

## Влияние погодных условий, основной обработки почвы, продуктивной влаги и питательных веществ на урожайность зерновых культур

Д. В. Митрофанов<sup>1</sup>✉

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

✉ E-mail: [dvm.80@mail.ru](mailto:dvm.80@mail.ru)

**Аннотация.** Цель работы – установить воздействие погодных факторов, содержания продуктивной влаги и питательных веществ в почве на повышение урожайности полевых культур в зернопаровых севооборотах. **Методы исследований:** полевой, термостатно-весовой, ионометрический, Мачигина. **Научная новизна.** Впервые проведена оценка влияния агрометеорологических условий (2014–2021 гг.), содержания продуктивной влаги и питательных веществ на урожайность зерновых культур после нулевой и плоскорезной обработки (25–27 см) почвы на частях склона. **Результаты.** Установлено, что в среднем за период вегетации (май – август) воздушная температура (18,8 °С) и суховейные дни (74) отрицательно влияют на урожайность ячменя (1,10 и 0,86 т/га) на верхней части склона и составляют по плоскорезной обработке почвы 55,72 и 66,55 % в сравнении с нулевой (контроль) – 43,88 и 55,38 % ( $P \leq 0,05$ ). Атмосферные осадки (92,0 мм) положительно воздействуют на урожайность твердой пшеницы (0,99 и 0,83 т/га) на средней части склона и составляют по плоскорезной 47,39 % и без обработки почвы 52,03 % ( $P \leq 0,05$ ). Весенняя продуктивная влага (105,0 и 101,0 мм) в метровом слое почвы благоприятно влияет на урожайность мягкой пшеницы (1,05 и 0,78 т/га) на верхней части склона и составляет по плоскорезной обработке 64,15 % в сравнении с контролем 76,80 % ( $P \leq 0,05$ ). Повышение урожайности мягкой пшеницы (1,42 т/га) и ячменя (1,43 т/га) зависит от влияния содержания подвижного фосфора (3,7 и 3,5 мг/100 г) в слое почвы 0–30 см на нижней части склона по плоскорезной обработке и составляет 54,15 и 55,98 % ( $P \leq 0,05$ ). Таким образом, засушливые погодные условия, содержание продуктивной влаги, нитратного азота, подвижного фосфора и калия по остальным вариантам посева не оказывают воздействия на увеличение урожайности.

**Ключевые слова:** твердая пшеница, мягкая пшеница, ячмень, температура воздуха, осадки, число суховейных дней, продуктивная влага, питательные вещества, урожайность, часть склона.

**Для цитирования:** Митрофанов Д. В. Влияние погодных условий, основной обработки почвы, продуктивной влаги и питательных веществ на урожайность зерновых культур // Аграрный вестник Урала. 2023. № 08 (237). С. 12–23. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-12-23.

**Дата поступления статьи:** 27.02.2023, **дата рецензирования:** 04.03.2023, **дата принятия:** 03.04.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

В России центральным звеном любой системы земледелия является севооборот. В засушливых условиях степной зоны Южного Урала зернопаровому севообороту с черным паром отводится решающая роль в стабилизации производства зерна и повышении урожайности полевых культур. На сегодняшний день актуальной проблемой является повышение продуктивности севооборотов на различных частях склона подверженных водной и ветровой эрозии почвы.

Контурно-буферно-полосная организация (состоящая из многолетних трав и кустарниковых кулисных растений) на склоновых землях с укло-

ном 1–3° в системе зернопарового севооборота с черным паром привела к решению проблемы защиты почвы от водной и ветровой эрозии. Таким образом, сокращаются потери почвенной влаги на 30 %, почвы – на 50 %, выход сельскохозяйственной продукции повышается в 4,2 раза, окупаются производственные затраты в течение двух лет по сравнению со склоном без их защиты [1, с. 9].

Среди основных факторов, влияющих на урожайность зерновых культур, можно особо выделить погодные условия, содержание продуктивной влаги и необходимых для растений макроэлементов питания в почве.

В период исследования засушливые погодные условия формируют урожайность твердой пшеницы в пределах от 2,07 до 3,96 т/га [2, с. 33]. В засушливых агрометеорологических условиях получают на нижней части склона наибольшую биологическую (сноповой анализ) урожайность твердой пшеницы – 1,05 т, мягкой – 1,42 т, ячменя – 1,46 т/га. Понижение урожайности зерновых культур в зернопаровых севооборотах на склоне объясняется засушливыми условиями в период вегетации [3, с. 18]. Засушливые условия (май – август) проявляются в недоборе осадков, повышенной температуре и большим количеством суховейных дней. Вегетационный период зерновых культур определяется гидротермическим коэффициентом увлажнения по рекомендации Г. Т. Селянинова и является засушливым [4, с. 6].

В результате исследований создана математическая модель зависимости продуктивности мягкой пшеницы в зернопаровом (четырёхпольном) севообороте на верхней части склона от содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы [5, с. 39]. При выращивании мягкой пшеницы на склонах различной экспозиции формируется наилучшая урожайность на восточной 1,48–1,49 т/га в отличие от западной – 1,31–1,32 т/га [6, с. 31]. Основное плоскорезное рыхление почвы способствует эффективному потреблению почвенной влаги мягкой пшеницы, при этом формируется урожайность 0,80–0,83 т/га [7, с. 43]. Безотвальное рыхление зяби обеспечивает наилучшее накопление влаги в метровом слое почвы в фазе колошения твердой пшеницы от 33,8 до 38,5 мм, урожайность составляет 2,83 т/га [8, с. 26]. Без осенней обработки почвы снижается урожайность твердой пшеницы до 1,29 т/га [9, с. 264]. Наибольшая урожайность отмечается на нижней части склона и составляет по твердой пшенице 1,27 т, по мягкой – 1,57 т, по ячменю – 1,52 т/га. Такое получение урожайности происходит за счет обеспеченности культур продуктивной влагой от 121,9 до 154,2 мм, нитратного азота – 9,5–13,5 мг, подвижного фосфора – 4,2–4,5, калия – 35,2–36,4 мг / 100 г почвы [10, с. 9]. Наилучшее содержание питательных веществ в почве на нижней части склона объясняется наибольшими весенними запасами продуктивной влаги [11, с. 5].

Выращивание полевых культур зависит от наличия азота в почве, что приводит к огромному производству и применению азотных удобрений во всем мире [12, с. 294]. Повышение эффективности потребления фосфора мягкой пшеницей имеет большое значение для устойчивого использования ресурсов фосфорных удобрений [13, с. 1404]. Калий и азот являются важнейшими питательными веществами для растений. В связи с этим главное значение для поддержания продуктивности сельскохозяйственных культур имеет снабжение данны-

ми макроэлементами в почве с помощью внесения минеральных удобрений [14, с. 247]. При содержании азота от 3,10 до 5,39 мг/100 г почвы формируется наибольшая урожайность твердой пшеницы по пару в пределах 3,16–3,33 т/га. Повышение азота в почве до 7,68 до 12,2 мг способствует к снижению урожайности твердой пшеницы до 2,64–2,15 т/га [15, с. 10]. Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0–30 см около 6,15 мг/100 г способствует формированию урожайности твердой пшеницы до 3,86 т/га. Количество подвижного калия в средней степени влияет на урожай. Только в 33,41 % случаев урожайность твердой пшеницы зависит от содержания калия в верхнем слое почвы [16, с. 16]. Содержание питательных веществ в черноземе южном изменяется в течение периода вегетации мягкой пшеницы. В результате снижается в большей степени количество азота и фосфора в почве без осенней обработки и повышается содержания калия при плоскорезной (25–27 см) [17, с. 16]. В других почвенных условиях чернозема южного основная плоскорезная обработка приводит к понижению содержания нитратного азота в слое почвы (0–30 см) [18, с. 34]. В благоприятных почвенно-климатических условиях максимальный урожай ячменя за период вегетации достигает 3,16–3,28 т/га [19, с. 91]. Фон безотвальной обработки почвы способен создавать более оптимальные условия для формирования зерна ячменя и в среднем урожайность получена от 1,90 до 2,90 т/га [20, с. 78]. Высокий выход зерна с 1 га пашни получен ячменем по мягкой пшенице при возделывании в севообороте и составляет на удобренном фоне питания 2,23 т, на неудобренном – 1,90 т/га. Среди бессменных посевов также сформирована наибольшая урожайность ячменя [21, с. 20]. Например, в других почвенно-климатических условиях максимальная средняя урожайность ячменя доходила до 7,19 т/га [22, с. 25]. Средняя урожайность зерновых культур в засушливых условиях Оренбургской области находится на определенном уровне 1,1 т/га, с варьированием по годам от 0,2 до 1,74 т/га [23, с. 7]. При создании условий для увлажнения верхнего слоя почвы (2–8 см) приведет к прибавке урожайности зерновых культур на 0,7–1,0 т/га [24, с. 18]. В результате прогнозирования урожайности зерновых культур в Оренбургской области при изменении температурного фактора произойдет снижение валовых сборов зерна с условиями сохранения посевных площадей [25, с. 674].

Таким образом, для увеличения урожайности полевых культур в севооборотах необходимо изучить влияние погодных факторов, содержания продуктивной влаги и подвижных форм питательных веществ после осенней нулевой (без механической) и глубокой плоскорезной обработки почвы в системе контурно-полосного земледелия в условиях черноземах южных Оренбургского Зауралья.

В соответствии с вышеприведенной целью исследования были поставлены следующие задачи:

1) провести анализ данных по погодным условиям вегетационного периода зерновых культур на изучаемой территории;

2) определить содержание продуктивной влаги и подвижных форм питательных веществ под посевами зерновых культур;

3) дать оценку урожайности зерновых культур в зависимости от обработки почвы и части склона.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в 2014–2021 гг. на длительном экспериментальном опытном поле, заложенном в 1987 г., в ФГБУ «Опытная станция „Советская Россия“» Адамовского района Оренбургской области. Изучаемая территория располагалась по координатам 51°43'56.0»N, 59°47'34.0»E. Закладывался полевой опыт в системе контурно-полосного земледелия. Объектами исследований являлись почва, твердая и мягкая пшеница, ячмень в системе зернопарового севооборота. Почва характеризовалась черноземом южным среднетяжелым малогумусным тяжелосуглинистым на желто-бурых карбонатных делювиальных суглинках. Она была подвержена водной, ветровой и биологической эрозии на прямом склоне (крутизной 1–3°) в северо-восточной экспозиции.

В научно-исследовательской работе применялся полевой метод исследования. Схема опыта трехфакторная: 3А × 3В × 2С, где А – часть склона: верхняя; средняя; нижняя. В – культура после предшественника: твердая пшеница после черного пара; мягкая пшеница после твердой пшеницы; ячмень после мягкой пшеницы. С – обработка почвы: нулевая (контроль); плоскорезная. На каждой части склона с длиной 400 м и шириной 500 м размещался зернопаровой севооборот: пар черный – твердая пшеница – мягкая пшеница – ячмень. Полевой опыт закладывался в трехкратной пространственной повторности и в восьмикратной во времени. Каждая повторность имела длину 1200 м и ширину

166,7 м. Форма делянок прямоугольная с размером 40 × 166,7 м, площадь составила 6 668 м<sup>2</sup>. Варианты опыта размещались систематически (1, 2, 3 ...), всего их было 18. Изучаемые делянки размещались в один ярус длинной стороной поперек склона. Общая площадь под опытом составила 60 га. Из них поля севооборотов – 48 га, многолетние травы – 10,8 га, смородина золотистая – 1,2 га.

Весной покровное боронование проводилось зубowymi боронами (ЗБСС-1). Предпосевная культивация почвы велась стерневой сеялкой на глубину 8–10 см. Высевались семена зерновых культур с помощью стерневой сеялки (СЗС-2.1) на глубину влажного слоя почвы 6–8 см с одновременным внесением локально фосфорных удобрений (суперфосфат, двойной суперфосфат) в дозе P<sub>50</sub> кг действующего вещества на 1 га. Посевная норма семян твердой пшеницы составила 3,5 млн шт., мягкой и ячменя – 4,0 млн шт. всхожих семян на 1 га. Сроком посева зерновых культур являлась вторая декада мая. Для посева применялись районированные сорта твердой и мягкой пшеницы (Оренбургская 21 и Учитель) и ячменя (Первоцелинник). Прикатывание посева выполнялось катками (ЗКШШ-6). Уборка зерновых культур проводилась 10–20 августа прямым комбайнированием (Сампо-500) с одновременным размельчением и раскидыванием соломы по делянкам. Система основной обработки почвы под черным паром и зерновыми культурами севооборота состояла из нулевой и глубокой плоскорезной. Нулевая осуществлялась без механической обработки почвы. На одной части делянки проводилась плоскорезная обработка почвы (КПГ-2-150) на глубину 25–27 см. Агротехнология и применяемая агротехника, рекомендуемая для восточной зоны Оренбургской области.

Проводился анализ данных по погодным условиям (температура воздуха, осадки, число суховейных дней), полученных от гидрометеорологической станции п. Айдырля. Отбирались почвенные образцы для анализов в период посева и перед уборкой.

Таблица 1  
Показатели агрометеорологических условий за май – август (2014–2021 гг.)

Вегетационный период	Температура воздуха, °С				Атмосферные осадки, мм		Число суховейных дней		Гидротермический коэффициент
	18,8	32,1 <sup>а</sup>	4,4 <sup>б</sup>	17,6 <sup>в</sup>	92,0	156,0 <sup>в</sup>	74,0	52,0 <sup>в</sup>	
Май – август	18,8	32,1 <sup>а</sup>	4,4 <sup>б</sup>	17,6 <sup>в</sup>	92,0	156,0 <sup>в</sup>	74,0	52,0 <sup>в</sup>	0,33
НСР <sub>05</sub>	4,2	3,2	6,1	3,8	9,3	14,5	2,0	1,3	–

Примечание. <sup>а</sup> Максимальная температура. <sup>б</sup> Минимальная температура. <sup>в</sup> Среднегодовое значение.

Table 1  
Indicators of agrometeorological conditions for May – August (2014–2021)

Vegetative period	Air temperature, °C				Atmospheric precipitation, mm		Number of dry days		Hydrothermal coefficient
	18.8	32.1 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	17.6 <sup>c</sup>	92.0	156.0 <sup>c</sup>	74.0	52.0 <sup>c</sup>	
May – August	18.8	32.1 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	17.6 <sup>c</sup>	92.0	156.0 <sup>c</sup>	74.0	52.0 <sup>c</sup>	0.33
NSR <sub>05</sub>	4.2	3.2	6.1	3.8	9.3	14.5	2.0	1.3	–

Note. <sup>a</sup> Maximum temperature. <sup>b</sup> Minimum temperature. <sup>c</sup> The average annual value.

Влажность в метровом слое почвы определялась термостатно-весовым методом по рекомендации С. А. Воробьева. Количество нитратного азота в почве находилось ионометрическим методом. Содержание подвижного фосфора и калия в почве устанавливалось методом Мачигина. Урожайность рассчитывалась с 1 га с учетом влажности 14 % и чистоты зерна 100 %. Полученные результаты математически обрабатывались дисперсионным и регрессионным анализом с помощью программы А. В. Самойлова и Statistica 12.0 (Stat Soft Inc., США).

### Результаты (Results)

Полученные результаты погодных условий вегетационного периода играли важнейшую роль в формировании урожайности зерновых культур в севооборотах на различных частях склона.

Особенностью агрометеорологических условий периода вегетации (май – август) являлось резкое колебание среднесуточной температуры воздуха, которое отрицательно повлияло на рост и развитие полевых культур. В среднем (2014 – 2021 гг.) максимальная температура в атмосфере доходила до 32,1 °С и минимальная – до 4,4 °С (таблица 1).

За месяцы (май – август) температура воздуха составила 18,8 °С, что превышало на 1,2 °С средне-многолетнюю норму 17,6 °С. Выпавшие осадки составили 92 мм, или 59 % от нормы 156 мм. Недобор осадков – 64 мм по сравнению со среднемноголетним показателем. Число суховейных дней за вегетационный период составило 74 и превышало норму (52) на 22. Гидротермический коэффициент увлажнения по Г. Т. Селянинову за месяцы составил 0,33, что характеризовало период вегетации как сильно засушливый.

Засушливые агрометеорологические условия за месяцы (май – август) вегетационного периода значительно повлияли на снижение роста, развития и формирования зерна культурных растений.

Немаловажное значение имели запасы продуктивной влаги в почве для формирования продуктивности полевых культур на склоне после основной обработки почвы. Максимальное содержание продуктивной влаги в метровом слое почвы отмечалось на нижней части склона. Уровень влаги под зерновыми культурами (твердая и мягкая пшеница, ячмень) в посев составил по плоскорезной обработке почвы от 121,0 до 149,0 мм и по нулевой (контроль) – от 120,2 до 140,9 мм (таблица 2).

Таблица 2  
Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–100 см, мм (2014–2021 гг.)

Зерновая культура	Верхняя часть склона (2–3°)		Средняя часть склона (1–2°)		Нижняя часть склона (0–1°)	
	В посев	Перед уборкой	В посев	Перед уборкой	В посев	Перед уборкой
Твердая пшеница	<u>115,1</u>	<u>16,0</u>	<u>131,4</u>	<u>13,9</u>	<u>140,9</u>	<u>17,0</u>
	123,7	20,0	135,0	22,0	149,0	23,5
	21,4*	13,9*	29,3*	9,1*	31,3*	8,4*
Мягкая пшеница	<u>101,0</u>	<u>10,5</u>	<u>113,2</u>	<u>16,4</u>	<u>120,2</u>	<u>18,7</u>
	105,0	11,6	115,5	21,0	126,7	25,6
	17,1*	8,6*	16,5*	9,9*	20,9*	10,7*
Ячмень	<u>93,3</u>	<u>13,5</u>	<u>101,7</u>	<u>14,4</u>	<u>120,5</u>	<u>17,3</u>
	97,0	18,4	103,0	23,0	121,0	24,0
	17,3*	8,1*	23,2*	11,7*	17,7*	9,3*

Примечание. Здесь и далее: над чертой – нулевая (контроль); под чертой – плоскорезная обработка почвы (25–27 см). \* НСР<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность.

Table 2  
Reserves of productive moisture in the soil layer 0–100 cm, mm (2014–2021)

Grain crop	The upper part of the slope (2–3°)		The middle part of the slope (1–2°)		The lower part of the slope (0–1°)	
	In sowing	Before harvesting	In sowing	Before harvesting	In sowing	Before harvesting
Durum wheat	<u>115.1</u>	<u>16.0</u>	<u>131.4</u>	<u>13.9</u>	<u>140.9</u>	<u>17.0</u>
	123.7	20.0	135.0	22.0	149.0	23.5
	21.4*	13.9*	29.3*	9.1*	31.3*	8.4*
Soft wheat	<u>101.0</u>	<u>10.5</u>	<u>113.2</u>	<u>16.4</u>	<u>120.2</u>	<u>18.7</u>
	105.0	11.6	115.5	21.0	126.7	25.6
	17.1*	8.6*	16.5*	9.9*	20.9*	10.7*
Barley	<u>93.3</u>	<u>13.5</u>	<u>101.7</u>	<u>14.4</u>	<u>120.5</u>	<u>17.3</u>
	97.0	18.4	103.0	23.0	121.0	24.0
	17.3*	8.1*	23.2*	11.7*	17.7*	9.3*

Note. Here and further: above the line – null (control); below the line – flat-cut tillage (25–27 cm). \* LSD<sub>05</sub> – the least significant difference.

Изменения влаги под полевыми культурами перед уборкой находились в пределах после обработки почвы от 23,5 до 25,6 мм, без нее – от 17,0 до 18,7 мм. Минимальное количество продуктивной влаги отмечалось на верхней и средней части склона. Содержание влаги под зерновыми культурами по плоскорезной обработке почвы в посев и перед уборкой находилось в пределах от 11,6 до 135,0 мм и по нулевой – от 10,5 до 131,4 мм. Наилучшие запасы влаги наблюдались в период посева твердой пшеницы и перед уборкой мягкой по плоскорезной обработке почвы на нижней части склона. Более низкие запасы влаги фиксировались в посев ячменя и перед уборкой мягкой пшеницы без осенней механической обработки почвы на верхней части склона.

Запасы подвижных форм питательных веществ (азот, фосфор, калий) в почве представляли основное значение в росте и развитии зерновых культур и в получении урожайности. Наибольшее содержание нитратного азота в пахотном слое почвы (0–30 см) наблюдалось на нижней части склона. В посевах зерновых культур отмечалось максимальное количество нитратного азота по плоскорезной обработке почвы от 12,8 до 19,1 мг, на контроле – от 11,6 до 15,3 мг / 100 г почвы (таблица 3).

Наименьшее содержание элемента питания (N-NO<sub>3</sub>) в почве отмечалось на верхней части под по-

севом ячменя и мягкой пшеницы после обработки почвы 11,2–11,4 мг, без нее – 10,5–10,8 мг / 100 г. Увеличение количества подвижного фосфора в почве фиксировалось на нижней части склона по сравнению с верхней. Содержание элемента питания (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) с обработкой почвы составило 4,3–4,5 мг, с нулевой – 4,0–4,2 мг по сравнению с 3,9–4,2 и 3,0–3,3 мг / 100 г соответственно. Максимальное количество подвижного калия в почве просматривалось на нижней части склона и находилось по плоскорезной обработке в пределах от 38,5 до 40,4 мг, нулевой – 34,7–37,6 мг / 100 г почвы. На верхней и средней части склона наблюдалось минимальное содержание элемента питания (K<sub>2</sub>O) с обработкой почвы от 34,2 до 35,4 мг и без нее – 32,1–34,5 мг / 100 г почвы.

За вегетационный период зерновых культур в почве расходовались подвижные формы питательных веществ (N-NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), которые оказывали влияние на формирование урожайности зерна. В результате наблюдалось снижение их содержания в почве, особенно нитратного азота. Наибольшее потребление нитратного азота в почве отмечалось под посевом твердой пшеницы на нижней части склона, содержание его перед уборкой без осенней механической обработки составило 6,4 мг и по плоскорезной – 10,3 мг/100 г почвы (таблица 4).

Таблица 3  
Запасы питательных веществ в период посева (0–30 см), мг / 100 г почвы (2014–2021 гг.)

Зерновая культура	Верхняя часть склона (2–3°)			Средняя часть склона (1–2°)			Нижняя часть склона (0–1°)		
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Твердая пшеница	12,0	3,3	33,8	12,6	3,3	34,5	15,3	4,0	37,6
	13,3	4,2	35,2	17,6	4,2	35,4	19,1	4,3	40,4
	5,0*	0,5*	5,4*	8,3*	0,8*	3,2*	10,3*	0,6*	7,8*
Мягкая пшеница	10,8	3,0	33,5	11,0	3,5	33,7	11,6	4,0	34,7
	11,4	3,9	34,2	12,7	4,1	34,9	12,8	4,4	39,6
	4,1*	0,6*	4,7*	4,9*	0,7*	4,2*	5,5*	0,8*	9,0*
Ячмень	10,5	3,1	32,1	11,5	3,5	33,0	11,6	4,2	35,6
	11,2	4,0	34,4	12,8	4,2	34,9	14,5	4,5	38,5
	5,1*	0,6*	4,6*	5,3*	0,5*	2,8*	10,1*	0,4*	6,6*

Table 3  
Stocks of nutrients during the sowing period (0–30 cm), mg / 100 g of soil (2014–2021)

Grain crop	The upper part of the slope (2–3°)			The middle part of the slope (1–2°)			The lower part of the slope (0–1°)		
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Durum wheat	12.0	3.3	33.8	12.6	3.3	34.5	15.3	4.0	37.6
	13.3	4.2	35.2	17.6	4.2	35.4	19.1	4.3	40.4
	5.0*	0.5*	5.4*	8.3*	0.8*	3.2*	10.3*	0.6*	7.8*
Soft wheat	10.8	3.0	33.5	11.0	3.5	33.7	11.6	4.0	34.7
	11.4	3.9	34.2	12.7	4.1	34.9	12.8	4.4	39.6
	4.1*	0.6*	4.7*	4.9*	0.7*	4.2*	5.5*	0.8*	9.0*
Barley	10.5	3.1	32.1	11.5	3.5	33.0	11.6	4.2	35.6
	11.2	4.0	34.4	12.8	4.2	34.9	14.5	4.5	38.5
	5.1*	0.6*	4.6*	5.3*	0.5*	2.8*	10.1*	0.4*	6.6*

Таблица 4

Запасы питательных веществ перед уборкой (0–30 см), мг / 100 г почвы (2014–2021 гг.)

Зерновая культура	Верхняя часть склона (2–3°)			Средняя часть склона (1–2°)			Нижняя часть склона (0–1°)		
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Твердая пшеница	6,0	2,0	30,7	6,8	3,0	31,8	6,4	3,0	31,5
	12,3	3,1	31,3	11,5	3,1	32,5	10,3	3,5	33,3
	6,2*	0,8*	3,5*	4,4*	0,6*	4,8*	3,9*	0,6*	3,9*
Мягкая пшеница	5,0	3,0	30,4	6,3	2,8	30,2	5,4	3,0	32,7
	9,7	3,3	31,4	10,3	3,1	31,5	10,5	3,7	33,2
	4,1*	0,7*	4,4*	3,5*	0,8*	4,8*	3,7*	0,7*	3,9*
Ячмень	6,5	3,0	30,4	5,2	2,7	29,5	4,8	3,0	30,5
	11,0	3,3	33,4	9,6	3,1	31,3	10,5	3,5	33,8
	3,7*	0,8*	5,6*	3,6*	0,6*	3,9*	4,1*	0,6*	4,6*

Table 4

Stocks of nutrients before harvesting (0–30 cm), mg/100 g of soil (2014–2021)

Grain crop	The upper part of the slope (2–3°)			The middle part of the slope (1–2°)			The lower part of the slope (0–1°)		
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Durum wheat	6.0	2.0	30.7	6.8	3.0	31.8	6.4	3.0	31.5
	12.3	3.1	31.3	11.5	3.1	32.5	10.3	3.5	33.3
	6.2*	0.8*	3.5*	4.4*	0.6*	4.8*	3.9*	0.6*	3.9*
Soft wheat	5.0	3.0	30.4	6.3	2.8	30.2	5.4	3.0	32.7
	9.7	3.3	31.4	10.3	3.1	31.5	10.5	3.7	33.2
	4.1*	0.7*	4.4*	3.5*	0.8*	4.8*	3.7*	0.7*	3.9*
Barley	6.5	3.0	30.4	5.2	2.7	29.5	4.8	3.0	30.5
	11.0	3.3	33.4	9.6	3.1	31.3	10.5	3.5	33.8
	3.7*	0.8*	5.6*	3.6*	0.6*	3.9*	4.1*	0.6*	4.6*

Наименьшее использование питательного вещества (N-NO<sub>3</sub>) в почве фиксировалась под посевом ячменя на верхней части склона и количество его составило на контроле 6,5 мг и по плоскорезной – 11,0 мг/100 г. В остальных вариантах опыта просматривалось снижение содержания нитратного азота перед уборкой без обработки почвы в пределах 4,8–6,8 мг и по плоскорезной – 9,6–12,3 мг/100 г. Максимальный расход подвижного фосфора и калия на формирование урожайности наблюдался под посевом твердой пшеницы на верхнем и нижнем части склона, содержание перед уборкой составило по нулевой 2,0 и 31,5 мг, по обработке – 3,1 и 33,3 мг / 100 г почвы. Минимальный расход отмечался под посевом мягкой пшеницы и ячменя на верхней части склона и количество подвижного фосфора и калия перед уборкой составило без обработки почвы 3,0 и 30,4 мг, по плоскорезной – 3,3 и 33,4 мг / 100 г. В других вариантах опыта содержание питательных веществ (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; K<sub>2</sub>O) составило на контроле 2,7–3,0; 29,5–32,7 мг, по плоскорезной обработке – 3,1–3,7; 31,3–33,8 мг / 100 г почвы.

Полученные результаты изучаемых факторов способствовали формированию урожайности зерновых культур по нулевой, плоскорезной обработке почвы, различным предшественникам и частях склона. Наилучшими предшественниками для повышения урожайности являлись мягкая и твер-

дая пшеница. В связи с этим наибольшую урожайность сформировали ячмень, и мягкая пшеница на нижней части склона и составили по плоскорезной обработке почвы 1,43 и 1,42 т, на контроле – 1,14 и 0,95 т/га (таблица 5).

На нижней части склона урожайность в остальных вариантах посева находилась в пределах от 0,92 до 1,16 т/га. Наименьшая урожайность получена по твердой пшенице после черного пара на верхней части склона по плоскорезной обработке почвы 0,77 т, по нулевой – 0,59 т/га. В других вариантах посева уровень урожайности зерновых культур на верхней и средней части склона составил от 0,78 до 1,25 т/га.

Анализ данных с помощью множественной регрессии показал, что существенное отрицательное влияние на урожайность ячменя оказывали суховейные дни за период вегетации на верхней части склона, особенно по плоскорезной обработке почвы, их доля составила 66,55 % с уровнем значимости 0,01 (норма  $P \leq 0,05$ ) в сравнении с нулевой – 55,38 % и 0,03 соответственно (таблица 6).

Температура воздуха за вегетационный период способствовала отрицательному влиянию только на урожайность ячменя в верхней части склона и составила по нулевой и основной обработке почвы 43,88 и 55,72 % с уровнем значимости 0,07 и 0,03. Выпавшие осадки за период вегетации благоприят-

но воздействовали на урожайность твердой пшеницы в средней части склона, и доля их составила без обработки почвы и с плоскорезной 52,03 и 47,39 % ( $P = 0,04$  и  $0,05$ ). Немаловажное значение оказывали весенние запасы продуктивной влаги в почве на урожайность мягкой пшеницы в верхней части склона, доля их влияния составила по нулевой и основной обработке почвы 76,80; 64,15 % с критерием значимости 0,004; 0,01. Среди подвижных форм питательных веществ наибольшее воздействие на урожайность мягкой пшеницы оказывало содержание фосфора в почве перед уборкой на средней

части склона без механической обработки почвы и с ней: 70,29; 61,46 % с уровнем значимости 0,009; 0,02 соответственно. Влияние содержания подвижного фосфора в почве способствовало увеличению урожайности мягкой пшеницы и ячменя в севообороте на нижней части склона после плоскорезной обработки почвы, доля их влияния составила 54,15 и 55,98 % с критерием значимости 0,03. На нижней части склона не выявлена зависимость урожайности твердой пшеницы от изучаемых факторов. Во всех вариантах посева не установлена зависимость от содержания нитратного азота и подвижного калия в почве.

Таблица 5  
Урожайность полевых культур в зернопаровом севообороте, т/га (2014–2021 гг.)

Зерновая культура	Предшественник	Верхняя часть склона (2–3°)	Средняя часть склона (1–2°)	Нижняя часть склона (0–1°)
Твердая пшеница	Пар черный	0,59	0,83	0,92
		0,77	0,99	1,16
		0,12*	0,10*	0,11*
Мягкая пшеница	Твердая пшеница	0,78	0,85	0,95
		1,05	1,18	1,42
		0,10*	0,14*	0,35*
Ячмень	Мягкая пшеница	0,86	0,96	1,14
		1,10	1,25	1,43
		0,08*	0,09*	0,06*

Table 5  
Yield of field crops in the grain-steam crop rotation, t/ha (2014–2021)

Grain crop	Predecessor	The upper part of the slope (2–3°)	The middle part of the slope (1–2°)	The lower part of the slope (0–1°)
Durum wheat	Steam black	0.59	0.83	0.92
		0.77	0.99	1.16
		0.12*	0.10*	0.11*
Soft wheat	Durum wheat	0.78	0.85	0.95
		1.05	1.18	1.42
		0.10*	0.14*	0.35*
Barley	Soft wheat	0.86	0.96	1.14
		1.10	1.25	1.43
		0.08*	0.09*	0.06*

Таблица 6  
Зависимость урожайности культур от изучаемых факторов (за 8 лет)

Часть склона	Зерновая культура	Факторы	Обработка почвы	
			Нулевая (контроль)	плоскорезная
Верхняя	Твердая пшеница	Фосфор перед уборкой	56,81*/0,03**	53,63*/0,03**
		Мягкая пшеница	Влага в период посева	76,80/0,00
	Ячмень	Температура воздуха	43,88/0,07	55,72/0,03
		Суховейные дни за период	55,38/0,03	66,55/0,01
Средняя	Твердая пшеница	Осадки за период	52,03/0,04	47,39/0,05
	Мягкая пшеница	Фосфор перед уборкой	70,29/0,00	61,46/0,02
		Ячмень	Суховейные дни за период	54,72/0,03
Нижняя	Мягкая пшеница	Фосфор перед уборкой	47,10/0,05	54,15/0,03
		Ячмень	Фосфор перед уборкой	48,80/0,05
	Ячмень	Суховейные дни за период	52,98/0,04	54,90/0,03

Примечание. \*Перед чертой – доля влияния фактора в %. \*\*После черты – уровень значимости ( $P \leq 0,05$ ), единиц.

Dependence of crop yields on the studied factors (for 8 years)

Part of the slope	Grain crop	Factors	Soil treatment	
			Null (control)	Flat cutting
Upper	Durum wheat	Phosphorus before harvesting	56.81*/0.03**	53.63*/0.03**
	Soft wheat	Moisture during the sowing period	76.80/0.00	64.15/0.01
	Barley	Air temperature	43.88/0.07	55.72/0.03
		Dry days for the period	55.38/0.03	66.55/0.01
Medium	Durum wheat	Precipitation for the period	52.03/0.04	47.39/0.05
	Soft wheat	Phosphorus before harvesting	70.29/0.00	61.46/0.02
	Barley	Dry days for the period	54.72/0.03	63.86/0.01
Lower	Soft wheat	Phosphorus before harvesting	47.10/0.05	54.15/0.03
	Barley	Phosphorus before harvesting	48.80/0.05	55.98/0.03
		Dry days for the period	52.98/0.04	54.90/0.03

Note. \* Before the line – the percentage of the factor's influence in %. \*\* After the line – the level of significance ( $P \leq 0.05$ ), units.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате засушливых погодных условий вегетационного периода происходило снижение урожайности твердой, мягкой пшеницы и ячменя. В связи с этим урожайность твердой пшеницы не превышала 1,16 т, мягкой пшеницы – 1,42 т, ячменя – 1,43 т/га. Наилучшим предшественником для твердой пшеницы являлся черный пар, так как он сохранял и накапливал влагу в почве. Следовательно, под посевом наблюдались наибольшие весенние запасы влаги после осенней плоскорезной обработки почвы на нижней части склона. Наилучшим посевом по содержанию нитратного азота являлась твердая пшеница в результате более интенсивного прохождения процесса нитрификации в почве. Весной под посевом ячменя активно накапливался подвижный фосфор в последнем поле севооборота на нижней части склона, так как ежегодно вносились фосфорные удобрения. Повышение содержания подвижного калия в почве под посевом твердой пшеницы обеспечивал предшественник черный пар. Высокая обеспеченность почвы подвижным калием была связано с агрохимическими свойствами южного чернозема. Перед уборкой наблюдалось понижение содержания подвижных форм питательных веществ за счет использования их зерновыми культурами и потерями в почве.

Зерновые культуры после осенней обработки почвы сформировали наибольшую урожайность по

сравнению с нулевой (контроль) на нижней части склона. Такое наблюдение объясняется тем, что после плоскорезной обработки почвы происходило наилучшее накопление продуктивной влаги и подвижных форм питательных веществ. На верхней и средней части склона наблюдалось понижение урожайности полевых культур в севооборотах за счет наименьших запасов продуктивной влаги и макроэлементов питания в почве.

В результате исследования выявлено, что локальное применение минеральных удобрений (суперфосфат, двойной суперфосфат) с посевом способствует увеличению урожайности мягкой пшеницы и ячменя в зернопаровом севообороте на нижней части склона после основной плоскорезной обработки почвы. Таким образом, засушливые агрометеорологические условия, запасы продуктивной влаги, нитратного азота, подвижного фосфора и калия в почве по остальным вариантам посева не оказывали влияния на повышение урожайности зерновых культур в системе контурно-полосного земледелия.

### Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены в Федеральном научном центре биологических систем и агротехнологий Российской академии наук в соответствии с планом научно-исследовательской работы на 2022–2024 гг. (№ FNWZ-2022-0014).

### Библиографический список

- Максютов Н. А., Зоров А. А., Скороходов В. Ю., Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В., Зенкова Н. А. Агротехнические приемы предотвращения эрозионных процессов в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 9–13.
- Крючков А. Г. Погодные факторы и их связи с фотосинтетическими показателями яровой твердой пшеницы в степи Оренбургского Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 33–36.
- Митрофанов Д. В. Влияние погодных и земных факторов на урожайность зерновых культур в севооборотах на почвозащитном опытном участке в Оренбургском Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 18–24.

4. Митрофанов Д. В. Химический состав и технологические показатели качества зерна яровой мягкой и твердой пшеницы в зернопаровых севооборотах на пахотном склоне Оренбургского Зауралья [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/DVM-2019-4.pdf> (дата обращения: 23.01.2023).
5. Митрофанов Д. В. Влияние температуры воздуха и влажности почвы на продуктивность зерновых культур в четырехпольных севооборотах на почвозащитном стационаре Оренбургского Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 36–40.
6. Панфилов А. Л. Влияние элементов продуктивности колоса на урожайность яровой мягкой пшеницы на склоновых землях Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 26–31.
7. Бакаева Ю. Н., Васильев И. В., Долматов А. П. Способ обработки почвы как главный фактор формирования урожая яровой пшеницы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 43–47.
8. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Продуктивная влага в связи с приемами агротехники и урожайность яровой твердой пшеницы в Оренбургском Приуралье // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 21–27.
9. Кислов А. В., Федюнин С. А., Иванова Л. В. Ресурсосберегающие технологии возделывания яровой твердой пшеницы в Оренбургской области [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 23. URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/07/pdf/07.pdf> (дата обращения: 02.02.2023).
10. Максютлов Н. А., Митрофанов Д. В. Влияние различных частей склона на содержание подвижных питательных веществ, урожайность зерновых культур и качество зерна пшеницы в Оренбургском Зауралье [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 1. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-1/Articles/NAM-2018-1.pdf> (дата обращения: 08.02.2023).
11. Максютлов Н. А., Митрофанов Д. В. Основные показатели плодородия чернозема южного на склонах степной зоны Оренбургского Зауралья [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 2. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-2/Articles/NAM-2018-2.pdf> (дата обращения: 10.02.2023).
12. Zuluaga D. L., Sonnante G. The Use of Nitrogen and Its Regulation in Cereals: Structural Genes, Transcription Factors, and the Role of miRNAs // *Plants (Basel)*. 2019. Vol. 8. No. 8. Article number 294. DOI: 10.3390/plants8080294.
13. Teng W., Deng Y., Chen X., Xu X., Chen R., Lv Y., Zhao Y., Zhao X., He X., Li B., Tong Y., Zhang F., Li Z. Characterization of root response to phosphorus supply from morphology to gene analysis in field-grown wheat // *Journal Experimental Botany*. 2013. Vol. 64. No. 5. Pp. 1403–1411. DOI: 10.1093/jxb/ert023.
14. Raddatz N., Ríos L. M., Lindahl M., Quintero F. J., Pardo J. M. Coordinated Transport of Nitrate, Potassium, and Sodium // *Frontiers Plant Science*. 2020. Vol. 11. Article number 247. DOI: 10.3389/fpls.2020.00247.
15. Крючков А. Г. Азот и урожайность яровой твердой пшеницы в степной зоне Оренбургского Зауралья // *Аграрная наука*. 2016. № 8. С. 10–11.
16. Бесалиев И. Н. Содержание и потребление фосфора и калия в почвах Оренбургского Зауралья в зависимости от агротехнических приемов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 14–18.
17. Крючков А. Г., Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Динамика содержания подвижных элементов питания под посевами яровой мягкой пшеницы // *Земледелие*. 2012. № 2. С. 15–17.
18. Соколов Н. М., Жолинский Н. М., Стрельцов С. Б., Кораблева И. Н. Влияние основной обработки на динамику накопления нитратного азота в почве // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 6. С. 34–37.
19. Тишков Н. И., Тишков Д. Н. Период вегетации и урожайность сортов ячменя в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 89–93.
20. Бесалиев И. Н., Тишков Н. И. Особенности формирования продуктивности сортами ярового ячменя на фоне разных приемов основной обработки почвы в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (66). С. 75–79.
21. Максютлов Н. А. Ресурсосберегающие почвозащитные приемы и технологии обработки почвы, повышение ее плодородия, урожайности и качества продукции в полевых севооборотах Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (51). С. 19–21.
22. Николаев П. Н., Юсова О. А., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Реализация биологической урожайности ячменя ярового в условиях южной лесостепи Омской области // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 12 (203). С. 22–34.

23. Бакиров Ф. Г., Поляков Д. Г. Способы повышения эффективности ресурсов влаги в растениеводстве Оренбуржья [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 3. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-3/Articles/FGB-2018-3.pdf> (дата обращения: 14.02.2023).

24. Бакиров Ф. Г. Некоторые аспекты теории беспашотной обработки почвы в засушливой степи Оренбуржья // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (52). С. 15–19.

25. Романенко И. А., Евдокимова Н. Е. Прогнозирование урожайности зерновых культур в Оренбургской области в условиях изменения климата // Степи Северной Евразии: материалы девятого международного симпозиума. Оренбург, 2021. С. 669–677.

#### Об авторе:

Дмитрий Владимирович Митрофанов<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-7172-6904, AuthorID 761691; +7 987 855-98-95, [dvm.80@mail.ru](mailto:dvm.80@mail.ru)

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

## Influence of weather conditions, basic tillage, productive moisture and nutrients on the yield of grain crops

D. V. Mitrofanov<sup>1</sup>✉

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

✉ E-mail: [dvm.80@mail.ru](mailto:dvm.80@mail.ru)

**Abstract.** The aim of work – to establish the impact of weather factors, the content of productive moisture and nutrients in the soil on increasing the yield of field crops in grain-pair crop rotations. **Research methods:** field, thermostatic-weight, ionometric, Machigin's. **Scientific novelty.** For the first time, the impact of agrometeorological conditions (2014–2021), the content of productive moisture and nutrients on the yield of grain crops after zero and flat-cut processing (25–27 cm) of soil on parts of the slope was assessed. **Results.** It was found that, on average, during the growing season (May – August), the air temperature (18.8 °C) and dry days (74) negatively affect the yield of barley (1.10 and 0.86 t/ha) on the upper part of the slope and amount to 55.72 and 66.55 % for flat-cut tillage compared to zero (control) – 43.88 and 55.38 % ( $P \leq 0.05$ ). Atmospheric precipitation (92.0 mm) has a positive effect on the yield of durum wheat (0.99 and 0.83 t/ha) on the middle part of the slope and amounts to 47.39 % on the flat-cut and 52.03 % without tillage ( $P \leq 0.05$ ). Spring productive moisture (105.0 and 101.0 mm) in the meter layer of soil favorably affects the yield of soft wheat (1.05 and 0.78 t/ha) on the upper part of the slope and amounts to 64.15% for flat-cut processing compared to 76.80 % control ( $P < 0.05$ ). The increase in the yield of soft wheat (1.42 t/ha) and barley (1.43 t/ha) depends on the influence of the content of mobile phosphorus (3.7 and 3.5 mg / 100 g) in the soil layer 0–30 cm on the lower part of the slope for flat-cut processing and amounts to 54.15 and 55.98 % ( $P < 0.05$ ). Thus, dry weather conditions, the content of productive moisture, nitrate nitrogen, mobile phosphorus and potassium for the remaining sowing options do not affect the increase in yield.

**Keywords:** durum wheat, soft wheat, barley, air temperature, precipitation, number of dry days, productive moisture, nutrients, yield, part of the slope.

**For citation:** Mitrofanov D. V. Vliyaniye pogodnykh usloviy, osnovnoy obrabotki pochvy, produktivnoy vlagi i pitatel'nykh veshchestv na urozhaynost' zernovykh kul'tur [Influence of weather conditions, basic tillage, productive moisture and nutrients on the yield of grain crops] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 08 (237). Pp. 12–23. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-12-23. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 27.02.2023, **date of review:** 04.03.2023, **date of acceptance:** 03.04.2023.

#### References

1. Maksyutov N. A., Zorov A. A., Skorokhodov V. Yu., Mitrofanov D. V., Kaftan Yu. V., Zenkova N. A. Agrotekhnicheskie priemy predotvrashcheniya erozionnykh protsessov v stepnoy zone Yuzhnogo Urala [Agrotechnical methods for preventing erosion processes in the steppe zone of Southern Urals] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 3 (83). Pp. 9–13. (In Russian.)

2. Kryuchkov A. G. Pogodnye faktory i ikh svyazi s fotosinteticheskimi pokazatelyami yarovoy tverдой pshenitsy v stepi Orenburgskogo Zaural'ya [Weather factors and their connection with the photosynthetic indices of spring durum wheat grown in the Orenburg Zauralye steppes] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2016. No. 4 (60). Pp. 33–36. (In Russian.)
3. Mitrofanov D. V. Vliyanie pogodnykh i zemnykh faktorov na urozhaynost' zernovykh kul'tur v sevooborotakh na pochvozashchitnom opytном uchastke v Orenburgskom Zaural'e [Influence of weather and terrestrial factors on the yield of grain crops in crop rotations at the soil protection experimental site in the Orenburg Zauralye] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021. No. 1 (87). Pp. 18–24. (In Russian.)
4. Mitrofanov D. V. Khimicheskii sostav i tekhnologicheskie pokazateli kachestva zerna yarovoy myagkoy i tverдой pshenitsy v zemnорарovykh sevooborotakh na pakhotnom sklone Orenburgskogo Zaural'ya [Chemical composition and technological indicators of quality of spring soft and hard wheat grain in grain pair circulars on the agricultural slope of Orenburg Zauralye] [e-resource] // *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2019. No. 4. URL: <http://elmag.-uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/DVM-2019-4.pdf> (date of reference: 23.01.2023). (In Russian.)
5. Mitrofanov D. V. Vliyanie temperatury vozdukhа i vlazhnosti pochvy na produktivnost' zernovykh kul'tur v chetyrekhpol'nykh sevooborotakh na pochvozashchitnom stacionare Orenburgskogo Zaural'ya [Influence of air temperature and soil humidity on grain crop yields under the conditions of four-field crop rotations on the southern chernozem soils of Orenburg Zauralye] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019. No. 5 (79). Pp. 36–40. (In Russian.)
6. Panfilov A. L. Vliyanie elementov produktivnosti kolosa na urozhaynost' yarovoy myagkoy pshenitsy na sklonovykh zemlyakh Orenburgskogo Predural'ya [Influence of elements of ears productivity on the yields of spring soft wheat grown on slope lands of Orenburg Preduralye] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017. No. 5 (67). Pp. 26–31. (In Russian.)
7. Bakaeva Yu. N., Vasil'ev I. V., Dolmatov A. P. Sposob obrabotki pochvy kak glavnyy faktor formirovaniya urozhaya yarovoy pshenitsy [The tillage method as the main factor of spring wheat crop formation] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020. No. 2 (82). Pp. 43–47. (In Russian.)
8. Besaliev I. N., Panfilov A. L. Produktivnaya vlaga v svyazi s priemami agrotekhniki i urozhaynost' yarovoy tverдой pshenitsy v Orenburgskom Priural'e [Productive moisture in connection with the agronomic practices and yield of spring durum wheat in the Orenburg Priuralye] // *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2019. No. 2. Pp. 21–27. (In Russian.)
9. Kislov A. V., Fedyunin S. A., Ivanova L. V. Resursosberegayushchie tekhnologii vozdeleyvaniya yarovoy tverдой pshenitsy v Orenburgskoy oblasti [Resource-saving technologies of spring durum wheat growing in the Orenburg Region] [e-resource] // *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2006. No. 23. URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/07/pdf/07.pdf> (date of reference: 02.02.2023). (In Russian.)
10. Maksyutov N. A., Mitrofanov D. V. Vliyanie razlichnykh chasteй sklona na sodержanie podvizhnykh pitatel'nykh veshchestv, urozhaynost' zernovykh kul'tur i kachestvo zerna pshenitsy v Orenburgskom Zaural'e [Influence of various parts of slope on the content of mobile nutrition substances, crop productivity of cereals and quality of wheat grain in Orenburgan Zauralye] [e-resource] // *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2018. No. 1. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/-magazine/Numbers/2018-1/Articles/NAM-2018-1.pdf> (date of reference 08.02.2023). (In Russian.)
11. Maksyutov N. A., Mitrofanov D. V. Osnovnye pokazateli plodorodiya chernozema yuzhnogo na sklonakh stepnoy zony Orenburgskogo Zaural'ya [Main indicators of fertility of black source of southern on slopes of the steppe zone of Orenburg Zauralye] [e-resource] // *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2018. No. 2. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-2/Articles/NAM-2018-2.pdf> (date of reference 10.02.2023). (In Russian.)
12. Zuluaga D. L., Sonnante G. The Use of Nitrogen and Its Regulation in Cereals: Structural Genes, Transcription Factors, and the Role of miRNAs // *Plants (Basel)*. 2019. Vol. 8. No. 8. Article number 294. DOI: 10.3390/plants8080294.
13. Teng W., Deng Y., Chen X., Xu X., Chen R., Lv Y., Zhao Y., Zhao X., He X., Li B., Tong Y., Zhang F., Li Z. Characterization of root response to phosphorus supply from morphology to gene analysis in field-grown wheat // *Journal Experimental Botany*. 2013. Vol. 64. No. 5. Pp. 1403–1411. DOI: 10.1093/jxb/ert023.
14. Raddatz N., Ríos L. M., Lindahl M., Quintero F. J., Pardo J. M. Coordinated Transport of Nitrate, Potassium, and Sodium // *Frontiers Plant Science*. 2020. Vol. 11. Article number 247. DOI: 10.3389/fpls.2020.00247.
15. Kryuchkov A. G. Azot i urozhaynost' yarovoy tverдой pshenitsy v stepnoy zone Orenburgskogo Zaural'ya [Nitrogen and yield of spring durum wheat in the steppe zone of the Orenburg Trans-Urals] // *Agrarian Science*. 2016. No. 8. Pp. 10–11. (In Russian.)

16. Besaliev I. N. Soderzhanie i potreblenie fosfora i kaliya v pochvakh Orenburgskogo Zaural'ya v zavisimosti ot agrotekhnicheskikh priemov [Contents and consumption of phosphorus and potassium in the soils of Orenburg Trans-Urals depending on agrotechnical practice] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017. No. 5 (67). Pp. 14–18. (In Russian.)
17. Kryuchkov A. G., Besaliev I. N., Panfilov A. L. Dinamika sodержaniya podvizhnykh elementov pitaniya pod posevami yarovoy myagkoy pshenitsy [Changes of mobile nutrition elements' contents on soft spring wheat crops] // *Zemledelie*. 2012. No. 2. Pp. 15–17. (In Russian.)
18. Sokolov N. M., Zholinskiy N. M., Strel'tsov S. B., Korableva I. N. Vliyanie osnovnoy obrabotki na dinamiku nakopleniya nitratnogo azota v pochve [Influence of basic treatment on the dynamics of nitrate nitrogen accumulation in the soil] // *Russian Agricultural Sciences*. 2020. No. 6. Pp. 34–37. (In Russian.)
19. Tishkov N. I., Tishkov D. N. Period vegetatsii i urozhaynost' sortov yachmenya v stepnoy zone Yuzhnogo Urala [The period of vegetation and the yields of barley varieties in the steppe zone of South Urals] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019. No. 5 (79). Pp. 89–93. (In Russian.)
20. Besaliev I. N., Tishkov N. I. Osobennosti formirovaniya produktivnosti sortami yarovogo yachmenya na fone raznykh priemov osnovnoy obrabotki pochvy v Orenburgskom Predural'e [Peculiarities of yields formation by different spring barley varieties against the background of different basic soil treatment technique in the Orenburg Preduralye] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017. No. 4 (66). Pp. 75–79. (In Russian.)
21. Maksyutov N. A. Resursosberegayushchie pochvozashchitnye priemy i tekhnologii obrabotki pochvy, povysheniye ee plodorodiya, urozhaynosti i kachestva produktsii v polevykh sevooborotakh Orenburzh'ya [Resource saving soil protection methods and tillage technologies increasing its fertility, yielding and product qualities under the conditions of field crop rotations in Orenburg region] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015. No. 1 (51). Pp. 19–21. (In Russian.)
22. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Safonova I. V., Anis'kov N. I. Realizatsiya biologicheskoy urozhaynosti yachmenya yarovogo v usloviyakh yuzhnoy lesostepi Omskoy oblasti [Implementation of the biological yield of spring barley in the southern forest-steppe of the Omsk region] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020. No. 12 (203). Pp. 22–34. (In Russian.)
23. Bakirov F. G., Polyakov D. G. Sposoby povysheniya effektivnosti resursov vlagi v rastenievodstve Orenburzh'ya [Ways of increase in effectiveness of resources of moisture in crop production of Orenburg region] [e-resource] // *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2018. No. 3. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-3/Articles/FGB-2018-3.pdf> (date of reference 14.02.2023). (In Russian.)
24. Bakirov F. G. Nekotorye aspekty teorii bespakhotnoy obrabotki pochvy v zasushlivoy stepi Orenburzh'ya [Some theoretical aspects of no-till farming in the arid steppe of Orenburg region] // *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2019. No. 4 (52). Pp. 15–19. (In Russian.)
25. Romanenko I. A., Evdokimova N. E. Prognozirovaniye urozhaynosti zernovykh kul'tur v Orenburgskoy oblasti v usloviyakh izmeneniya klimata [Forecasting yield of grain crops in Orenburg region under climate change] // *Steppes of Northern Eurasia: proceedings of the Ninth International Symposium*. Orenburg, 2021. Pp. 669–677. (In Russian.)

**Author's information:**

Dmitriy V. Mitrofanov<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, leading researcher, ORCID 0000-0002-7172-6904, AuthorID 761691; +7 987 855-98-95, [dvm.80@mail.ru](mailto:dvm.80@mail.ru)

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