

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья
УДК 633.112.1:631.4:631.559 (470.56)
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_90

**Влияние влажности, целлюлозолитической активности почвы
и макроэлементов питания на урожайность твердой
пшеницы в степной зоне Оренбургской области**

Дмитрий Владимирович Митрофанов^{1✉}

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,
Оренбург, Россия
¹dvm.80@mail.ru[✉]

Аннотация. Представлены результаты исследований, проведенных в 2002–2020 гг. в длительном стационарном опыте на южных черноземах Оренбургского Предуралья с целью определения влияния влажности, целлюлозолитической активности почвы и подвижных форм питательных веществ (азот, фосфор, калий) на продуктивность яровой твердой пшеницы, выращиваемой по различным предшественникам: пар (черный, занятый, сидеральный), озимая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, просо, ячмень, горох, твердая пшеница, контроль. Установлена прямо пропорциональная зависимость между влажностью почвы и урожайностью изучаемой культуры после черного пара в шестипольном севообороте. За 19 лет наблюдений максимальная урожайность твердой пшеницы зафиксирована на вариантах после черного и сидерального паров – соответственно 1,04 и 0,92 т/га (выше контроля на 0,27 и 0,15 т/га), минимальная – после таких предшественников, как просо и горох – соответственно 0,64 и 0,69 т/га. На других вариантах урожайность находилась в диапазоне от 0,72 до 0,87 т/га. В шестипольном севообороте в предшествующем черном пару весенние запасы продуктивной влаги возрастали до 148,5 мм, активируя жизнедеятельность целлюлозолитиков в почве. Как следствие, разложение льняного полотна достигало 10%, доступность подвижных форм питательных веществ повышалась до следующих значений: $\text{NO}_3^- = 7,3$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 6,2$; $\text{K}_2\text{O} = 42,2$ мг/100 г почвы. Внесение минеральных удобрений на делянках, где предшествующие злаковые/бобовые культуры (овес и горох) применялись в качестве сидератов, способствовало повышению содержания подвижного фосфора и обменного калия (соответственно до 5,5 и 42,1 мг/100 г почвы), целлюлозолитической активности почвы (до 9,1%) и, как следствие, росту урожайности зерна. Таким образом, сельхозпроизводителям для повышения урожайности зерна твердой пшеницы можно рекомендовать применять весенние посевы по черным и сидеральным парам в шестипольных севооборотах после внесения минеральных удобрений под осеннюю вспашку.

Ключевые слова: твердая пшеница, урожайность, влажность почвы, микроорганизмы, нитраты, подвижный фосфор, обменный калий

Для цитирования: Митрофанов Д.В. Влияние влажности, целлюлозолитической активности почвы и макроэлементов питания на урожайность твердой пшеницы в степной зоне Оренбургской области // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 90–100. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_90-100.

GENERAL SOIL MANAGEMENT, CROP SCIENCE
(AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Influence of humidity, cellosolytic activity of soil and
major nutrient elements on grain yield of durum wheat
in the steppe zone of Orenburg Oblast**

Dmitriy V. Mitrofanov^{1✉}

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences,
Orenburg, Russia
¹dvm.80@mail.ru[✉]

Abstract. The author presents the results of research conducted in 2002-2020 in a long-term stationary experiment in southern chernozems of Orenburg Cis-Urals in order to determine the influence of moisture, cellosolytic activity of soil and labile forms of nutrients (nitrogen, phosphorus, and potassium) on the productivity

of spring durum wheat grown after various predecessors, e.g. fallow (black, seeded, green manure), winter wheat, maize for silage, soft wheat, millet, barley, peas, durum wheat, and control. A directly proportional relationship has been established between soil moisture and the yield of the studied crop after black fallow in six-field crop rotation. Over 19 years of observations, the maximum yield of durum wheat was recorded in the variants after black and green manure fallows, i.e. 1.04 and 0.92 t/ha, respectively, which was higher than control by 0.27 and 0.15 t/ha. The minimum yield was after such predecessors as millet and peas, i.e. 0.64 and 0.69 t/ha, respectively. In other variants the yield ranged from 0.72 to 0.87 t/ha. In six-field crop rotation in the preceding black fallow the spring reserves of productive moisture increased to 148.5 mm, activating the cellulolytics in the soil. As a result, the decomposition of flax linen reached 10%, and the availability of labile forms of nutrients increased to the following values: $\text{NO}_3^- = 7.3$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 6.2$; $\text{K}_2\text{O} = 42.2$ mg per 100 g of soil. The application of mineral fertilizers in the plots where preceding cereals/legumes (oats and peas) were used as green manure contributed to an increase in the content of labile phosphorus and exchangeable potassium (up to 5.5 and 42.1 mg per 100 g of soil, respectively), as well as cellulolytic activity of soil (up to 9.1%). As a result, the yield of grain increased. Thus, in order to increase the grain yield of durum wheat, agricultural producers can be recommended to perform spring sowing on black and green manure fallows in six-field crop rotations after applying mineral fertilizers for autumn plowing.

Key words: durum wheat, yield, soil moisture, microorganisms, nitrates, labile phosphorus, exchangeable potassium

For citation: Mitrofanov D.V. Influence of humidity, cellulolytic activity of soil and major nutrient elements on grain yield of durum wheat in the steppe zone of Orenburg Oblast. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):90-100. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_90-100.

Введение
Оренбургская область в настоящее время является одним из ведущих регионов по производству зерна твердой пшеницы. Правильное размещение сельскохозяйственных культур в севообороте играет огромную роль для повышения их урожайности [19]. Учитывая тот факт, что в Оренбургской области отмечаются часто повторяющиеся в вегетационном периоде засухи, учеными проводятся исследования, направленные на выявление приемов, обеспечивающих повышение выхода зерна твердой пшеницы.

А.Г. Крючковым и В.И. Елисеевым определен минимальный расход продуктивной влаги на различных фонах питания: на удобренном – коэффициент водопотребления составляет 2192,5 куб. м/т, на удобренном – 1976,8 куб. м/т [10].

Основным фактором, влияющим на повышение урожайности твердой пшеницы (от 15,0 до 31,6 ц/га), является расход суммарной влаги (весенние почвенные запасы, количество выпавших осадков) за вегетацию, который варьирует от 210,8 до 329,5 мм. Низкая урожайность культуры (от 1,4 до 5,0 ц/га) наблюдается при расходах суммарной влаги от 122,4 до 204,0 мм [9].

Изучению особенностей водного режима почвы в связи с применением минеральных удобрений под посевы яровой пшеницы в засушливых условиях Оренбургской области посвящены исследовательские работы таких авторов, как В.Ф. Аникович, А.Г. Крючков, Н.А. Максюттов, В.М. Жданов, В.М. Косинский, Г.А. Кремер, Л.В. Давыдова, В.Ю. Скороходов и др. [1, 11, 12, 14, 15, 17].

Факторы интенсификации, воздействующие на почву, изменяют соотношение различных физиологических групп внутри микробного сообщества и, как следствие, биологическую активность [3]. Результаты исследований по изменению целлюлолитической активности почвы под влиянием различных вариантов внесения удобрений показывают, что интенсивность распада клетчатки под изучаемыми культурами неодинакова. Удобрения оказывают существенное воздействие на целлюлолитическую активность почвы [22]. Твердая пшеница проявляет положительную реакцию на применение минеральных удобрений в дозе N40P80K40 действующего вещества на 1 га, что приводит к прибавке урожайности [20].

За длительный период изучения на черноземах южных установлено, что уровень урожайности яровой пшеницы после предшественника проса в зернопаровом севообороте в основном зависит от влияния активности целлюлозоразлагающих почвенных

микроорганизмов при внесении минеральных удобрений [23]. При многолетнем использовании минеральных удобрений в более высоких дозах (N100P50K120) в условиях Нечерноземной зоны наблюдается средняя интенсивность разложения целлюлозы, создающая благоприятные условия для роста и развития полевых культур [7].

Твердая пшеница по урожайности уступает ранним яровым зерновым культурам (мягкая пшеница, ячмень и др.), вот почему возрастает важность выбора лучших предшественников в сочетании с рациональной системой удобрений и учетом особенностей агроландшафтов для успешного возделывания в севооборотах [18].

В результате исследований, проведенных в Оренбургском Предуралье, за пять ротаций севооборотов (30 лет) наибольшая урожайность твердой пшеницы по сравнению с другими предшественниками в севооборотах (озимая рожь, пшеница, кукуруза на силос, горох) и бессменным посевом отмечена на вариантах выращивания по черному, почвозащитному и сидеральному парам, где она составляла в среднем по удобренному и неудобренному фону питания соответственно 11,4 ц/га, 11,4 и 11,6 ц/га. Прибавка зерна по этим предшественникам наблюдается после внесения минеральных удобрений, что повышает урожай на 0,3–1,0 ц/га [13], в то время как в засушливых условиях среднего Заволжья применение удобрений под твердую пшеницу способствует повышению урожайности на 1,9–3,1 ц/га [21]. В засушливых условиях Оренбуржья эффективность удобрений во многом зависит от количества весенних осадков, температурного режима вегетационного периода и предшественников севооборотов.

Потенциальное повышение урожайности твердой пшеницы до 20–30 ц/га на обыкновенных черноземах Оренбургского Предуралья возможно лишь при благоприятных по увлажнению условиях вегетационного периода и в результате применения минеральных удобрений [8]. По данным В.И. Елисеева, твердая пшеница отзывчива на азот в составе полного минерального удобрения (NPK): прибавка урожая зерна варьирует от 2,0 до 4,5 ц/га [5].

Сокращение посевов твердой пшеницы в Оренбургской области обуславливается высокими требованиями, предъявляемыми данной культурой к условиям выращивания, а также ее низкой урожайностью. По многолетним данным отдела агрохимии Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства, в засушливые годы отмечается минимальное влияние внесенных минеральных удобрений на урожайность зерна твердой пшеницы: прибавка не превышала 1,6 ц/га (для сравнения: во влажные годы прибавка урожая составляла 5,0 ц/га [6]).

Повышение урожайности зерна яровой твердой пшеницы в условиях сухого земледелия Оренбургской области приобретает особую актуальность. В связи с этим исследования проводили по изучению влияния влажности почвы, целлюлозоразрушающей активности микроорганизмов и макроэлементов питания на урожайность зерна яровой твердой пшеницы в севооборотах и бессменном посеве на черноземах южных Оренбургского Предуралья.

Условия, материалы и методы

Полевые исследования проводили с 2002 по 2020 г. в рамках длительного экспериментального стационарного опыта в севооборотах и бессменном посеве на территории Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (возле п. Нежинка Оренбургского района, центральная зона области). Опыт был заложен в 1988 г. сотрудниками отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Объектами исследования являлись почва (чернозем южный карбонатный среднесплодный тяжелосуглинистый) и зерновая культура (твердая пшеница) в севооборотах и бессменном посеве.

Почва опытного участка характеризовалась следующими показателями:

- гумус в пахотном слое почвы 0–30 см – 3,5%;
- общий азот – 0,25%;
- общий фосфор – 0,20%;
- подвижный нитратный азот – 12,5 мг/100 г;
- подвижный фосфор – 2,0 мг/100 г;
- обменный калий – 35 мг/100 г;
- рН почвенного раствора – 7,5;
- сумма поглощенных оснований – 40,1 мг·экв/100 г почвы;
- гидролитическая кислотность – 2,0 мг·экв/100 г сухой почвы.

Объемная масса почвы в слое 0–30 см составляла 1,15 г/см³ и повышалась до 1,40 г на 1 см³ в слое 0–100 см. Углубление в нижние слои почвы приводило к снижению влажности завядания, максимальной гигроскопичности и влагоемкости. Наименьшая полевая влагоемкость в слоях почвы 0–100 см и 0–150 см составляла соответственно 28,1 и 24,4%.

Схема полевого опыта включала в себя одиннадцать вариантов выращивания яровой твердой пшеницы в шестипольных, двупольных севооборотах и бессменном посеве по следующим предшественникам.

- I. Черный пар (контроль).
- II. Озимая пшеница.
- III. Черный пар.
- IV. Занятый пар (посев суданской травы).
- V. Сидеральный пар (овес и горох).
- VI. Кукуруза на силос.
- VII. Мягкая пшеница.
- VIII. Просо.
- IX. Ячмень.
- X. Горох.
- XI. Твердая пшеница (бессменный посев).

Исследования проводили в соответствии с методикой полевого опыта по Б.А. Доспехову [4].

Длительные полевые опыты (19 лет) закладывали в четырех повторениях. Делянки представляли собой прямоугольники с размерами 14,4 на 30 м ($S^2 = 432 \text{ м}^2$) в шестипольных севооборотах, $7,2 \times 30 \text{ м}$ ($S^2 = 216 \text{ м}^2$) в двупольных севооборотах и бессменном посеве, $3,6 \times 30 \text{ м}$ с площадью 108 м² после гороха. Общая площадь полевого опыта составляла 13 392 м², или 1,3 га.

В осенний период под основную обработку почвы (вспашка) с помощью сеялки СЗ-3,6 вносили комплексные минеральные удобрения (аммофоска, нитроаммофоска) в дозе N40P80K40 кг/га действующего вещества. Длина делянки удобренного и неудобренного фона питания составляла 30 м. Контрольным вариантом опыта являлась делянка без применения минеральных удобрений, остальные варианты (II–XI) размещены на удобренном фоне питания.

В первой декаде мая с помощью сеялки СЗП-3,6 высевали твердую пшеницу следующих сортов: Оренбургская 10, Оренбургская 21, Целиница с рекомендуемой нормой 180–195 кг/га. После сева почву на делянках прикатывали. Уборку проводили селекционным комбайном САМПО-500, при этом учитывали зерновую продукцию с площади 60 м².

Урожайность бункерного веса зерна с делянки определяли весовым методом и рассчитывали с 1 га пашни. Продуктивность твердой пшеницы устанавливали при 14% влажности и 100% чистоте зерна.

В полевых условиях для определения влажности почвы после посева и перед уборкой твердой пшеницы на делянках отбирали образцы ручным пробоотборником с трех скважин в слое 0–100 см.

В лабораторных условиях термостатно-весовым методом по рекомендации С.А. Воробьева определяли продуктивную влагу [2].

За количеством выпавших осадков наблюдали с помощью установленного полевого дождемера на делянках стационарного опытного участка.

Целлюлозолитическую активность почвы определяли с помощью аппликационно-весового метода Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой [16]. Высокая активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов приводила к разрушению льняной ткани на прямоугольных стеклах. Разлагающаяся ткань состояла из 80% целлюлозы и 20% различных примесей, в частности лигнина. Срок инкубации льняной ткани на глубине 0–20 см почвы длился три месяца (май-август) в течение периода вегетации культуры. На каждой делянке твердой пшеницы определяли целлюлозоразлагающую активность аэробных микроорганизмов (бактерии и грибы), анаэробных мезофильных и термофильных бактерий. К наиболее распространенным аэробным бактериям, разлагающим целлюлозу, относятся бактерии семейства *Cytophagaceae* рода *Cytophaga* (*Spirochaeta cytophaga* – необразующие микроцисты), *Sporocytophaga* (образующие микроцисты) и др. Грибами, разрушающими целлюлозу, являлись представители родов *Fusarium* и *Chaetomium*. В разлагающих процессах в почве участвовали хитридиомицеты, среди которых много паразитов и других анаэробных бактерий.

На полевом опытном участке для установления количества макроэлементов питания в период посева отбирали почвенные образцы так же, как и при определении влажности, только на глубине 0–30 см. В лабораторных условиях Центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий РАН двумя методами (инометрическим и Мачигина) определяли в почве содержание подвижных форм питательных веществ (NO_3^- , P_2O_5 , K_2O).

Результаты данных по урожайности зерна твердой пшеницы математически обрабатывали с помощью дисперсионного анализа с помощью компьютерной программы для расчета однофакторного опыта «Самойлов Андрей, 2004 г.».

Результаты и их обсуждение

В первую очередь определяли среднюю влажность в метровом слое почвы по различным изучаемым предшественникам и срокам наблюдений. Наибольшие запасы продуктивной влаги с учетом выпавших осадков за вегетационный период наблюдались после посева и перед уборкой по предшественникам второго и третьего вариантов опыта (озимая пшеница и пар черный). Они составляли соответственно 149,8 – 45,9 мм, 148,5 – 50,4 мм с отклонением от контроля 7,0 – 2,8 мм, 5,7 – 7,3 мм (см. табл.). Это объясняется тем, что раннее окончание периода вегетации озимой пшеницы (вторая декада июля) и периода парования (май-август) способствовало большему накоплению запасов продуктивной влаги в почве будущего года, чем на вариантах с другими предшественниками. Полевые культуры на других делянках расходовали влагу на свой рост и развитие, что приводило к снижению ее содержания в метровом слое почвы.

Наименьшая влажность почвы по срокам определения (после посева и перед уборкой) отмечалась на варианте выращивания пшеницы после проса и составляла соответственно 50,1 и 12,8 мм с отрицательным отклонением от контроля –92,7 и –30,3 мм. Кроме того, на этом варианте отмечена сильная засоренность посевов просом, которая повышала уплотнение почвы и, как следствие, уменьшала запасы продуктивной влаги в отличие от других предшественников севооборотов.

АГРОНОМИЯ

Запасы продуктивной влаги, степень разложения льняного полотна, содержание подвижных форм питательных веществ в почве и урожайность зерна яровой твердой пшеницы в зависимости от предшественника, фона питания и срока взятия проб (средние показатели за 2002–2020 гг.)

Вариант опыта	Предшественник	Продуктивная влага в слое почвы 0–100 см, мм*		Степень разложения ткани в слое 0–20 см, %	Содержание весенних запасов питательных веществ в слое 0–30 см, мг/100 г почвы			Урожайность зерна, т/га	НСР ₀₅ ¹
		после посева	перед уборкой		NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O		
I (контроль)	Пар черный на фоне без удобрений	142,8	43,1	9,7	6,4	4,5	39,7	0,77	0,34
Удобренный фон питания									
II	Озимая пшеница	<u>149,8</u> ^{**} 7,0 ^{***}	<u>45,9</u> 2,8	<u>9,6</u> -0,1	<u>7,9</u> 1,5	<u>6,4</u> 1,9	<u>45,2</u> 5,5	<u>0,82</u> 0,05	0,14
III	Пар черный	<u>148,5</u> 5,7	<u>50,4</u> 7,3	<u>10,0</u> 0,3	<u>7,3</u> 0,9	<u>6,2</u> 1,7	<u>42,2</u> 2,5	<u>1,04</u> 0,27	0,07
IV	Пар занятый	<u>139,4</u> -3,4	<u>47,2</u> 4,1	<u>8,9</u> -0,8	<u>7,6</u> 1,2	<u>5,8</u> 1,3	<u>41,6</u> 1,9	<u>0,87</u> 0,10	0,16
V	Пар сидеральный	<u>139,8</u> -3,0	<u>43,7</u> 0,6	<u>9,1</u> -0,6	<u>8,5</u> 2,1	<u>5,5</u> 1,0	<u>42,1</u> 2,4	<u>0,92</u> 0,15	0,11
VI	Кукуруза на силос	<u>124,1</u> -18,7	<u>34,2</u> -8,9	<u>7,1</u> -2,6	<u>8,0</u> 1,6	<u>5,7</u> 1,2	<u>40,5</u> 0,8	<u>0,74</u> -0,03	0,21
VII	Мягкая пшеница	<u>129,5</u> -13,3	<u>40,6</u> -2,5	<u>7,9</u> -1,8	<u>7,3</u> 0,9	<u>6,1</u> 1,6	<u>41,1</u> 1,4	<u>0,75</u> -0,02	0,19
VIII	Просо	<u>50,1</u> -92,7	<u>12,8</u> -30,3	<u>2,7</u> -7,0	<u>3,7</u> -2,7	<u>3,1</u> -1,4	<u>39,8</u> 0,1	<u>0,64</u> -0,13	0,36
IX	Ячмень	<u>86,4</u> -56,4	<u>22,4</u> -20,7	<u>2,8</u> -6,9	<u>5,6</u> -0,8	<u>5,1</u> 0,6	<u>31,2</u> -8,5	<u>0,78</u> -0,01	0,22
X	Горох	<u>131,9</u> -10,9	<u>36,1</u> -7,0	<u>8,8</u> -0,9	<u>9,1</u> 2,7	<u>6,2</u> 1,7	<u>41,4</u> 1,7	<u>0,69</u> -0,08	0,21
XI	Мягкая пшеница (бессменно)	<u>142,3</u> -0,5	<u>48,9</u> 5,8	<u>7,0</u> -2,7	<u>6,3</u> -0,1	<u>6,0</u> 1,5	<u>39,8</u> 0,1	<u>0,72</u> -0,05	0,21

Примечание: * – запасы продуктивной влаги с учетом выпавших осадков по данным полевого осадкомера за май в среднем составляли 31,2 мм, июнь – 34,0 мм, июль – 30,9 мм, август – 24,0 мм;

** – среднее по вариантам;

*** – отклонения от контроля (+ или –);

¹ – НСР₀₅ урожайности по фактору (удобрения).

За девятнадцать лет наблюдений определена степень разложения льняного полотна по вариантам выращивания твердой пшеницы после паров и полевых культур. Самые высокие показатели целлюлозолитической активности почвы в слое 0–20 см отмечены на варианте опыта после черного пара и составили на удобренном фоне питания 10,0% с отклонением от неудобренного на 0,3%. В результате сохранения и накопления продуктивной влаги в черном пару целлюлозолитики оказывают положительное влияние на повышение целлюлозолитической активности в почве.

На основании полученных данных по целлюлозолитической активности почвы установлено, что после внесения минеральных удобрений уменьшается степень разложения льняного полотна на вариантах выращивания твердой пшеницы после проса и ячменя. Наименьшая активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почве по данным предшественникам составляла 2,7 и 2,8% с отрицательным отклонением от

контроля $-7,0$ и $-6,9\%$. В связи с этим высокая плотность почвы и минимальные запасы продуктивной влаги на этих делянках опыта способствовали снижению жизнедеятельности микроорганизмов. Почвенная целлюлозоразрушающая активность микроорганизмов на других вариантах варьировала в интервале от $7,0$ до $9,6\%$.

Различная активность целлюлозолитиков приводит к неодинаковой доступности подвижных форм питательных веществ. В пахотном слое почвы ($0-30$ см) содержание нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в период посева твердой пшеницы зависело от степени целлюлозолитической активности почвы.

Максимальное содержание нитратного азота в почве наблюдалось в период посева твердой пшеницы на варианте опыта после гороха – $9,1$ мг/100 г почвы, что превышало значение контрольного варианта на $2,7$ мг/100 г почвы. За счет внесения минеральных удобрений и биологических особенностей гороха происходит накопление нитратного азота в почве. Минимальное его количество отмечено в почве после проса – $3,7$ мг/100 г почвы, что меньше контрольного значения на $2,7$ мг/100 г почвы.

Самое высокое содержание подвижного фосфора на удобренном фоне питания отмечено на варианте после озимой пшеницы и составляло $6,4$ мг/100 г почвы с положительным отклонением от контроля на $1,9$ мг/100 г почвы, минимальное – на варианте после проса – $3,1$ мг/100 г почвы с отрицательным отклонением от контроля ($-1,4$ мг/100 г почвы). Содержание подвижного фосфора в почве других вариантов варьировало от $5,1$ до $6,2$ мг/100 г почвы.

Самое высокое содержание обменного калия в почве отмечено на варианте после озимой пшеницы и составляло $45,2$ мг/100 г почвы, что превышало показатель контроля на $5,5$ мг/100 г почвы. Низкий запас оксида калия отмечен на варианте после ячменя – $31,2$ мг/100 г почвы, что ниже контроля на $8,5$ мг/100 г почвы. Лучшее обеспечение почвы обменным калием в сравнении с нитратным азотом и подвижным фосфором объясняется особенностями водного и биологического режима чернозема южного конкретного экспериментального участка, в результате чего происходит накопление именно таких запасов подвижных форм питательных веществ.

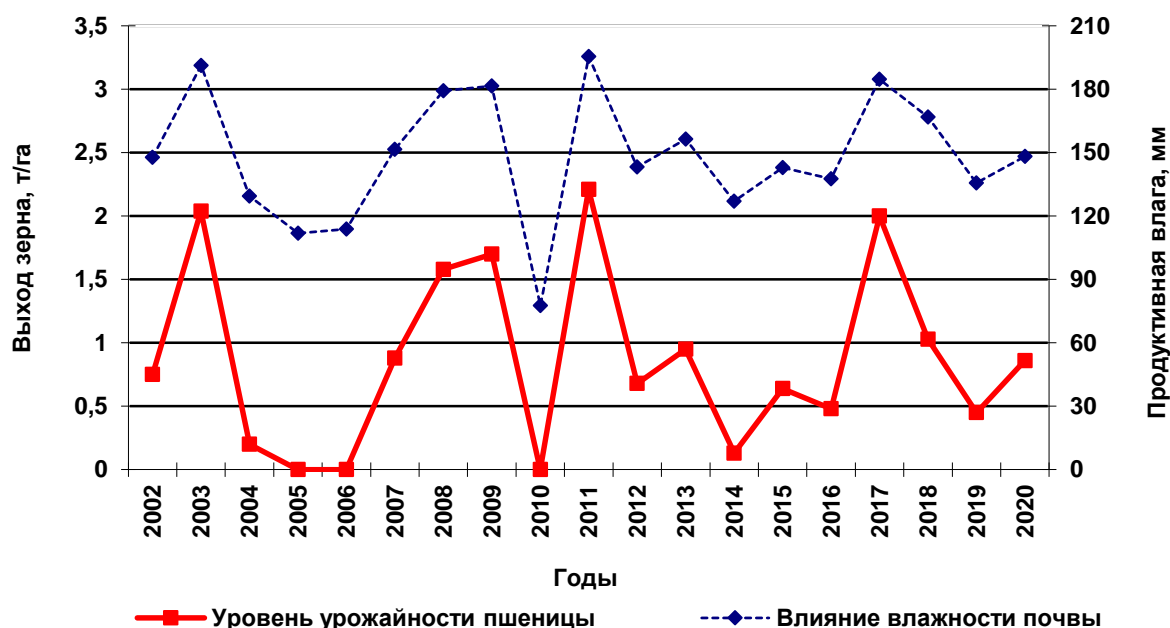
Основными питательными веществами для твердой пшеницы в почве являются макроэлементы, которые используются для роста, развития и созревания зерна. Количество и доступность нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве имеют большое значение в рационе питания твердой пшеницы для формирования урожая зерна.

Максимальная урожайность зерна твердой пшеницы получена на вариантах опыта после черного и сидерального паров – соответственно $1,04$ и $0,92$ т, что превышало значения контрольного варианта на $0,27$ и $0,15$ т/га. Минимальная продуктивность яровой пшеницы отмечена на вариантах после проса и гороха – соответственно $0,64$ и $0,69$ т/га. На других вариантах выращивания твердой пшеницы урожайность варьировала от $0,72$ до $0,87$ т/га.

На основании математической обработки данных урожайности зерна твердой пшеницы с помощью дисперсионного анализа однофакторного опыта ($НСР_{05}$ по удобрениям) установлено, что фактическая разница наиболее существенна в третьем, пятом и контрольном вариантах – соответственно $НСР_{05} = 0,07, 0,11$ и $0,34$ т. Этот факт свидетельствует о влиянии минеральных удобрений на повышение продуктивности (по сравнению с контролем).

По остальным вариантам отмечена незначительная наименьшая разность по сравнению с контролем ($НСР_{05}$ – от $0,14$ до $0,36$ т). В результате обработки результатов вариантов опыта выявлено, что на удобренном фоне питания такие предшественники, как озимая пшеница, пар занятый, кукуруза на силос, мягкая пшеница, просо, ячмень, горох и бесменный посев твердой пшеницы не оказывают влияния на урожайность зерна.

На урожайность зерна твердой пшеницы на варианте после черного пара оказывают влияние запасы весенней продуктивной влаги в метровом слое почвы (0–100 см) на удобренном фоне питания, особенно после осеннего внесения минеральных удобрений (см. рис.).



Урожайность зерна твердой пшеницы после черного пара в шестипольном севообороте в зависимости от содержания весенней продуктивной влаги в слое почвы 0–100 см на удобренном фоне питания

Из данных, приведенных на рисунке, видна прямо пропорциональная зависимость между урожайностью твердой пшеницы и содержанием весенней продуктивной влаги в почве: чем выше влажность почвы (2003, 2011 и 2017 гг.), тем выше урожайность твердой пшеницы после черного пара в шестипольном севообороте, и наоборот. Эта зависимость объясняется тем, что во влажные годы продуктивная влага метрового слоя почвы лучше усваивается культурой, и, как следствие, улучшаются процессы роста, развития и созревания зерна. В сильно засушливые годы исследования (2005, 2006 и 2010 гг.) отмечено снижение влажности почвы, что способствовало проявлению пуштоколосости и гибели растений.

Установлено, что перед посевом твердой пшеницы предшествующий черный пар за время своего парования накапливает достаточные запасы продуктивной влаги в почве на удобренном фоне питания, что оказывает влияние на повышение урожайности зерна. Запасы весенней влаги на делянках благотворно влияли на жизнедеятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов и доступность подвижных форм питательных веществ растениям твердой пшеницы.

В посевах твердой пшеницы после сидерального пара на удобренном фоне питания отмечался рост урожайности зерна по сравнению с контролем. Этот процесс происходил за счет действия зеленых минеральных удобрений (сидераты – овес и горох), целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов, накопления достаточно высоких запасов весенней продуктивной влаги и макроэлементов питания в почве.

Выводы

Выявлено, что различные предшественники и минеральные удобрения не оказывают заметного влияния на влажность, целлюлозолитическую активность почвы и содержание подвижных форм питательных веществ и, как следствие, на повышение урожайности зерна твердой пшеницы.

Максимальная урожайность твердой пшеницы зафиксирована на вариантах выращивания твердой пшеницы после черного и сидерального паров – соответственно 1,04 и 0,92 т/га, что выше контрольного варианта на 0,27 и 0,15 т/га. Минимальная продуктивность твердой пшеницы отмечена после таких предшествующих культур, как просо и горох – соответственно 0,64 и 0,69 т/га. На других вариантах выращивания твердой пшеницы урожайность находилась в диапазоне от 0,72 до 0,87 т/га.

В шестипольном севообороте в предшествующем черном пару весенние запасы продуктивной влаги возрастали до 148,5 мм, активируя жизнедеятельность целлюлозолитиков в почве. Как следствие, разложение льняного полотна достигало 10%, доступность подвижных форм питательных веществ повышалась до следующих значений: $\text{NO}_3^- = 7,3$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 6,2$; $\text{K}_2\text{O} = 42,2$ мг/100 г почвы.

Внесение минеральных удобрений на делянках, где предшествующие злаковые/бобовые культуры (овес и горох) применялись в качестве сидератов в пару, способствовало повышению содержания подвижного фосфора и обменного калия (соответственно до 5,5 и 42,1 мг/100 г почвы), целлюлозолитической активности почвы (до 9,1%) и, как следствие, росту урожайности зерна.

Таким образом, сельхозпроизводителям для повышения урожайности зерна твердой пшеницы можно рекомендовать применять весенние посевы по черным и сидеральным парам в шестипольных севооборотах после внесения минеральных удобрений под осеннюю вспашку.

Исследования проводили в соответствии с планом научно-исследовательской работы на 2020–2021 гг. Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (№ 0761-2019-0003).

Список источников

1. Аникович В.Ф. Особенности водного режима почвы в связи с внесением минеральных удобрений под яровую пшеницу в засушливой степи Оренбургской области // Сборник научных трудов. Уфа, 1988. С. 68–74.
2. Воробьев С.А., Бузов Д.И., Егоров В.Е., Груздев Г.С. Земледелие: учебник и учебное пособие; под ред. проф. С.А. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос, 1972. 512 с.
3. Долгополова Н.В., Павлов А.А. Биологическая активность и плотность почвы при возделывании яровой твердой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 4. С. 31–33.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Елисеев В.И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на урожайность яровой твердой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10(185). С. 14–19.
6. Елисеев В.И., Сандакова Г.Н. Оценка влияния погодных условий и минерального питания на урожайность яровой твердой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10(185). С. 212–217.
7. Золкина Е.И. Влияние длительного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур // Плодородие. 2019. № 5(110). С. 20–23. DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.06.
8. Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р. Удобрение яровой твердой пшеницы и ее урожайность в Оренбургском Предуралье // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 53–57.
9. Крючков А.Г., Елисеев В.И. Вероятность формирования урожайности яровой твердой пшеницы в связи с различным количеством доступной влаги в степной зоне Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4(60). С. 20–24.
10. Крючков А.Г., Елисеев В.И. Закономерности поступления и расхода влаги яровой твердой пшеницей в засушливой степи Оренбургского Предуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 4(192). С. 72–78.
11. Крючков А.Г., Максюттов Н.А. Погодные факторы и роль предшественников в повышении урожайности яровой твердой пшеницы // Аграрная наука. 2015. № 11. С. 7–11.
12. Максюттов Н.А., Жданов В.М., Косинский В.М. Водный режим почвы в чистых, сидеральных и почвозащитных парах при возделывании на них яровой пшеницы // Агробиологические основы интенсификации производства зерна в Оренбургской области: сборник научных трудов. Уфа, 1991. С. 33–38.
13. Максюттов Н.А., Зоров А.А., Скороходов В.Ю., Митрофанов Д.В. Влияние предшественников и фона питания на урожайность яровой твердой пшеницы в засушливой степи Оренбургского Предуралья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 11–17.

14. Максютов Н.А., Кремер Г.А., Жданов В.М., Давыдова Л.В. Водный режим почвы в севооборотах с различными видами пара // Проблемы земледелия, растениеводства и животноводства в степном регионе: сборник научных трудов, юбилейный выпуск к 60-летию Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Оренбург, 1997. С. 105–112.
15. Митрофанов Д.В., Максютов Н.А., Скороходов В.Ю. и др. Влияние продуктивной влаги на урожайность сельскохозяйственных культур в засушливых условиях Оренбургской области // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 4(100). С. 225–233.
16. Мишустин Е.Н., Петрова А.Н. Определение биологической активности почвы // Микробиология. 1963. Т. 32, № 3. С. 478-483.
17. Насыров Д.К., Максютов Н.А. Влияние минеральных удобрений на водный режим почвы // Бажановские чтения: сборник научных трудов к 90-летию Бузулукского опытного поля. Оренбург, 2003. С. 166–170.
18. Пашкова Г.И. Влияние предшественников на продуктивность яровой пшеницы // Вестник Марийского государственного университета. 2020. Т. 6, № 1(21). С. 48–53. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-48-52.
19. Сандакова Г.Н. Зоны производства и размещение центров глубокой переработки сильной и твердой пшеницы в Оренбургской области // Инновационные процессы в сельскохозяйственном производстве, наука и практика: международный сборник научных трудов. Оренбург, 2008. С. 45–60.
20. Скороходов В.Ю. Уровень биологической активности почвы и содержание нитратного азота под посевами яровой твердой пшеницы в последствии черного кулисного пара на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3(83). С. 51–57. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-51-57.
21. Щербинина Е.В. Питательный режим почвы при возделывании яровой твердой пшеницы в Среднем Заволжье // Молодой ученый. 2016. № 27.3(131.3). С. 62–65.
22. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 7(106). С. 45–49.
23. Mitrofanov D.V., Maksyutov N.A., Skorokhodov V.Yu., et al. Biological activity influence of soil and nitrates on the yield of soft spring wheat in crop rotation and permanent sowing in Urals southern chernozems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 624. No. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012013.

References

1. Anikov V.F. Osobennosti vodnogo rezhima pochvy v svyazi s vneseniem mineral'nykh udobrenij pod yarovuyu pshenitsu v zasushlivoj stepi Orenburgskoj oblasti [Features of the water regime of the soil in connection with mineral fertilizers application for spring wheat in the arid steppe of Orenburg Oblast]. Sbornik nauchnykh trudov [Collection of scientific papers]. Ufa; 1988:68-74. (In Russ.).
2. Vorobiev S.A., Burov D.I., Egorov V.E., Gruzdev G.S. Zemledelie: uchebnik i uchebnoe posobie; pod red. prof. S.A. Vorob'eva. 2-e izd., pererab. i dop. [Soil Management: Textbook and Study Guide; edited by Prof. S.A. Vorobyov. 2nd ed., revised and enlarged]. Moscow: Kolos Press; 1972. 512 p. (In Russ.).
3. Dolgopolova N.V., Pavlov A.A. Biologicheskaya aktivnost' i plotnost' pochvy pri vozdeleyvanii yarovoj tverdoj pshenitsy [Biological activity and soil density during cultivation of spring durum wheat]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii = Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 2012;4:31-33. (In Russ.).
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd., dop. i pererab. [Field-plot Technique (with the Basics of Statistical Processing of Results of Research and Experiments). 5th ed., revised and enlarged] Moscow: Agropromizdat Press; 1985. 351 p. (In Russ.).
5. Eliseev V.I. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobrenij na urozhajnost' yarovoj tverdoj pshe-nitsy v usloviyakh Orenburgskogo Predural'ya [Effect of long-term application of fertilizers on yield of spring durum wheat in the midst of Orenburg Cis-Uralst]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Orenburg State University*. 2015;10(185):14-19. (In Russ.).
6. Eliseev V.I., Sandakova G.N. Otsenka vliyaniya pogodnykh uslovij i mineral'nogo pitaniya na urozhajnost' yarovoj tverdoj pshenitsy v Orenburgskom Predural'e [Evaluation of the effect of weather conditions and mineral nutrition on the yield of spring wheat in the Urals region of Orenburg]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Orenburg State University*. 2015;10(185):212-217. (In Russ.).
7. Zolkina E.I. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenij na plodorodie dernovo-podzolistoj pochvy i produktivnost' kul'tur [Influence of long-term fertilizer applications on fertility and yield of crops]. *Plodorodie = Plodorodie*. 2019;5(110):20-23. DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.06. (In Russ.).
8. Kryuchkov A.G., Eliseev V.I., Abdrashitov R.R. Udobrenie yarovoj tverdoj pshenitsy i ee urozhajnost' v Orenburgskom Predural'e [Fertilization of spring durum wheat and its productivity in Orenburg Preduralie]. *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skokhozyajstvennykh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2012;1:53-57. (In Russ.).
9. Kryuchkov A.G., Eliseev V.I. Veroyatnost' formirovaniya urozhajnosti yarovoj tverdoj pshenitsy v svyazi s razlichnym kolichestvom dostupnoj vlagi v stepnoj zone Orenburgskogo Predural'ya [Probability of spring wheat yields formation owing to different amount of available moisture in the steppe zone of Orenburg Preduralie]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia of Orenburg State Agrarian University*. 2016;4(60):20-24. (In Russ.).
10. Kryuchkov A.G., Eliseev V.I. Zakonomernosti postupleniya i raskhoda vlagi yarovoj tverdoj pshenitsej v zasushlivoj stepi Orenburgskogo Predural'ya [Regularities of moisture intake and consumption by spring durum wheat in the arid steppe of Orenburg Urals]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Orenburg State University*. 2016;4(192):72-78. (In Russ.).

11. Kryuchkov A.G., Maksyutov N.A. Pogodnye faktory i rol' predshestvennikov v povyshenii urozhajnosti yarovoj tverdoj pshenitsy [Weather factors and the role of predecessors in increase the yield of spring wheat]. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*. 2015;11:7-11. (In Russ.).

12. Maksyutov N.A., Zhdanov V.M., Kosinskij V.M. Vodnyj rezhim pochvy v chistykh, sidental'nykh i pochvozashchitnykh parakh pri vozdeleyvanii na nikh yarovoj pshenitsy [Water regime of soil in black, green-manured and soil-protecting fallows when cultivating spring wheat]. *Agrobiologicheskie osnovy intensivatsii proizvodstva zerna v Orenburgskoj oblasti: sbornik nauchnykh trudov [Agrobiological foundations of grain production intensification in Orenburg Oblast: collection of scientific papers]*. Ufa; 1991:33-38. (In Russ.).

13. Maksyutov N.A., Zorov A.A., Skorohodov V.Yu., Mitrofanov D.V. Vliyanie predshestvennikov i fona pitaniya na urozhajnost' yarovoj tverdoj pshenitsy v zasushlivoj stepi Orenburgskogo Predural'ya [Precursors and nutrient status effect on the yield of hard spring wheat in the Ural Orenburg arid steppe]. *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii = Izvestia of Samara State Agricultural Academy*. 2020;3:11-17. (In Russ.).

14. Maksyutov N.A., Kremer G.A., Zydanov V.M., Davydova L.V. Vodnyj rezhim pochvy v sevooborotakh s razlichnymi vidami para [Water regime of soil in crop rotations with various types of fallows]. *Problemy zemledeliya, rasteniyevodstva i zhivotnovodstva v stepnom regione: sbornik nauchnykh trudov, yubilejnyj vypusk k 60-letiyu Orenburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo khozyajstva [Problems of soil management, crop growing and animal husbandry in the steppe region: collection of scientific papers, special issue devoted to the 60th anniversary of Orenburg Research Institute for Agriculture]*. Orenburg; 1997:105-112. (In Russ.).

15. Mitrofanov D.V., Maksyutov N.A., Skorohodov V.Yu., et al. Vliyanie produktivnoj vlagi na urozhajnost' sel'skokhozyajstvennykh kul'tur v zasushlivykh usloviyakh Orenburgskoj oblasti [Influence of productive moisture on productivity of agricultural crops in arid conditions of Orenburg Oblast]. *Vestnik myasnogo skotovodstva = Herald of Beef Cattle Breeding*. 2017;4(100):225-233. (In Russ.).

16. Mishustin E.N., Petrova A.N. Opredelenie biologicheskoy aktivnosti pochvy [Determination of biological activity of soil]. *Mikrobiologiya = Microbiology*. 1963;32(3):478-483. (In Russ.).

17. Nasyrov D.K., Maksyutov N.A. Vliyanie mineral'nykh udobrenij na vodnyj rezhim pochvy [Influence of mineral fertilizers on the water regime of the soil]. *Bazhanovskie chteniya: sbornik nauchnykh trudov k 90-letiyu Buzulukskogo opytnogo polya [Bazhanov readings: collection of scientific papers on the 90th anniversary of Buzuluk experimental field]*. Orenburg; 2003:166-170. (In Russ.).

18. Pashkova G.I. Vliyanie predshestvennikov na produktivnost' yarovoj pshenitsy [Influence of forecrops on spring wheat productivity]. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of the Mari State University*. 2020;6(1):48-53. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-48-52. (In Russ.).

19. Sandakova G.N. Zony proizvodstva i razmeshchenie tsentrov glubokoj pererabotki sil'noj i tverdoj pshe-nitsy v Orenburgskoj oblasti [Production zones and location of centers for deep processing of strong and durum wheat in Orenburg Oblast]. *Innovatsionnye protsessy v sel'skokhozyajstvennom proizvodstve, nauka i praktika: mezhdunarodnyj sbornik nauchnykh trudov [Innovative processes in agricultural production, science and practice: international collection of scientific papers]*. Orenburg; 2008:45-60. (In Russ.).

20. Skorohodov V.Yu. Uroven' biologicheskoy aktivnosti pochvy i sodержanie nitratnogo azota pod posevami yarovoj tverdoj pshenitsy v posledestvii chernogo kulisnogo para na chernozemah yuzhnykh Orenburgskogo Predural'ya [The level of soil biological activity and the content of nitrate nitrogen in soils under spring durum wheat as an aftereffect of coulisse fallow on southern chernozem lands of Orenburg Priuralie]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia of Orenburg State Agrarian University*. 2020;3(83):51-57. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-51-57. (In Russ.).

21. Shcherbinina E.V. Pitatel'nyj rezhim pochvy pri vozdeleyvanii yarovoj tverdoj pshenitsy v Srednem Zavolz'he [Nutrient regime of soil during cultivation of spring durum wheat in the Middle Volga region]. *Molodoj uchenyj = Young Scientist*. 2016;27.3(131.3):62-65. (In Russ.).

22. Shchur A.V., Vinogradov D.V., Valko V.P. Cellyulozoliticheskaya aktivnost' pochv pri razlichnykh urovnyakh agrotekhnicheskogo vozdeystviya [The soil cellulolytic activity in various levels of agrotechnical influence]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KrasSAU*. 2015;7(106):45-49. (In Russ.).

23. Mitrofanov D.V., Maksyutov N.A., Skorohodov V.Yu., et al. Biological activity influence of soil and nitrates on the yield of soft spring wheat in crop rotation and permanent sowing in Urals southern chernozems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624:012013. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012013.

Информация об авторе

Д.В. Митрофанов – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Оренбург, Россия, dvm.80@mail.ru.

Information about the author

D.V. Mitrofanov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, the Dept. of Soil Management and Resource-Saving Technologies, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, dvm.80@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.11.2021; одобрена после рецензирования 25.12.2021; принята к публикации 28.01.2022.

The article was submitted 19.11.2021; approved after revision 25.12.2021; accepted for publication 28.01.2022.

© Митрофанов Д.В., 2022