivnost' zelenogo udobrenija pod jarovuju tvjorduju pshenicu v polevyh sevooborotah stepnoj zony Uzhnogo Urala: monografija. Orenburg: FNC BST RAN – ООО Tipografija «Agenstvo Pressa»; 2022:125 p. (In Russ.)].

16. Adnan M, Shah Z, Ullah H, Khan B, Arshad M, Mian IA, Khan GA, Alam M, Basir A, Rahman IU, Ali M, Khan WU. Yield response of wheat to nitrogen and potassium fertilization. *Pure Applied Biology*. 2016;5(4):868-875. doi: 10.19045/bspab.2016.50109
17. Cai J, Xia X, Chen H, Wang T, Zhang H. Decomposition of fertilizer use intensity and its environmental risk in China's grain production process. *Sustainability*. 2018;10(2):498. doi: 10.3390/su10020498
18. Çaldag B, Şaylan L. İklim değişiminin buğday verimine etkilerinin incelenmesi: Kırklareli örneği. *İtüdergisi/d mühendislik*. 2010;9(5):107-112.
19. Fortunato S, Nigro D, Paradiso A, Cucci G, Lacolla G, Trani R, Agrimi G, Blanco A, Concetta de Pinto M, Gadaleta A. Nitrogen metabolism at tillering stage differently affects the grain yield and grain protein content in two durum wheat cultivars. *Diversity*. 2019;11(10):186. doi: 10.3390/d11100186
20. Galieni A, Stagnari F, Visioli G, Marmioli N, Specca S, Angelozzi G, D'Egidio S, Pisante M. Nitrogen fertilisation of durum wheat: a case of study in Mediterranean area during transition to conservation agriculture. *Italian Journal of Agronomy*. 2016;11(1):662. doi: 10.4081/ija.2016.662
21. Hatfield JL, Dold C. Agroclimatology and wheat production: Coping with climate change. *Frontiers in Plant Science*. 2018;20(9):224. doi:10.3389/fpls.2018.00224
22. Ozdogan M. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011;141(1-2):1-12. doi: 10.1016/j.agee.2011.02.001
23. Ray DK, Ramankutty N, Mueller ND, West PC, Foley JA. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*. 2012;3:1293. doi: 10.1038/ncomms2296
24. Tassadit K, Smadhi D, Azzeddine M. Modeling the impact of future climate change impacts on rainfed durum wheat production in Algeria. *Climate*. 2022;10(4):50. doi: 10.3390/cli10040050
25. Torres IF, Bastida F, Hernandez T, Bombach P, Richow H, Garcia C. The role of lignin and cellulose in the carbon-cycling of degraded soils under semiarid climate and their relation to microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014;75:152-160. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.04.007

References

1. Belenkov AI, Zelenev AV, Amantaev BO. Methods of biologization in crop rotations of lower Volga Region. *Agronomy*. 2014;1:23-26.
2. Dospheov BA. Field experiment methodology: (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher students of agricultural educational institutions in agronomic specialties. 6-th edition, reprinted from 5th edition of 1985. Moscow: Al'jans; 2011:350 p.
3. Egorova GS, Shiyanov KV, Nesmiyanova EA. Microbiological activity of soil in winter triticale plantations depending on preceding crops and basic soil cultivation. *Soil Fertility*. 2015;2(83):39-40.
4. Zamyatin SA, Maksimova RB. The effect of crop rotation on the soil biological activity. *Grain Economy of Russia*. 2021;4(76):39-44. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44
5. Kiryushin VI. Methodology for integrated assessment of agricultural land. *Eurasian Soil Science*. 2020;7:871-879. doi: 10.31857/S0032180X20070060
6. Shoba VN, Kalichkin VK, Kim SA, Kalichkin AV. Reserves to increase yield of spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2017;31(6):31-33.
7. Saidyasheva GV, Zaitseva KG. Effect of mineral and biomineral fertilizers and BisolbiFit biological preparation on the biological activity of soil and spring wheat yield. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1-72):101-107. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_101
8. Sapega VA, Turumbekova GSh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(2):114-123. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123

9. Skorokhodov VYu. Soil biological activity as a factor of influence on yield during the cultivation of spring hard wheat in monoculture and crops in the steppe zone of Southern Urals. 2022b;3(67):195-202. doi: 10.32786/2071-9485-2022-03-23
10. Skorokhodov VY. Wheat productivity on the soil biological activity background in crop rotations and monosowing under the Southern Urals conditions. Bulliten KrasSAU. 2022a;11(188):62-69. doi: 10.36718/1819-4036-2022-11-62-69
11. Skorokhodov VYu. Productivity of spring soft wheat in conjunction with the content of macroelements and bioactivity of soil on the black soils of the southern steppe zone of the Southern Urals. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021;2(54):46-53. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-46-53
12. Stifeev AI, Lazarev VI, Nikitina OV. The role of microorganisms in the circulation of substances and soil fertility of the Central Black Earth. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2019;9:22-29.
13. Turusov VI, Balyunova EA. Biological activity of soil under winter wheat in different cropped rotations. Soil Fertility. 2022;3(126):68-71. doi: 10.25680/S19948603.2022.126.18
14. Shakhova OA. Cellulose-decomposing ability of microorganisms depending on the methods of processing gray forest soils of the Northern Trans-Urals. 2022;2-3:35-38. doi: 10.35524/22270280_2022_0203_35
15. Maksjutov NA, Zorov AA, Skorokhodov VJu, Mitrofanov DV, Kaftan JuV. Efficiency of green fertilizer for spring durum wheat in field crop rotations of the steppe zone of the Southern Urals: monograph. Orenburg: FNC BST RAS – Printing house «Agentstvo Pressa» Ltd.; 2022:125 p.
16. Adnan M, Shah Z, Ullah H, Khan B, Arshad M, Mian IA, Khan GA, Alam M, Basir A, Rahman IU, Ali M, Khan WU. Yield response of wheat to nitrogen and potassium fertilization. Pure Applied Biology. 2016;5(4):868-875. doi: 10.19045/bspab.2016.50109
17. Cai J, Xia X, Chen H, Wang T, Zhang H. Decomposition of fertilizer use intensity and its environmental risk in China's grain production process. Sustainability. 2018;10(2):498. doi: 10.3390/su10020498
18. Çaldag B, Şaylan L. İklim değişiminin buğday verimine etkilerinin incelenmesi: Kırklareli örneği. Itüdergisi/d mühendislik. 2010;9(5):107-112.
19. Fortunato S, Nigro D, Paradiso A, Cucci G, Lacolla G, Trani R, Agrimi G, Blanco A, Concetta de Pinto M, Gadaleta A. Nitrogen metabolism at tillering stage differently affects the grain yield and grain protein content in two durum wheat cultivars. Diversity. 2019;11(10):186. doi: 10.3390/d11100186
20. Galieni A, Stagnari F, Visioli G, Marmioli N, Specca S, Angelozzi G, D'Egidio S, Pisante M. Nitrogen fertilisation of durum wheat: a case of study in Mediterranean area during transition to conservation agriculture. Italian Journal of Agronomy. 2016;11(1):662. doi: 10.4081/ija.2016.662
21. Hatfield JL, Dold C. Agroclimatology and wheat production: Coping with climate change. Frontiers in Plant Science. 2018;20(9):224. doi:10.3389/fpls.2018.00224
22. Ozdogan M. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2011;141(1-2):1-12. doi: 10.1016/j.agee.2011.02.001
23. Ray DK, Ramankutty N, Mueller ND, West PC, Foley JA. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. Nature Communications. 2012;3:1293. doi: 10.1038/ncomms2296
24. Tassadit K, Smadhi D, Azzeddine M. Modeling the impact of future climate change impacts on rainfed durum wheat production in Algeria. Climate. 2022;10(4):50. doi: 10.3390/cli10040050
25. Torres IF, Bastida F, Hernandez T, Bombach P, Richow H, Garcia C. The role of lignin and cellulose in the carbon-cycling of degraded soils under semiarid climate and their relation to microbial biomass. Soil Biology and Biochemistry. 2014;75:152-160. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.04.007

Информация об авторах:

Виталий Юрьевич Скороходов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 89068458745.

Юрий Васильевич Кафтан, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 89878994748.

Дмитрий Владимирович Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 89878559895.

Николай Алексеевич Максютков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: 892285759209.

Information about the authors:

Vitaliy Yu Skorokhodov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Gagarin Ave., 27/1, 460051, Orenburg, tel.: 89068458745.

Yuri V Kaftan, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Agriculture and Resource-saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Gagarin Ave. 27/1, 460051, Orenburg, tel.: 89878994748.

Dmitry V Mitrofanov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Agriculture and Resource-saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89878559895.

Nikolay A Maksyutov, Doc. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher of the Department of Agriculture and Resource-saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 892285759209.

Статья поступила в редакцию 08.06.2023; одобрена после рецензирования 23.06.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was submitted 08.06.2023; approved after reviewing 23.06.2023; accepted for publication 11.09.2023.