

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 187-200.  
Animal Husbandry and Fodder Production.2025.Vol. 108. No. 1. P. 187-200.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья  
УДК 633.11:631.816.22:631.559 (470.55/.58)  
doi:10.33284/2658-3135-108-1-187

**Влияние погодных условий и целлюлозолитической активности почвы на урожайность  
твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала**

**Виталий Юрьевич Скороходов<sup>1</sup>, Дмитрий Владимирович Митрофанов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

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

<sup>2</sup>dvm.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

**Аннотация.** Работа посвящена проблематике оценки зависимости продуктивности твердой пшеницы от ряда факторов, в нестабильных климатических условиях. Впервые изучено влияние температуры воздуха, атмосферных осадков, суховейных дней, целлюлозолитической активности и содержания нитратного азота в почве на продуктивность твердой пшеницы в системе шести-польных, двупольных севооборотов и монокультуре в засушливых условиях Южного Урала. Полевые опыты проводили на многолетнем экспериментальном участке по севооборотам и монокультурам. Посевы твердой пшеницы размещали в севооборотах и монокультуре возле с. Нежинка Оренбургской области (координаты: 51.775125°с.ш. и 55.306547° в.д.). В статье представлены и средние значения (2002-2022 гг.) температуры воздуха – 5,7-22,7 °С, осадков – 22-364 мм, числа суховейных дней – 68, целлюлозолитической активности почвы – 0,69-0,76 %, содержания нитратного азота – 0,32-0,75 мг/100 г почвы, урожайности культуры – 0,48-0,97 т/га. Выявлена корреляционная связь урожайности зерна с температурой воздуха мая, июня ( $r=0,49-0,65$ ) и за период вегетации ( $r=0,40-0,47$ ), с выпавшими осадками мая-июня ( $r=0,33-0,67$ ) и за май-август ( $r=0,44-0,60$ ), с числом суховейных дней ( $r=0,30-0,41$ ), с гидротермическим коэффициентом мая-июня ( $r=0,41-0,76$ ) и за вегетационный период ( $r=0,50-0,66$ ). Наименьшая взаимосвязь погодных факторов с урожайностью отмечена в июле и августе. Слабая связь выявлена между целлюлозолитической активностью почвы и урожайностью ( $r=0,17-0,31$ ). Отмечена слабая зависимость урожайности зерна с содержанием нитратного азота в почве после посева культуры ( $r=0,13-0,34$ ) и разницей (N-NO<sub>3</sub>) за вегетацию ( $r=0,01-0,17$ ). В засушливых условиях Южного Урала отмечается замедление жизнедеятельности микрофлоры из-за недостатка почвенной влаги, что способствует снижению связи целлюлозолитической активности с урожайностью яровой твердой пшеницы. Таким образом, метеоусловия являются основополагающими в формировании урожайности яровой твердой пшеницы.

**Ключевые слова:** твердая пшеница, целлюлозолитическая активность почвы, нитратный азот, урожайность, севооборот, монокультура, предшественник, минеральные удобрения

**Благодарности:** работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024-2027 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022-0014).

**Для цитирования:** Скороходов В.Ю., Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий и целлюлозолитической активности почвы на урожайность твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 187-200. [Skorokhodov VYu, Mitrofanov DV. The influence of weather conditions and cellulolytic activity of the soil on the yield of durum wheat in the steppe zone the Southern Urals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):187-200. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-187>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

**The influence of weather conditions and cellulolytic activity of soil on the yield of durum wheat in the steppe zone of the Southern Urals**

Vitaly Yu Skorokhodov<sup>1</sup>, Dmitry V Mitrofanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

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

<sup>2</sup>dvm.80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

**Abstract.** The work is devoted to the problems of assessing the dependence of durum wheat productivity on a number of factors in unstable climatic conditions. In the presented work, the influence of air temperature, precipitation, dry wind days, cellulolytic activity and nitrate nitrogen content in the soil on the productivity of durum wheat in the system of six-field, two-field crop rotations and monoculture in the arid conditions of the Southern Urals was studied for the first time. Field experiments were carried out on a long-term experimental plot for crop rotations and monocultures. Durum wheat crops were placed in crop rotations and monoculture near the village of Nezhinka, Orenburg region (coordinates: 51.775125° N and 55.306547° E). Research (2002-2022) established average values of air temperature - 5.7-22.7 °C, precipitation - 22-364 mm, number of dry wind days - 68, cellulolytic activity of the soil - 0.69-0.76%, nitrate nitrogen content - 0.32-0.75 mg/100 g of soil, crop yield - 0.48-0.97 t/ha. A correlation was found between grain yield and air temperature in May, June ( $r = 0.49-0.65$ ) and during the growing season ( $r = 0.40-0.47$ ), with precipitation in May, June ( $r = 0.33-0.67$ ) and during May-August ( $r = 0.44-0.60$ ), with the number of dry wind days ( $r = 0.30-0.41$ ), with the hydrothermal coefficient in May, June ( $r = 0.41-0.76$ ) and during the growing season ( $r = 0.50-0.66$ ). The lowest relationship between weather factors and yield was noted in July and August. A weak relationship was found between cellulolytic activity of the soil and yield ( $r = 0.17-0.31$ ). A weak dependence of grain yield on the nitrate nitrogen content in the soil after sowing the crop ( $r = 0.13-0.34$ ) and the difference (N-NO<sub>3</sub>) during the growing season ( $r = 0.01-0.17$ ) was noted. In the arid conditions of the Southern Urals, a slowdown in the vital activity of microflora is noted due to a lack of soil moisture, which contributes to a decrease in the relationship between cellulolytic activity and the yield of spring durum wheat. Thus, weather conditions are fundamental in the formation of the yield of spring durum wheat.

**Keywords:** durum wheat, cellulolytic activity of the soil, nitrate nitrogen, yield, crop rotation, monoculture, precursor, mineral fertilizers

**Acknowledgments:** the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2027 FSBRI FRC BST RAS (No FNWZ-2022-0014).

**For citation:** Skorokhodov VYu, Mitrofanov DV. The influence of weather conditions and cellulolytic activity of the soil on the yield of durum wheat in the steppe zone the Southern Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):187-200. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-187>

**Введение.**

Недостатком современного земледелия является недооценка биологических факторов, приводящих к обострению экологических проблем, требующих значительных изменений в агротехнологиях. Новым этапом в развитии сельского хозяйства является биологизация земледелия, способствующая повышению плодородия почв и продуктивности полевых культур (Маркова И.Н., 2024). Биоактивность почвы становится важнейшим показателем уровня плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур. Почвенные микроорганизмы, разрушая клетчатку, влияют на процессы формирования урожайности сельскохозяйственных культур (Скорухов В.Ю. и др., 2023). При дефиците осадков вегетационного периода микробиологические процессы значительно подавлены. По полученным данным, для жизнедеятельности микроорганизмов сложились благоприятные условия по сумме выпавших осадков (май-июнь – 66,4-75,3 мм) и эффективных температур (1095-1089 °C), способствующие разложению льняного полотна на 44,2-49,6 % (Подсевалов М.И. и др., 2017).

В других исследованиях наблюдалась высокая активность почвенных микроорганизмов (17,0-30,6 %) в паровых полях и по непаровым предшественникам (Круглов Ю.В. и др., 2018). Использование минеральных удобрений усиливает почвенную целлюлозолитическую активность (Санникова Н.В., 2021). По данным ученых ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН наибольшая целлюлозолитическая активность почвы (12,6 %) отмечалась в посевах твердой пшеницы по сидеральному пару в слое 0-20 см (Скорыходов В.Ю., 2023). Внесение в почву минеральных удобрений при благоприятных климатических условиях увеличивает численность и активность микроорганизмов. Количество органического вещества в почве регулируется подбором предшественников в севообороте с различным оставлением пожнивно-корневых остатков. В условиях интенсивного земледелия на первый план выходит экологическая роль органического вещества почвы. В среднем за 5 лет на черноземах южных Оренбургского Предуралья в почву поступило 11,87 т/га органического вещества, которое состоит из примерно 5-20 % углерода и 8-14 % целлюлозы (Скорыходов В.Ю., 2021). Целлюлоза считается более неустойчивой и разлагается в растительных остатках быстрее, чем лигнин, из-за химического состава и структуры за счет биологических процессов (Сайдяшева Г.В. и Зайцева К.Г., 2022). Пожнивные остатки полевых культур содержат значительное количество органических связанных питательных веществ. По данным за 2024 год, меньшее разложение льняного полотна в зависимости от различных севооборотов и минерального питания было под яровыми культурами на неудобренном 15,4-18,9 % и удобренном фоне питания 16,4-20,7 % (Денисов К.Е. и др., 2022). Применение минеральных удобрений оказывает значительное влияние на питательный режим почвы. По данным Е.Н. Общия и А.И. Хрипунова целлюлозолитическая активность почвы значительно изменяется под влиянием минеральных удобрений. При их внесении целлюлозолитическая активность почвы увеличивается на 3-6 % (Общия Е.Н. и Хрипунов Е.А., 2019). Увеличение урожайности культуры по черному пару в шестипольном севообороте зависит от влияния целлюлозолитической активности и весенних запасов элементов питания (особенно – нитратного азота) почвы (Бесалиев И.Н. и Мироненко С.И., 2024). Различный уровень минерального питания оказывает значительное влияние на продуктивность яровой пшеницы в условиях лесостепи Южного Поволжья. Наибольшая прибавка урожая зерна яровой пшеницы отмечена на фоне внесения аммофоски (НРК по 16 %) в норме 150 кг/га и азотных удобрений в дозе  $N_{60}$  кг/га (Кузнецов Д.А., 2020).

Применение минеральных удобрений (Аммофос) при глубокой вспашке способствует увеличению урожайности яровой твердой пшеницы на 0,17 т/га. При этом целлюлозолитическая активность почвы не повышается. Сильная степень разложения льняной ткани под посевом яровой твердой пшеницы отмечена при отвальной обработке почвы с внесением совместно удобрений (Аммофос+Азофит) – 56,7 % (Тютюма Н.В. и др., 2024). Внесение удобрений в норме  $N_{16}P_{16}K_{16}$  д.в./га повышает урожайность яровой твердой пшеницы на 0,29 т/га и достигает 2,48-2,77 т/га. В благоприятных почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья яровая твердая пшеница на фоне с удобрениями формирует урожайность до 2,76-3,03 т/га (Васин В.Г. и др., 2021).

В Сибирском НИИСХ при внесении регуляторов роста и микроудобрений урожайность пшеницы твердой яровой увеличивалась на 0,70 т с 1 га. По полученным данным внесение минеральных удобрений (в дозе  $N_{60}P_{45}K_{45}$ ) способствует интенсивности разложения льняного полотна на 3,3 %, при этом урожайность увеличивается на 20,5 (0,7-21,2) т/га (Шоба В.Н. и др., 2017).

Азот является важным макроэлементом питания для роста и развития культур, и большинство наземных растений его поглощают через корни в виде нитратов и аммония. В сельскохозяйственных системах поступление нитратов из почвы напрямую влияет на рост и урожайность культурных растений (Patanita V et al., 2019).

#### **Цель исследования.**

Определить влияние метеоусловий, целлюлозолитической активности и содержания нитратного азота в почве на урожайность твердой пшеницы в условиях Южного Урала.

**Материалы и методы исследования.**

**Объекты исследования.** Посевы твердой пшеницы в шестипольных севооборотах, двуполе и монокультуре.

**Характеристика территорий и природно-климатические условия.** Экспериментальные данные были получены на опытном участке ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, расположенном вблизи с. Нежинка центральной зоны Оренбургской области (координаты: 51.775125° с.ш. и 55.306547° в.д.). Почва опытного участка: чернозем южный карбонатный среднесиловый малогумусный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса (по И.В. Тюрину) – среднее в пахотном слое почвы (0-30 см) – 3,2-4,0 %, общего азота низкое – 0,20-0,31 %, общего фосфора низкое – 0,14-0,22 %, подвижного фосфора низкое – 1,5-2,5 мг и обменного калия (по Б.П. Мачигину) высокое – 30-38 мг на 100 г почвы, рН (водной вытяжки) почвенного раствора – 7,0-8,1.

**Схема эксперимента.** Схема опыта выращивания яровой твердой пшеницы в системе севооборотов и монокультуре: 1. Пар черный кулисный – озимая рожь – яровая твердая пшеница – просо – яровая мягкая пшеница – ячмень; 2. Пар черный кулисный – яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница – горох – яровая мягкая пшеница – ячмень; 3. Пар занятый (почвозащитный) – яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница – просо – яровая мягкая пшеница – ячмень; 4. Пар занятый (сидеральный) – яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница – кукуруза на силос – яровая мягкая пшеница – ячмень; 5. Яровая твердая пшеница – яровая мягкая пшеница; 6. Яровая твердая пшеница – кукуруза на силос; 7. Бессменный посев яровой твердой пшеницы.

Экспериментальный опыт закладывали на четырех повторениях по методике Б.А. Доспехова с систематическим размещением вариантов. Ширина делянок первого порядка составила 14,4 м, второго порядка – 7,2 м. По длине делянки составили 90 м, из них 30 м – удобрённый фон, 60 м – неудождённый. На удождённом фоне вносили минеральные удождения под основную обработку почвы (вспашка) предшественника яровой твердой пшеницы в дозе  $N_{40}P_{80}K_{40}$  кг/га действующего вещества. Урожайность яровой твердой пшеницы учитывали с площади удождённого фона 60 м<sup>2</sup>, неудождённого – 120 м<sup>2</sup>. В опыте высевали сорта яровой твердой пшеницы Оренбургская 10 и Оренбургская 21 с нормой посева 4,0 млн всхожих семян на 1 га.

Среднепогодные данные Оренбургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды имеют справочный характер (<https://www.meteorf.gov.ru>).

Определение интенсивности разложения целлюлозы в почве проводили по методу Е.Н. Мишустина, И.С. Вострова и А.Н. Петровой (<https://www.chem21.info/info/1563168/>). Описание целлюлолитической активности почвы по вариантам опыта проводили согласно шкале Д.Г. Звягинцева.

Для определения нитратного азота в почве на опытном участке отбирали почвенные образцы в слое 0-30 см на несмежных повторениях (I и III) и на двух фонах почвенного питания. Период отбора почвенных образцов: весна (после посева) и осень (перед уборкой). Предварительно подсушенные почвенные образцы дробили на почвенной мельнице, затем каждую размолотую пробу весом 200 г сдавали в лабораторию для определения содержания нитратного азота в почве. Содержание нитратного азота в почве проводили по ГОСТу 26951-86 «Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом».

**Оборудование и технические средства.** Исследования проводились на приборной базе Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Сбор урожая проводился механизировано комбайном Сампо-500 (Финляндия). Влажность почвы определялась методом Воробьева С.А. по ГОСТ 28268-89. Ручной пробоотборник (ООО ПО «Компонент» г. Великий Новгород, Россия), шкаф сушильный электрический прямоугольный ШС-80 (ОАО «КЗМА», г. Казань, Россия), электронные весы «HIGH-LAND» («Adam Eguipmen Co. LTD», Великобритания).

**Статистическая обработка.** Полученные данные проанализированы с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 12.0» («Stat Soft Inc.», США). В работе с помощью дисперсионного и регрессионного анализа данных находили наименьшую существенную разность ( $НСР_{05}$ ), рассчитывали средние ( $M$ ), стандартные ошибки средних ( $\pm SEM$ ) и коэффициент корреляции ( $r$ ).

**Результаты исследований.**

Среднегодовая температура воздуха за 2002-2022 годы превышает среднемноголетние значения на 2,1 °С (табл. 1). Вегетационный период твердой пшеницы в среднем стал теплее на 1,2 °С в сравнении со среднемноголетними данными, по месяцам превышение температурного режима составило в мае на 1,2, июне – 0,9, июле – 0,8, августе – 2,0 °С. Вместе с тем, за годы исследований отмечается снижение количества выпавших осадков в целом за сельскохозяйственный год на 3 мм.

За календарный вегетационный период количество выпавших осадков составило 126 мм, что меньше среднемноголетнего значения на 29 мм. Количество дней с атмосферной влажностью 30 % и ниже в среднем за годы исследований превышает среднемноголетнее значение на 12 дней в вегетационном периоде.

Таблица 1. Показатели температуры воздуха, выпавших осадков и числа сухих дней (2002-2022 годы)

Table 1. Indicators of air temperature, precipitation and the number of dry days (2002-2022)

Значение / Value	Температура воздуха, °С / Air temperature, °S						Осадки, мм / Precipitation, mm						Дни с относительной влажностью воздуха 30 % и ниже / Days with relative humidity of 30 % and below
	за сельскохозяйственный год /for the agricultural year	за месяц / per month				средняя за период V–VIII / amount for the period V–VIII	за сельскохозяйственный год / for the agricultural year	за месяц / per month				сумма за период V–VIII / sum for the period V–VIII	
		V	VI	VII	VIII			V	VI	VII	VIII		
Среднее / Average	5,7	16,2	20,6	22,7	22,0	20,3	364	35	29	39	22	126	68
Среднемноголетнее /Average annual	3,6	15,0	19,7	21,9	20,0	19,1	367	38	44	41	32	155	56
Разница / Difference	+2,1	+1,2	+0,9	+0,8	+2,0	+1,3	-3	-3	-15	-2	-10	-29	+12

Примечание: \*V – май; VI – июнь; VII – июль; VIII – август

Note: \*V – May; VI – June; VII – July; VIII – August

Корреляционная зависимость между температурой воздуха и урожайностью зерна твердой пшеницы (2002-2022 гг.) выражается по-разному. Повышенная температура воздуха мая-июня имеет обратную связь с урожайностью ( $r=0,49-0,65$ ), поскольку приводит к снижению продуктивности культуры. Слабой связью обладает урожайность культуры с температурой воздуха июля и августа. Расчеты показали, что чем выше температура воздуха вегетационного периода твердой пшеницы, тем меньше урожайность зерна и наоборот. Наибольшая связь температуры воздуха показывает снижение урожайности твердой пшеницы по черному пару в шестипольном севообороте на неудобренном фоне питания. Температура воздуха за эти периоды значительно влияет на рост и развитие культуры.

Урожайность зерна твердой пшеницы имеет положительную зависимость от количества выпавших осадков в мае и июне ( $r=0,33-0,67$ ). Выявлена слабая связь количества осадков в июле и августе с урожайностью. Урожайность с выпавшими осадками вегетационного периода имеют положительную связь ( $r=0,44-0,60$ ). Наблюдения показали, что чем больше количество выпавших осадков за вегетационный период, тем выше урожайность зерна твердой пшеницы и наоборот (прямая связь). Максимальная зависимость урожайности от осадков приводит к устойчивому формированию урожайности в двухпольном севообороте с мягкой пшеницей на удобренном фоне питания. Большое количество суховейных дней неблагоприятно влияет на урожайность твердой пшеницы, что выражается в отрицательной связи ( $r=0,30-0,41$ ). Возделывание твердой пшеницы в монокультуре на неудобренном фоне питания имеет отрицательную связь урожайности с засушливостью вегетационного периода.

На рисунке 1 приведена средняя урожайность твердой пшеницы на удобренном фоне питания по вариантам опыта и гидротермический коэффициент вегетационного периода (май-август) за годы исследований. Графическое изображение рисунка подтверждает мнение о том, что выпавшие осадки и температура воздуха в вегетационном периоде (май-август) оказывают влияние на величину урожайности твердой пшеницы.

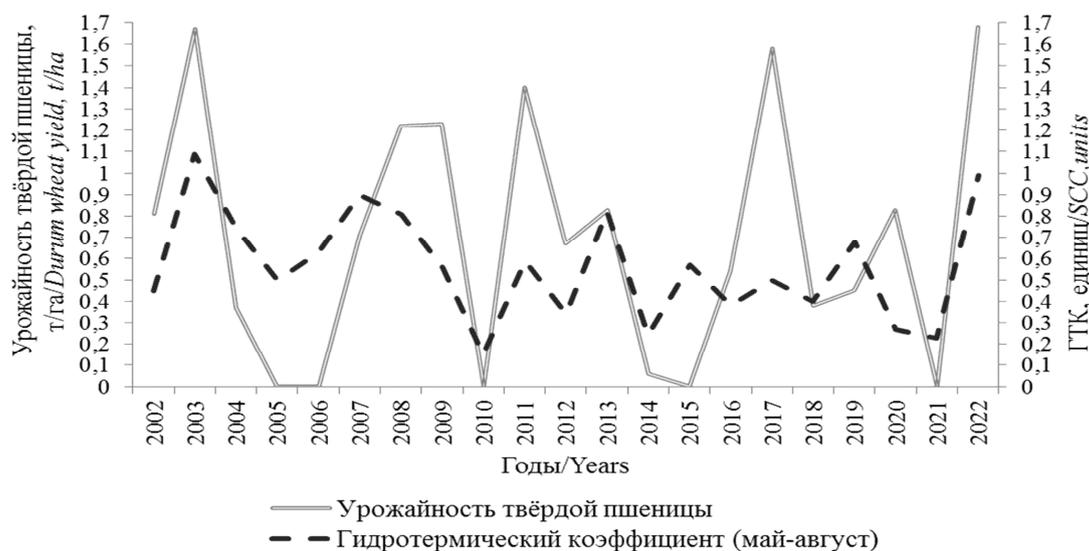


Рисунок 1. Урожайность яровой твердой пшеницы в сопряжении с гидротермическим коэффициентом вегетационного периода (2002-2022 годы)

Figure 1. Yield of spring durum wheat in conjunction with the hydrothermal coefficient of the growing season (2002-2022)

Чем ниже показатель гидротермического коэффициента, тем меньше урожайность твердой пшеницы и наоборот. Например, в засушливых 2010 и 2021 годах отмечается наименьшее значение гидротермического коэффициента (0,15 и 0,23) за май-август и отсутствие урожайности твердой пшеницы. Вместе с тем, во влажных 2003 и 2022 годах при возрастании ГТК до 1,09 и 0,99 за вегетационный период наблюдается повышение урожайности до 1,67 и 1,68 т/га.

При этом урожайность твердой пшеницы за 2021 год исследования на фоне минеральных удобрений составила 0,79 т/га, без их применения в зернопаровом севообороте – 0,69 т, в зернопропашном с кукурузой – 0,77 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность твердой пшеницы по различным предшественникам на двух фонах почвенного питания в сопряжении с целлюлозолитической активностью почвы (2002-2022 годы)

Table 2. The yield of durum wheat by various precursors on two backgrounds of soil nutrition in conjunction with the cellulolytic activity of the soil (2002-2022)

Севооборот, бесменный посев /Crop rotation, permanent sowing	Предшественник / The predecessor	Показатели /Indicators					
		урожайность, т/га / yield, t/ha			активность почвы, % / soil activity, %		
		M*/M*	±SEM**/ ±SEM**	прибавка зерна / grain increase	M*/M*	±SEM**/ ±SEM**	разница по фону /the difference in back- ground
Шестиполье / Six-field	Черный пар/ black steam	0,78/0,85	±0,66/0,65	0,07	9,7/10,3	±5,7/7,4	+0,6
	Почвозащитный пар/ soil protection steam	0,85/0,91	±0,62/0,58	0,06	10,9/9,8	±6,4/7,8	-1,1
	Сидеральный пар /sideral steam	0,91/0,97	±0,64/0,58	0,06	9,0/12,0	±5,7/7,4	+3,0
	Озимая рожь/ winter rye	0,82/0,87	±0,59/0,52	0,05	9,7/9,8	±7,3/6,8	+0,1
Двуполье / Two-field	Мягкая пшеница/ soft wheat	0,69/0,79	±0,43/0,53	0,10	10,0/9,6	±6,4/5,7	-0,4
	Кукуруза на силос/ corn for silage	0,77/0,79	±0,49/0,40	0,02	9,6/9,9	±6,6/4,0	+0,3
Твердая пшеница / Durum wheat		0,64/0,70	±0,40/0,36	0,06	9,1/9,8	±5,8/8,0	+0,7
НСР <sub>05</sub> / NSR <sub>05</sub>	А и В / A and B	0,09/0,10		-	0,69/0,76		-
	А+В / A+B	0,14		-	0,79		-

Примечание: \*М – усредненные значения без учета лет отсутствующей урожайности; \*\*±SEM – стандартная ошибка средней; \*\*\* перед чертой – неудобренный фон питания, после черты – удобренный

Note: \*M – is the average values without taking into account the years of missing yield; \*\*±SEM – is the standard error of the average; \*\*\*before the line – is an inconvenient nutrition background, after the line – is fertilized

Длительное возделывание твердой пшеницы в системе шестипольных севооборотов с озимой рожью без применения минеральных удобрений способствует урожайности 0,82 т/га. Наибольшее влияние на урожайность твердой пшеницы в севообороте с озимой рожью оказывает непосредственное действие предшественника, что в первую очередь связано с большим выносом питательных веществ, в том числе нитратного азота, мощно развивающимися растениями ржи озимой. На свой рост и развитие растения озимой ржи расходуют большое количество почвенной влаги, тем самым создавая менее благоприятные условия для последующей культуры в севообороте твердой пшеницы. На обычном, неудобренном фоне урожайность твердой пшеницы в севообороте с черным паром снижается за счет проведения летних агротехнических мероприятий в виде культивации паро-

вого поля, способствующей поступлению кислорода в почву и активизации микробиологических процессов с обильным потреблением нитратного азота активно развивающимися микроорганизмами. Тем самым последующая культура в севообороте твердая пшеница лишается макроэлементов в начальный-весенний период. В поле чистого пара отсутствует растительность, микроорганизмами потребляется большое количество органической массы прошлых лет. Самая высокая урожайность твердой пшеницы в среднем за годы исследования на обычном неудобренном фоне отмечается в севообороте с применением сидерации. В данном варианте происходят процессы кардинально противоположные севообороту с черным паром. В предшествующем поле с сидератами активно развиваются микроорганизмы, разлагающие зеленую их массу и детритную часть почвы, тем самым способствуют повышению питательных веществ и увеличению урожайности твердой пшеницы без применения минеральных удобрений в среднем на 0,91 т с 1 га.

Целлюлозолитическая активность почвы определяется процентом разложения льняной ткани. Наибольший показатель целлюлозолитической активности микроорганизмов наблюдается в посевах твердой пшеницы с использованием минеральных удобрений в пролонгации черного ( $10,3 \pm 7,40$  %) и сидерального ( $12,0 \pm 7,45$  %) пара в системе шестипольных севооборотов. По этим вариантам посева отмечается положительная корреляционная зависимость целлюлозоразлагающей активности почвы с урожайностью зерна. По всем вариантам опыта наблюдается слабая зависимость. При использовании минеральных удобрений в монокультуре твердой пшеницы целлюлозолитическая активность почвы составила  $9,8 \pm 8,0$  % (без удобрения –  $9,1 \pm 5,8$  %). Повышенная активность микроорганизмов в почве в посевах твердой пшеницы, возделываемой в шестипольных севооборотах, напрямую связана с применением парования за счет накопления и фиксации нитратного азота вариантами черного и занятого (сидеральной злаково-бобовой растительностью) паров.

Накопление нитратного азота в почве предшествующей культурой, звеном, севооборота и потреблением посевом твердой пшеницы различно по периоду определения и фону почвенного питания. Так, наибольшее содержание нитратного азота за вегетационный период отмечается в последствии сидерального пара на обычном (неудобренном) фоне питания 1,6 мг и на удобренном – 1,2 мг/100 г почвы (табл. 3).

Разница по фонам питания в весенний период составила 0,4 мг и к осени возрастает на 0,8 мг в пользу удобренного. Данная разница содержания нитратного азота в первую очередь связана с повышенной микробиологической деятельностью в этом варианте. В результате проведенного анализа между содержанием нитратного азота и целлюлозолитической активностью почвы выявлена положительная зависимость в сидеральном севообороте на удобренном фоне ( $r=0,36$ ) и неудобренном ( $r=0,37$ ). При возделывании парозанимающей культуры суданской травы в почвозащитном севообороте выносятся большое количество элементов минерального питания, включающих нитратный азот.

Возделывание твердой пшеницы в данном варианте является исключением, сопровождающимся увеличением количества нитратного азота в почве в течение роста и развития культуры. Увеличение составило 0,5 мг на удобренном и 0,1 мг/100 г почвы – на неудобренном фоне питания. В осенний период при возделывании твердой пшеницы в почвозащитном пару отмечается (1,2 мг) превышение содержания нитратного азота на удобренном фоне питания по отношению к неудобренному. Отмечается положительная корреляционная связь целлюлозолитической активности почвы с разницей нитратного азота под посевом в последствии почвозащитного пара на фоне удобрения ( $r=0,39$ ) и на неудобренном ( $r=0,38$ ). Применение минеральных удобрений в посевах твердой пшеницы в двуполье длительное время приводит к увеличению содержания нитратного азота в почве. Так, при чередовании твердой пшеницы с кукурузой содержание нитратного азота в почве на удобренном фоне питания весной составило 8,6 мг и осенью – 8,2 мг/100 г. При этом разница по фонам питания весной составило 2,0 мг и осенью – 2,3 мг на 100 г почвы. Количество нитратного азота под монокультурой твердой пшеницы соответствует накопленному в севооборотах в весенний период, но вместе с тем к осени имеет наименьшие показатели как по удобренному (5,5 мг), так и неудобренному (5,2 мг) фонам питания. Данная разница содержания нитратного азота объясняется длительным возделыванием твердой пшеницы бессменно. По результатам данного регрессионного анализа урожайность зерна имеет отрицательную связь с количеством нитратного азота в почве под твердой пшеницей после посева ( $r = 0,13-0,34$ ). Разница содержания нитратного азота обладает отрицательной связью с урожайностью.

Таблица 3. Содержание нитратного азота в почве под посевом яровой твердой пшеницы в среднем за 2002-2022 годы, мг/100 г почвы  
 Table 3. Nitrate nitrogen content in the soil under sowing of spring durum wheat on average for 2002-2022, mg/100 g of soil

Севооборот, бесменный посев /Crop rotation, permanent sowing	Предшественник / Predecessor	Фон питания / Nutrition background						Разница содержания (N- NO <sub>3</sub> ) в почве на фонах питания /The difference in the content of (N-NO <sub>3</sub> ) in the soil on food back- grounds	
		удобренный / fertilized			неудобренный / not fertilized				
		после посева / after sowing	перед уборкой /before harvesting	±SEM*/±SEM*	после посева / after sowing	перед уборкой /before harvesting	±SEM*/±SEM*	после посева / after sowing	перед уборкой /before harvesting
Шестиполье / Six-field	Черный пар/ black steam	8,1	6,7	$\frac{\pm 5,21}{\pm 4,22}$	6,9	6,2	$\frac{\pm 4,30}{\pm 3,89}$	+1,2	+0,5
	Почвозащитный пар / soil protection steam	6,8	7,3	$\frac{\pm 3,69}{\pm 4,86}$	6,0	6,1	$\frac{\pm 2,94}{\pm 4,39}$	+0,8	+1,2
	Сидеральный пар/sideral steam	8,0	6,8	$\frac{\pm 4,63}{\pm 4,23}$	7,6	6,0	$\frac{\pm 4,82}{\pm 4,44}$	+0,4	+0,8
	Озимая рожь/ winter rye	7,6	6,5	$\frac{\pm 4,14}{\pm 4,21}$	6,3	5,6	$\frac{\pm 3,52}{\pm 4,02}$	+1,3	+0,9
Двуполье/ Two-field	Мягкая пшеница/ soft wheat	8,2	6,7	$\frac{\pm 5,24}{\pm 4,67}$	6,7	6,1	$\frac{\pm 4,13}{\pm 4,62}$	+1,5	+0,6
	Кукуруза на си- лос/ corn for silage	8,6	8,2	$\frac{\pm 4,71}{\pm 4,62}$	6,6	5,9	$\frac{\pm 4,34}{\pm 4,21}$	+2,0	+2,3
Твердая пшеница/ Durum wheat		7,5	5,5	$\frac{\pm 4,60}{\pm 4,89}$	6,8	5,2	$\frac{\pm 3,40}{\pm 3,77}$	+0,7	+0,3
НСР <sub>05</sub> / NSR <sub>05</sub>	A и B/A and B	0,44	0,83	-	0,40	0,75	-	-	-
	A+B/A+B	0,88		-	0,81		-	-	-

Примечание: \* над чертой – стандартная ошибка средней после посева, под чертой – перед уборкой  
 Note: \* Above the line – the standard error of the average after sowing, below the line – before harvesting

Применение минеральных удобрений (NPK) в шестипольных севооборотах длительное время приводит к увеличению продуктивности твердой пшеницы. Так, прибавка зерна от применения минеральных удобрений (без учета лет отсутствующей урожайности) составила в севооборотах с озимой рожью 0,05 т, занятыми парами – 0,06 т, черным паром – 0,07 т/га. Прибавка зерна на удобренном фоне питания в двуполье при чередовании с мягкой пшеницей составила 0,10 т, по сравнению с кукурузой на силос – 0,02 т/га. Возделывание твердой пшеницы бесменно приводит к урожайности 0,64 т и при внесении минеральных удобрений незначительно повышается продуктивность зерна на 0,06 т/га.

**Обсуждение полученных результатов.**

Сильное летнее почвенное пересыхание и зимнее промерзание регулируют активизацию микробиологических процессов. Например, в засушливые годы процент разложения льняной ткани в варианте с чистым паром составил 15,8 % и во влажные – 30,7 % (Скороходов В.Ю. и Зоров А.А., 2021).

Разложение сложных органических соединений под воздействием микробного сообщества обеспечивает высвобождение азота в доступной для растений форме, что в конечном итоге раскрывает потенциал эффективного плодородия почвы (Phuke RM et al., 2022). При достаточной влажности почвы увеличивается целлюлозолитическая активность микроорганизмов, что приводит к росту урожайности зерна твердой пшеницы. Внесение минеральных удобрений способствует повышению содержания нитратного азота и целлюлозолитической активности почвы под удобряемыми культурами севооборота. Активность разложения клетчатки целлюлозоразлагающими микроорганизмами зависит от интенсивности почвенной биоты. Благоприятные метеоусловия июня приводят к активности почвенной микрофлоры, разложению клетчатки 54-71 % (Ayadi S et al., 2020). Внесение в достаточном количестве органического вещества с удобрениями способствует увеличению содержания в почве нитратного азота, целлюлозолитической активности и урожайности выращиваемых культур (Kenobi K et al., 2017). Например, в различных условиях южной лесостепи Тюменской области получена максимальная урожайность твердой пшеницы 3,49 и 3,52 т/га. В бинарных посевах происходит снижение урожайности зерна на 0,2 т/га (Сапега В.А. и Турсумбекова Г.Ш., 2020).

Урожайность твердой пшеницы в монокультуре уступает возделыванию в шестипольных севооборотах с разницей на 0,23 т/га по двум фонам почвенного питания. А в двуполье превышает полученную в монокультуре на 0,07 т/га по двум фонам питания. В связи с этим за годы исследований прослеживается тенденция увеличения продуктивности твердой пшеницы от монокультуры в направлении двуполья и шестипольных севооборотов с паровым полем. Данная тенденция увеличения отмечается на двух фонах почвенного питания. Фон минерального почвенного питания не оказывает значительного влияния на урожайность твердой пшеницы в севооборотах и монокультуре (при учёте всех лет исследований) и прибавка зерна составила 0,05 т/га.

**Заключение.**

Метеоусловия (температура воздуха, выпадающие осадки и суховейные дни) являются основополагающими при формировании урожайности твердой пшеницы. За годы эксперимента среднемноголетнее годовое значение температуры воздуха превышало норму на 2,1°C, число суховейных дней – на 12 и недобор осадков за вегетацию составил 29 мм. В результате исследования выявлено отрицательное влияние температуры воздуха, суховейных дней ( $r=0,30-0,65$ ), осадков и их совокупность (гидротермический коэффициент) июня за вегетационный период ( $r = 0,33-0,76$ ) на урожайность твердой пшеницы. Выпавшие осадки и совокупность погодных факторов (гидротермический коэффициент) мая-июня за вегетационный период благоприятно влияют на формирование урожайности в связи с полной влагообеспеченностью и оптимальной температурой воздуха. В июле и августе наблюдается слабая связь погодных факторов с урожайностью ( $r = 0,19-0,22$ ) твердой пшеницы в результате высоких среднесуточных температур воздуха. Слабое влияние на урожайность твердой пшеницы оказывает целлюлозолитическая активность почвы ( $r=0,17-0,31$ ) в виду повышенных температур воздуха июля и августа. По вариантам эксперимента твердой пшеницы по предшественнику сидеральный и почвозащитный пар установлена связь между разницей в содержании нитратного азота и целлюлозолитической активностью почвы на фоне применения удобрения ( $r=0,36-0,39$ ) и на неудобренном ( $r=0,37-0,38$ ). Положительная связь объясняется разложением микроорганизмами пожнивнокорневых остатков овса, гороха и суданской травы, что приводит к накоплению нитратного азота в почве, стимулирующего их рост. В засушливый период отмечается отрицательная связь урожайности с содержанием нитратного азота в почве ( $r=0,34$ ). Твердая пшеница, возделываемая в системе шестипольных севооборотов длительное время без удобрений, формирует урожайность 0,78-0,91 т/га.

Пролонгированное последствие минеральных удобрений обеспечивает прибавку зерна на 5,9-7,2 % при урожайности твердой пшеницы 0,85-0,97 т/га. Наибольшая прибавка зерна от минеральных удобрений отмечается в двупольном севообороте с мягкой пшеницей – 0,10 т/га. Выращивание твердой пшеницы в шестипольных севооборотах при применении минеральных удобрений сопровождается повышением целлюлозолитической активности почвы в последствии черного (10,3 %) и сидерального (12,0 %) пара, что связано с накоплением и фиксацией нитратного азота злаково-бобовой сидеральной смесью (овес и горох) и черного пара. Следовательно, наблюдается положительная связь целлюлозолитической активности почвы с урожайностью зерна. В связи с вышеизложенным, подтверждается устойчивость возделывания яровой твердой пшеницы в шестипольных севооборотах.

### Список источников

1. Бесалиев И.Н., Мироненко С.И. Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 324-336. [Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Васин В.Г., Бурунов А.Н., Стрижаков А.О. Формирование агрофитоценоза и продуктивность яровой твердой пшеницы при применении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 25-32. [Vasin VG, Burunov AN, Strizhakov AO. Agrophytocenosis formation and productivity of spring durum wheat in case of application of mineral fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):25-32. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-25-32
3. Влияние минеральных и микробиологических удобрений на биологическую активность каштановой почвы и продуктивность яровой твердой пшеницы в условиях сухостепного Заволжья / К.Е. Денисов, И.С. Полетаев, А.А. Гераскина, В.А. Тонкошкур, К.С. Кондаков, Е.Б. Соловьева // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 27-30. [Denisov KE, Poletaev IS, Geraskina AA, Tonkoshkur VA, Kondakov KS, Solovieva EB. The influence of mineral and microbiological fertilizers on the biological activity of chestnut soil and the productivity of spring durum wheat in the conditions of the dry steppe of the Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;12:27-30. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp27-30
4. Качество зерна яровой мягкой и твёрдой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, А.А. Зоров, Е.Н. Скороходова, Н.А. Зенкова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 260-272. [Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
5. Круглов Ю.В., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В. Микробиологическая активность чернозема южного в зависимости от агротехнических приёмов в засушливой степи Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2018. № 1. С. 20-23. [Kruglov YuV, Kurdyukov YuF, Shubitidze GV. Microbiologic alactivity of southern chernozem dependent on agrotechnic measures in the dry steppe zone of the lower Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2018;1:20-23. (In Russ.)].
6. Кузнецов Д.А. Влияние минеральных удобрений и норм высева на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2020. № 11. С. 25-29. [Kuznetsov DA. Influence of mineral fertilizers and seeding rates on the yield and quality of spring wheat grain. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;11:25-29. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2020i11pp25-29
7. Маркова И.Н. Яровая твёрдая пшеница в Волгоградской области: сорта урожайность, перспективы возделывания // Научно-агрономический журнал. 2024. № 2(125). С. 58-63. [Markova IN. Spring durum wheat in the Volgograd region: varieties, yield, prospects of cultivation. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;2(125):58-63. (In Russ.)]. doi: 10.34736/FNC.2024.125.2.008.58-63

8. Общия Е.Н., Хрипунов А.И. Целлюлозоразлагающая активность почвы в условиях склоновых земель ландшафтов как один из элементов её биологической активности // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2(12). С. 25-28. [Obshhiya EN, Khripunov AI. Cellulose-decomposing soil activity in the conditions of the landscape slope lands as one of the elements of its biological activity. Agricultural Journal. 2019;2(12):25-28. (In Russ.)]. doi: 10.25930/004.2.12.2019
9. Подсевалов М.И., Тойгильдин А.Л., Аюпов Д.Э. Влияние агроприемов на биологическую активность почвы и урожайность озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1(37). С. 44-50. [Podsevalov MI, Toigildin AL, Ayupov DE. Influence of agro techniques on biological soil activity and winter wheat yield in crop rotation in the forest-steppe of Zavolzhie region. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2017;1(37):44-50. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2017-1-44-50
10. 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. Rezerves to increase yield of spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017;31(6):31-33. (In Russ.)].
11. Сайдышева 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. № 1(72). С. 101-107. [Saidyashева 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;1(72):101-107. (In Russ.)]. doi: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_1\_101-107
12. Санникова Н.В. Сеgetальная флора в посевах яровой пшеницы лесостепной зоны Северного Зауралья // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 2(65). С. 37-40. [Sannikova N. Segetal flora in the crops of spring wheat in the forest-steppe zone of the Northern Trans-Urals. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021;2(65):37-40. (In Russ.)].
13. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 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
14. Скороходов В.Ю. Совершенствование технологии возделывания яровой твердой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 49-53. [Skorokhodov VYu. Improvement of cultivation technology of spring did wheat in the steppe zone of the South-Ern Urals. The Agrarian Scientific Journal. 2021;7:49-53. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2021i7pp49-53
15. Скороходов В.Ю. Урожайность яровой твердой пшеницы на фоне целлюлозолитической активности почвы // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 75-80. [Skorokhodov VYu. Yield of spring durum wheat against the background of cellulolytic activity of the soil. The Agrarian Scientific Journal. 2023;12:75-80. (In Russ.)]. doi: 10.28983/asj.y2023i12pp75-80
16. Скороходов В.Ю., Зоров А.А. Особенности влияния парового поля на формирование агроценоза и продуктивность яровой пшеницы в полевых севооборотах региона с неустойчивым увлажнением // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №5. С. 3-8. [Skorokhodov VYu, Zorov AA. Features of the influence of the steam field on the formation of agrocenosis and the productivity of spring wheat in the field crop rotations of the region with unstable humidity. Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka. 2021;5:3-8. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S250026272105001X
17. Тютюма Н.В., Зверева Г.Н., Кузнецова Е.А. Минеральное питание - залог урожайности твердой пшеницы на юге России // Естественные науки. 2024. № 3(16). С. 49-56. [Tyutyuma NV, Zvereva GN, Kuznetsova EA. Mineral nutrition is the key to the yield of durum wheat in the South of Russia. Natural Sciences. 2024;3(16):49-56. (In Russ.)]. doi: 10.54398/2500-2805.2024.16.3.005

18. Ayadi S, Jallouli S, Landi S, Capasso G, Chamekh Z, Cardi M, Paradisone V, Lentini M, Karmous C, Trifa Y, Esposito S. Nitrogen assimilation under different nitrate nutrition in Tunisian durum wheat landraces and improved genotypes. *Plant Biosystems*. 2020;154(6):924-934. doi: 10.1080/11263504.2020.1722274
19. Kenobi K, Atkinson JA, Wells DM, Gaju O, De Silva JG, Foulkes MJ, Dryden IL, Wood AT, Bennett MJ. Linear discriminant analysis reveals differences in root architecture in wheat seedlings related to nitrogen. *Journal of Experimental Botany*. 2017;68(17):4969-4981. doi: 10.1093/jxb/erx300
20. Patanita M, Tomaz A, Ramos T, Oliveira P, Boteta L, Dôres J. Water regime and nitrogen management to cope with wheat yield variability under the mediterranean conditions of Southern Portugal. *Plants*. 2019;8(10):429. doi: 10.3390/plants8100429
21. Phuke RM, Ambati D, Singh JB, Prakasha TL, Sai Prasad SV. Prospects of durum wheat in the realm of climate change. In: Kashyap PL, et al. *New horizons in wheat and barley research*. Singapore: Springer; 2022:485-506. doi: 10.1007/978-981-16-4449-8\_19

### References

1. Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Vasin VG, Burunov AN, Strizhakov AO. Agrophytocenosis formation and productivity of spring durum wheat in case of application of mineral fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):25-32. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-25-32
3. Denisov KE, Poletaev IS, Geraskina AA, Tonkoshkur VA, Kondakov KS, Solovieva EB. The influence of mineral and microbiological fertilizers on the biological activity of chestnut soil and the productivity of spring durum wheat in the conditions of the dry steppe of the Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;12:27-30. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp27-30
4. Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
5. Kruglov YuV, Kurdyukov YuF, Shubitidze GV. Microbiological activity of southern chernozem dependent on agrotechnic measures in the dry steppe zone of the lower Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2018;1:20-23.
6. Kuznetsov DA. Influence of mineral fertilizers and seeding rates on the yield and quality of spring wheat grain. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;11:25-29. doi: 10.28983/asj.y2020i11pp25-29
7. Markova IN. Spring durum wheat in the Volgograd region: varieties, yield, prospects of cultivation. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;2(125):58-63. doi: 10.34736/FNC.2024.125.2.008.58-63
8. Obshhiya EN, Khripunov AI. Cellulose-decomposing soil activity in the conditions of the landscape slope lands as one of the elements of its biological activity. *Agricultural Journal*. 2019;2(12):25-28. doi: 10.25930/004.2.12.2019
9. Podsevalov MI, Toigildin AL, Ayupov DE. Influence of agro techniques on biological soil activity and winter wheat yield in crop rotation in the forest-steppe of Zavolzhie region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017;1(37):44-50. doi: 10.18286/1816-4501-2017-1-44-50
10. 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.
11. 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;1(72):101-107. doi: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_1\_101-107
12. Sannikova N. Segetal flora in the crops of spring wheat in the forest-steppe zone of the Northern Trans-Urals. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;2(65):37-40.

13. Sapega VA, TursumbekovaGSh. 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
14. Skorokhodov VYu. Improvement of cultivation technology of spring did wheat in the steppe zone of the South-Ern Urals. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;7:49-53. doi: 10.28983/asj.y2021i7pp49-53
15. Skorokhodov VYu. Yield of spring durum wheat against the background of cellulolytic activity of the soil. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;12:75-80. doi: 10.28983/asj.y2023i12pp75-80
16. Skorokhodov VYu, Zorov AA. Features of the influence of the steam field on the formation of agrocenosis and the productivity of spring wheat in the field crop rotations of the region with unstable humidity. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;5:3-8. doi: 10.31857/S250026272105001X
17. Tyutyuma NV, Zvereva GN, Kuznetsova EA. Mineral nutrition is the key to the yield of durum wheat in the South of Russia. *Natural Sciences*. 2024;3(16):49-56. doi: 10.54398/2500-2805.2024.16.3.005
18. Ayadi S, Jallouli S, Landi S, Capasso G, Chamekh Z, Cardi M, Paradisone V, Lentini M, Karmous C, Trifa Y, Esposito S. Nitrogen assimilation under different nitrate nutrition in Tunisian durum wheat landraces and improved genotypes. *Plant Biosystems*. 2020;154(6):924-934. doi: 10.1080/11263504.2020.1722274
19. Kenobi K, Atkinson JA, Wells DM, Gaju O, De Silva JG, Foulkes MJ, Dryden IL, Wood AT, Bennett MJ. Linear discriminant analysis reveals differences in root architecture in wheat seedlings related to nitrogen. *Journal of Experimental Botany*. 2017;68(17):4969-4981. doi: 10.1093/jxb/erx300
20. Patanita M, Tomaz A, Ramos T, Oliveira P, Boteta L, Dôres J. Water regime and nitrogen management to cope with wheat yield variability under the mediterranean conditions of Southern Portugal. *Plants*. 2019;8(10):429. doi: 10.3390/plants8100429
21. Phuke RM, Ambati D, Singh JB, Prakasha TL, Sai Prasad SV. Prospects of durum wheat in the realm of climate change. In: Kashyap PL, et al. *New horizons in wheat and barley research*. Singapore: Springer; 2022:485-506. doi: 10.1007/978-981-16-4449-8\_19

#### **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.

**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.

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

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

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

Статья поступила в редакцию 15.11.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 15.11.2024; approved after reviewing 01.03.2025; accepted for publication 17.03.2025.