

4.1.1. ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.559: 633.16 (470.56)

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_24

EDN: CDXFNE

**Влияние погодных условий центральной зоны Оренбургской области,
влажности почвы, фона питания и предшественников
в севооборотах на урожайность зерна ячменя**

**Дмитрий Владимирович Митрофанов^{1✉}, Юрий Васильевич Кафтан²,
Виталий Юрьевич Скороходов³, Александр Алексеевич Зоров⁴**

^{1, 2, 3, 4}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий

Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹dvm.80@mail.ru✉

Аннотация. Представлены результаты исследований, выполненных в 2015–2020 гг. с целью определения влияния погодных условий центральной зоны Оренбургской области, влажности почвы, фона питания и предшественников в севооборотах на урожайность ячменя. Выявлены засушливые погодные условия вегетационных периодов и низкие запасы почвенной влаги, особенно в 2015 г., оказавшие влияние на урожайность ячменя, которая составила 0,24–0,28 т/га на фоне применения удобрений и 0,21–0,24 т/га на фоне без удобрений. Максимальная урожайность ячменя (3,66 т/га) сформировалась в 2017 г. в севооборотах с черным и сидеральным парами на фоне с минеральными удобрениями за счет запасов весенней влаги в метровом слое почвы, несмотря на высокие температуры атмосферного воздуха. В недостаточном влажном вегетационном периоде 2019 г. получена сравнительно высокая урожайность ячменя по всем вариантам опыта (1,71 т/га) на фоне с удобрениями как следствие значительного количества выпавших осадков (168 мм) и оптимальной атмосферной температуры (20,2 °С). Установлена зависимость повышения выхода зерна ячменя в севооборотах на фоне с удобрениями от количества весенней влаги в метровом слое почвы, особенно на фоне последствия гороха в севообороте с черным паром. Слабое действие удобрений и последствие предшественников севооборотов, в основном кукурузы и проса, обусловлены биологическими особенностями (требование к влаге) и значительным количеством суховея в период вегетации ячменя. По данным проведенных наблюдений можно говорить о существенных изменениях погодных условий вегетационного периода, что сказывается на снижении урожайности ячменя за счет проявления часто повторяющихся засух на территории Оренбургской области. Фермерам и руководителям сельскохозяйственных предприятий, работающих в засушливых условиях Оренбургской области, даются рекомендации высевать ячмень в севообороте с горохом и черным паром после осеннего применения минеральных удобрений.

Ключевые слова: агрометеорологические условия, повышенная температура воздуха, дождевые осадки, влажность почвенного горизонта, почва, минеральные удобрения, урожайность

Благодарности: представленные данные получены в ходе выполнения исследований в рамках утвержденного плана научно-исследовательских работ на 2022–2024 гг. Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (№ 0526-2022-0014).

Для цитирования: Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Скороходов В.Ю., Зоров А.А. Влияние погодных условий центральной зоны Оренбургской области, влажности почвы, фона питания и предшественников в севооборотах на урожайность зерна ячменя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 2(77). С. 24–35. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_24-35.

4.1.1. GENERAL SOIL MANAGEMENT AND CROP SCIENCE
(AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Influence of weather conditions in the central zone of Orenburg Oblast,
soil moisture, nutrition background and preceding crops
in crop rotations on the yield of barley grain**

Dmitry V. Mitrofanov^{1✉}, Yuriy V. Kaftan², Vitaliy Yu. Skorokhodov³, Aleksandr A. Zorov⁴

^{1, 2, 3, 4}Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹dvm.80@mail.ru✉

Abstract. The authors present the results of research carried out in 2015-2020 in order to determine the influence of weather conditions in the central zone of Orenburg Oblast, soil moisture, nutrition background and preceding crops in crop rotations on the yield of barley. Dry weather conditions in the growing seasons and low soil moisture reserves were revealed, especially in 2015, which affected the yield of barley, and it amounted to 0.24-0.28 t/ha against the background of fertilizers and 0.21-0.24 t/ha against the background without fertilizers. The maximum yield of barley (3.66 t/ha) was obtained in 2017 in crop rotations with black and green fallow on the background of mineral fertilizers application due to the reserves of spring moisture in the 1 meter soil layer despite high temperatures. In the insufficiently humid growing season of 2019 a relatively high yield of barley was obtained in all experimental variants, i.e. 1.71 t/ha against the background with fertilizers, as a result of significant amount of precipitation (168 mm) and optimal temperature (20.2°C). The dependence of the increase in the yield of barley grain in crop rotations on the background of fertilizers application on spring moisture content in the meter layer of soil, especially against the background of the aftereffect of peas in crop rotation with black fallow has been established. The weak effect of fertilizers and the aftereffect of preceding crops in crop rotation, mainly corn and millet, were registered due to biological features (moisture requirements) and a significant dry period during the growing season of barley. According to the observations, we can talk about significant changes in the weather conditions of the growing season, which decreases the barley yield due to frequent droughts in Orenburg Oblast. Farmers and managers of agricultural enterprises operating in the arid conditions of Orenburg Oblast are advised to sow barley in crop rotation with peas and black fallow after the autumn application of mineral fertilizers.

Keywords: agrometeorological conditions, elevated air temperature, rainfall, soil horizon moisture, soil, mineral fertilizers, yield

Acknowledgements: data presented in the article were obtained in the course of studies within the framework of the approved R&D plan for the period from 2022 till 2024 of the Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0526-2022-0014).

For citation: Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V., Skorokhodov V.Yu., Zorov A.A. Influence of weather conditions in the central zone of Orenburg Oblast, soil moisture, nutrition background and preceding crops in crop rotations on the yield of barley grain. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2):24-35. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_24-35.

Введение

Ячмень является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, сочетающих в себе комплекс хозяйственно ценных признаков, занимая 4-е место в мире после пшеницы, кукурузы и риса. Ячмень широко используется как техническая, продовольственная и особенно кормовая культура, что обусловлено его высокой питательной ценностью. При этом культура очень пластична, что позволяет ей благоприятно произрастать в самых разнообразных климатических зонах всего мира. Такой ареал внедрения эта культура получила благодаря относительно высокой и стабильной урожайности и отзывчивости на удобрения. Мировые площади посевов, занимаемые ячменем, ежегодно составляют около 50,0 млн га, а валовые сборы зерна – 145,2 млн т. Основная часть мировых посевных площадей ячменя сосредоточена в странах ЕС (42%). Россия по валовому сбору ячменя стабильно занимает 2-е место после стран ЕС (11–15% мирового производства) [16]. Наиболее благоприятные условия для возделывания данной культуры сложились в Центральном, Южном, Приволжском и Сибирском федеральных округах [12]. Именно там и сосредоточен основной ареал возделывания ячменя.

Применение научно обоснованных систем ведения сельскохозяйственного производства с учетом почвенно-климатических особенностей территории выращивания является необходимым условием повышения урожайности зерна ячменя. Это особенно актуально в связи с наметившейся тенденцией уменьшения посевных площадей, отводимых под его выращивание: за период с 2000 по 2020 г. в России произошло сокращение посевных площадей, занимаемых ячменем, с 12,86 до 8,53 млн га [13].

Опубликованы данные исследований, проведенных в 1990–2020 гг. сотрудниками Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (Максютов Н.А., Скороходов В.Ю., Зоров А.А. и др.) в степной зоне Оренбургской области с целью установления зависимости урожайности полевых культур в севооборотах от погодных условий. За 30 лет наблюдений выявлены локальные изменения агрометеорологических условий. Сделан вывод, что ячмень в условиях Приволжского федерального округа более засухоустойчив, по выходу зерна он уступает только озимой ржи и

пшенице. Показано, что по ротациям севооборотов уровень урожайности зерна ячменя варьирует от 1,2 до 2,5 т/га. В среднем за 2020 г. выход зерна ячменя на фоне с удобрениями и без их применения составил соответственно 2,1 и 1,7 т/га [6, 7].

Сотрудники Красноярского государственного аграрного университета (Серебренников Ю.И., Байкалова Л.П.) с 2002 по 2014 г. проводили исследования, по результатам которых определили подекадное влияние абиотических факторов (сумма температур, осадков) и гидротермического коэффициента на урожайность ячменя различных сортов [10].

Результаты исследований, выполненных на территории Тувинского НИИ сельского хозяйства, в зоне рискованного земледелия с резко континентальным климатом, свидетельствуют о существенной зависимости урожайности ячменя от климатических проявлений (положительная связь с ГТК и осадками, отрицательная корреляционная связь с температурным режимом) [5]. В этих исследованиях низкая обеспеченность весенними осадками в мае оказывала значительное влияние на урожайность. По остальным месяцам вегетационного периода (июнь, июль, август) наблюдали положительные корреляционные связи с осадками. Температурный режим имел положительные связи с урожайностью в мае и отрицательные – в июне-августе.

И.П. Елисеевым, Л.В. Елисеевой, А.В. Степановым (Чувашская государственная сельскохозяйственная академия) в ходе исследований, проведенных с 2009 по 2019 г., установлена зависимость продуктивности ячменя от агрометеорологических условий в период вегетации культуры [4].

Актуальной проблемой в мировом земледелии является выбор предшественника для ячменя, после которого можно получать более высокую урожайность зерна. Определению лучшего предшественника с целью получения более высоких урожаев этой культуры посвящены полевые эксперименты многих отечественных и зарубежных исследователей [14, 15, 17, 18].

Кроме предшественника, на повышение урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур существенное влияние оказывают удобрения. В исследованиях М.А. Евдокимовой максимальный урожай ячменя (3,0 т/га) был получен на малогумусной почве после внесения комплексных минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ за счет повышенного содержания фосфора и калия [3]. Во влажных условиях Белгородской области за период 2017–2018 гг. показано положительное влияние различных предшественников и доз минеральных удобрений, способствующих получению урожайности зерна ячменя до 6,20 т/га [11].

К настоящему времени экспериментально установлено, что урожайность ячменя в первую очередь зависит от погодных условий, а во вторую – от вида внесенных удобрений: в частности, в засушливых условиях на черноземах обыкновенных Самарской области после внесения азотных удобрений получена прибавка зерна в пределах 0,33 т/га [1].

Влагообеспеченность почвы под посевами ячменя играет основную роль в формировании урожайности зерна. Доказано, что накопление и усвоение наибольшего количества влаги почвенного горизонта приводит к положительным результатам по урожайности зерна ячменя [8, 9]. В.Ю. Селиванова на основании результатов полевых экспериментов (2002–2017 гг.) отмечает, что при бессменном посеве ячменя продуктивная влага в метровом слое почвы снижается (особенно в сравнении с севооборотами) с 138,59 до 43,09 мм (максимальный расход – 174,50 мм).

В данной статье представлены результаты исследований, выполненных авторами с целью установления влияния погодных условий центральной зоны Оренбургской области, весенних запасов влаги в почве, фона питания и предшественников в севооборотах на урожайность зерна ячменя.

Условия, материалы и методы

Научные наблюдения выполнены в 2015–2020 гг. в длительном стационарном опыте, заложенном в 1988 г. возле п. Крона на правом берегу р. Урала.

На территории опытного участка почва представлена малогумусным карбонатным южным черноземом со следующими показателями в верхнем горизонте почвы (0–30 см):

- количество органического вещества (гумус) – до 3,2%;
- содержание солей азотной кислоты (нитраты) – 12,0 мг/100 г;
- содержание фосфатов (подвижный фосфор) – 2,0 мг/100 г;
- содержание поглощенного (обменного) калия – 30,0 мг/100 г;
- кислотность – нейтральная;
- водная вытяжка – в пределах 6,5–7,0.

Метод исследования – полевой [2].

Ячмень высевали на территории последнего поля в зернопаровых, зернопропашных и сидеральных шестипольных севооборотах: пар (черный), пшеница (твердая), пшеница (мягкая), сборные культуры (кукуруза, горох, просо), пшеница (мягкая), ячмень и пар (сидеральный), пшеница (твердая), пшеница (мягкая), сборные культуры (кукуруза, горох, просо), пшеница (мягкая), ячмень.

Почва и варианты выращивания ячменя в шестипольных севооборотах рассматриваются как объекты эксперимента.

Схема опыта включает шесть вариантов выращивания ячменя (последнее поле в севообороте) после мягкой пшеницы в четырехкратной повторности и в шестикратной во времени опыта:

- I – посев в последствии кукурузы по севообороту с черным паром (контроль);
- II – посев в последствии гороха по севообороту с черным паром;
- III – посев в последствии проса по севообороту с черным паром;
- IV – посев в последствии кукурузы по севообороту с сидеральным паром;
- V – посев в последствии гороха по севообороту с сидеральным паром;
- VI – посев в последствии проса по севообороту с сидеральным паром.

Полевые делянки разделены на фон с удобрениями (длиной 30 м) и без их применения (60 м). Размер делянки удобренного фона составляет $14,4 \times 30 = 432 \text{ м}^2$, неудобренного – $14,4 \times 60 = 864 \text{ м}^2$; общая деляночная ширина – 14,4 м, длина – 90 м, площадь – $1\,296 \text{ м}^2$.

Осенью (перед вспашкой) под будущие посевы предшественников ячменя на одной части делянки вносили комплексные минеральные удобрения (аммофоска, нитроаммофоска) в дозе $\text{N}_{40}\text{P}_{80}\text{K}_{40}$ на 1 га, на второй части делянки удобрения не вносили. Весной в первой декаде мая высевали ячмень (сорта Анна и Натали) с помощью пресовой сеялки СЗП-3,6 с нормой 180 кг/га. Учетная площадь удобренного и неудобренного фонов составляла соответственно 60 и 120 м^2 .

Уборку проводили во второй декаде августа прямым комбайнированием селекционным комбайном Сампо-500 с измельчением соломы и разбрасыванием ее по опытному участку.

Основная обработка почвы заключалась в проведении осенней вспашки изучаемых делянок. Агротехнику и агротехнологию выращивания ячменя использовали с учетом общепринятых рекомендаций для сухостепной зоны Оренбуржья.

Динамика агрометеорологических условий на территории проведения исследований оценивалась по данным метеостанции по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Влажность почвы определяли термостатным гравиметрическим методом. Почвенные образцы отбирали специальными бурами перед посевом ячменя послойно в метровом и полутораметровом горизонтах почвы в первом и третьем повторениях опыта. Почву извлекали пробоотборниками три раза с каждых десяти сантиметров глубины на всех делянках. В лабораторных условиях их высушивали и по разнице рассчитывали содержание продуктивной влаги в почве.

Наблюдения, полевые учеты, лабораторные анализы и математические расчеты проведены по рекомендуемым методикам и программам.

Статистическую обработку и дисперсионный анализ полученных данных проводили по методике Б.А. Доспехова [2] с использованием типовых программ ПЭВМ.

Результаты и их обсуждение

В 2015 г. в период вегетации ячменя (май-август) выпало 127 мм дождевых осадков, или 82% от нормы. Средняя температура воздуха была 19,9 °С, число суточных суховеев – 76 ед. при среднемноголетней (контрольной) норме температуры воздуха 19,1 °С, осадков – 155 мм, суховейных дней – 56. По значению гидротермического коэффициента вегетационный период ячменя можно охарактеризовать как засушливый: ГТК = 0,57 (табл. 1).

Таблица 1. Абиотические факторы вегетационных периодов ячменя на территории проведения исследований (среднее по годам и по периоду 2015–2020 гг.)

Показатели	Годы						В среднем за 2015–2020 гг.
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Температура воздуха, °С	19,9	21,0	19,5	17,7	20,2	20,9	19,9
Дождевые осадки, мм	127,0	86,0	110,0	104,0	168,0	70,0	110,8
Гидротермический коэффициент, ед.	0,57	0,38	0,49	0,39	0,68	0,30	0,47
Суточные суховеи, ед.	76,0	84,0	44,0	41,0	82,0	79,0	68,0

В 2016 г. выпало 86 мм дождевых осадков, или 55,5% от нормы. Средняя температура воздуха доходила до 21,0 °С и превышала среднемноголетний показатель на 1,9 °С. Зарегистрировано 84 ед. суховеев. По значению ГТК = 0,38 период вегетации ячменя характеризовался как сильно засушливый.

В 2017 г. выпало 110 мм дождевых осадков, или 71% от нормы. Средняя температура воздуха доходила до 19,5 °С и превышала среднемноголетний показатель на 0,4 °С. Зарегистрировано 44 ед. суховеев. По значению ГТК = 0,49 вегетационный период ячменя характеризовался как засушливый.

В 2018 г. выпало 104 мм дождевых осадков, или 67% от нормы. Средняя температура воздуха доходила до 17,7 °С и была ниже среднемноголетнего показателя на 1,4 °С. Зарегистрировано 41 ед. суховеев. По значению ГТК = 0,39 вегетационный период ячменя характеризовался как сильно засушливый.

В 2019 г. выпало 168 мм дождевых осадков, или 108% от нормы. Средняя температура воздуха доходила до 20,2 °С и превышала среднемноголетний показатель на 1,1 °С. Зарегистрировано 82 ед. суховеев. По значению ГТК = 0,68 вегетационный период ячменя характеризовался как недостаточно влажный.

В 2020 г. выпало 70 мм дождевых осадков, или 55% от нормы. Средняя температура воздуха доходила до 20,9 °С и превышала среднемноголетний показатель на 1,8 °С. Зарегистрировано 79 ед. суховеев. По значению ГТК = 0,30 вегетационный период ячменя характеризовался как сильно засушливый.

В среднем за 2015–2020 гг. абиотические факторы имели следующие значения:

- дождевые осадки – 110,8 мм (71% от нормы);
- температура воздуха – 19,9 °С (на 0,8 °С выше нормативного показателя);
- количество суховеев – 68 ед. (на 10 ед. выше нормы);
- гидротермический коэффициент – 0,47.

По данным проведенных наблюдений можно говорить о существенных изменениях погодных условий вегетационного периода, что сказывается на снижении урожайности ячменя за счет проявления часто повторяющихся засух на территории Оренбургской области.

Самым важным сроком наблюдения за влажностью почвы является период посева ячменя. За годы исследования отмечаются основные различия по запасам продуктивной влаги на участках ячменя на вариантах последействия кукурузы, гороха и проса в севооборотах (табл. 2).

Таблица 2. Влажность почвенного горизонта под посевами ячменя на различных вариантах опыта и по годам исследования, мм

Вариант опыта	Слой почвы, см	Годы						Среднее за 6 лет
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	
I (контроль)	0–100	90,2	114,6	139,9	108,4	99,1	129,3	113,6
	0–150	115,4	210,5	240,5	161,7	134,8	145,7	168,1
II	0–100	76,6	163,7	178,2	125,7	108,2	197,1	141,6
	0–150	97,3	229,0	222,7	146,6	150,7	187,9	172,4
III	0–100	91,2	137,6	142,4	119,6	92,2	111,3	115,7
	0–150	129,5	215,4	218,2	139,2	146,7	173,4	170,4
IV	0–100	88,4	115,2	160,5	99,5	95,5	114,4	112,2
	0–150	110,3	218,7	226,3	130,7	139,2	173,5	166,4
V	0–100	97,5	128,2	135,4	122,8	113,3	95,4	115,4
	0–150	115,6	206,1	210,7	171,1	166,2	169,7	173,2
VI	0–100	90,7	130,5	134,8	105,6	112,9	119,8	115,7
	0–150	120,1	218,7	212,5	128,7	168,3	152,3	166,8

Максимальные значения почвенной влаги метрового и полутораметрового горизонтов – соответственно 134,8 и 240,5 мм – отмечены в 2017 г. при засушливых погодных условиях (ГТК = 0,49).

Наименьшие запасы продуктивной влаги – соответственно 76,6 и 97,3 мм – отмечены в 2015 г. на варианте последействия гороха по севообороту с черным паром (вариант II). Такое снижение влажности почвы могло произойти за счет наибольшего потребления влаги растениями предшественника гороха и сорными растениями.

В эксперименте наблюдали снижение влажности в метровом и полутораметровом почвенных горизонтах под посевами ячменя в результате последействия кукурузы по севооборотам с черным и сидеральным парами: на контроле и на варианте IV количество почвенной влаги составляло соответственно 113,6/168,1 мм и 112,2/166,4 мм. Такое снижение влажности почвы могло произойти за счет предшествующей кукурузы, которая формирует урожайность зеленой массы, используя значительное количество влаги полутораметрового почвенного горизонта. Можно отметить более высокие значения весенней влаги в почве варианта V – от 115,4 до 173,2 мм. Особенно выделялся вариант последействия гороха по севообороту с черным паром высокими значениями содержания влаги в слоях почвы 0–100 см и 0–150 см – соответственно 141,6 мм и 172,4 мм.

По данным проведенного исследования выявлены более низкие показатели урожайности зерна ячменя в 2015 г. по изучаемым предшественникам севооборотов: на фоне применения удобрений – 0,24–0,28 т/га и на фоне без удобрений – 0,21–0,24 т/га (табл. 3). Аналогичное снижение отмечено в 2018 г. на фоне применения удобрений – 0,40 т/га и на фоне без удобрений – 0,30 т/га. Такое снижение урожайности зерна ячменя в 2015 и 2018 гг. можно объяснить низкими запасами продуктивной влаги в посевах по всем предшественникам севооборотов и сложившимися неблагоприятными погодными условиями вегетационных периодов.

Таблица 3. Урожайность ячменя в зависимости от последействия предшествующих культур в севооборотах при внесении минеральных удобрений и без их применения, т/га

Годы	Севооборот	Последействие предшественников			НСР ₀₅	
		кукуруза	горох	просо	А	В
2015	с черным паром	<u>0,28</u> 0,24	<u>0,24</u> 0,23	<u>0,26</u> 0,23	0,01	0,01
	с сидеральным паром	<u>0,26</u> 0,24	<u>0,25</u> 0,21	<u>0,26</u> 0,22		
2016	с черным паром	<u>0,96</u> 0,92	<u>1,15</u> 1,12	<u>1,00</u> 0,83	0,09	0,11
	с сидеральным паром	<u>1,02</u> 0,95	<u>1,11</u> 0,94	<u>1,10</u> 0,92		
2017	с черным паром	<u>3,19</u> 2,99	<u>3,66</u> 2,64	<u>3,43</u> 2,85	0,25	0,31
	с сидеральным паром	<u>3,51</u> 2,77	<u>3,30</u> 2,90	<u>3,19</u> 2,70		
2018	с черным паром	<u>0,59</u> 0,46	<u>0,44</u> 0,41	<u>0,40</u> 0,30	0,07	0,09
	с сидеральным паром	<u>0,44</u> 0,31	<u>0,45</u> 0,37	<u>0,42</u> 0,31		
2019	с черным паром	<u>1,71</u> 1,22	<u>1,64</u> 1,33	<u>1,55</u> 1,32	0,17	0,21
	с сидеральным паром	<u>1,54</u> 1,33	<u>1,26</u> 1,05	<u>1,53</u> 1,37		
2020	с черным паром	<u>1,43</u> 1,19	<u>1,25</u> 1,20	<u>1,62</u> 1,26	0,09	0,11
	с сидеральным паром	<u>1,27</u> 1,15	<u>1,05</u> 0,95	<u>1,32</u> 1,19		
Среднее за 6 лет	с черным паром	<u>1,36</u> 1,17	<u>1,40</u> 1,16	<u>1,38</u> 1,13	0,05	0,06
	с сидеральным паром	<u>1,34</u> 1,13	<u>1,24</u> 1,07	<u>1,30</u> 1,12		

Примечание: числитель – фон с удобрениями, знаменатель – без удобрений;

НСР₀₅ по фактору А – фон с минеральными удобрениями,

НСР₀₅ по фактору В – последействие предшественника ячменя.

Максимальная урожайность зерна ячменя отмечена в 2017 г. – 3,19–3,66 т/га на фоне применения удобрений и 2,64–2,99 т/га – на фоне без их применения. В 2016, 2019, 2020 гг. зафиксирована средняя урожайность зерна ячменя по всем видам предшественников севооборотов в результате последействия черных и сидеральных паров – соответственно 0,83 и 1,71 т/га. Средний выход зерна обусловлен прежде всего содержанием продуктивной влаги в период вегетации как в метровом, так и полутораметровом слоях почвы, которого не хватает для формирования высокой урожайности ячменя из-за засушливых условий.

При внесении минеральных удобрений на всех вариантах опыта отмечена самая высокая урожайность зерна ячменя. Однако в засушливые годы повышенные температуры воздуха, нагревая верхний слой почвы, снижают эффективность использования ячменем минеральных комплексных удобрений. В 2017 г. прибавка от минеральных удобрений в двух севооборотах составила 0,20–1,02 т/га. В результате последействия предшественников отмечали средний уровень урожайности зерна ячменя: 1,24–1,40 т/га – на фоне с удобрениями и 1,07–1,17 т/га – без их применения.

Математический расчет урожайности ячменя двухфакторного опыта, выполненный с помощью дисперсионного анализа, показывает, что по изучаемым факторам А (фон с минеральными удобрениями – 0,25 и 0,17 т/га) и В (последствие предшественника – 0,31 и 0,21 т/га) наблюдается существенная разница по вариантам эксперимента в 2017 и 2019 гг. по сравнению с 2015 г. Следовательно, можно отметить, что увеличение урожайности ячменя после внесения минеральных удобрений по всем изучаемым предшественникам севооборотов в 2017 г. происходило за счет наибольших запасов весенней влаги (134,8–240,5 мм) в метровом и полутораметровом слоях почвы. Подобная ситуация складывалась и в 2019 г., но отличалась тем, что активный рост ячменя отмечался после наибольшего количества дождевых осадков (168 мм) за период развития и при повышенной температуре воздуха (20,2 °С). В годы исследования на всех вариантах отмечается незначительная разница с 2015 г., что связано с засушливыми условиями вегетационного периода и наименьшими запасами почвенной влаги.

В 2017 г. можно отметить воздействие почвенной влаги на рост урожайности зерна ячменя в шестипольных севооборотах после запашки в почву комплексных минеральных удобрений (рис. 1).

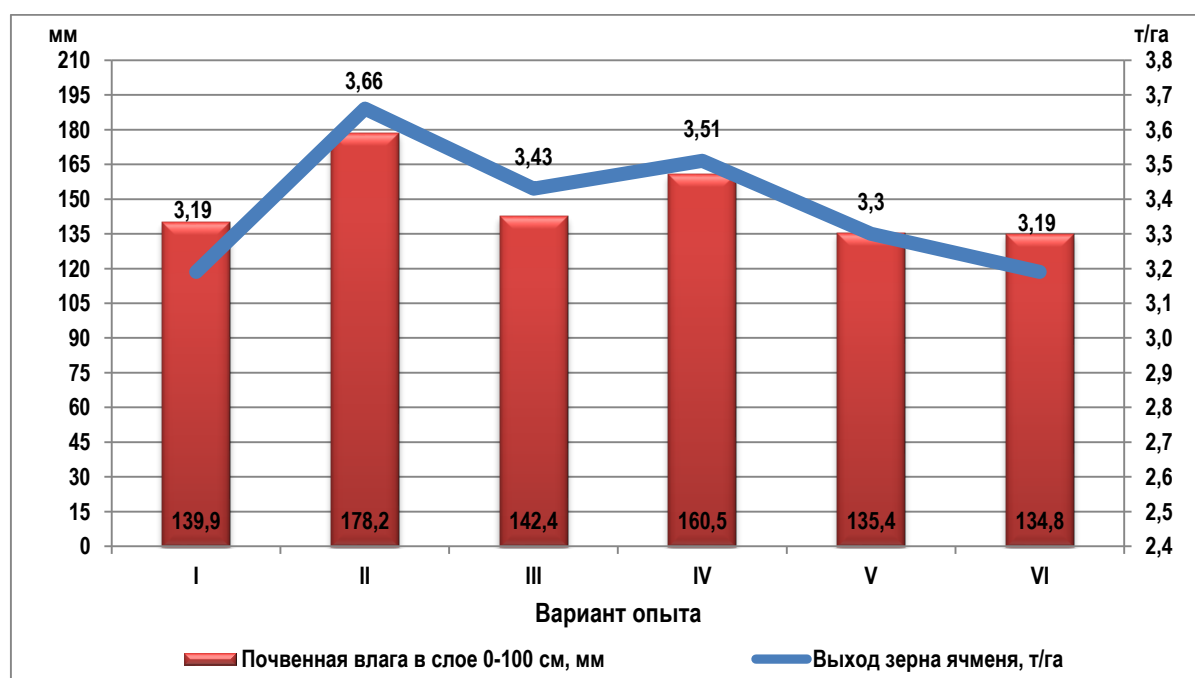


Рис. 1. Влияние влажности в метровом горизонте почвы на выход зерна ячменя в шестипольных севооборотах с черным и сидеральным парами на фоне применения минеральных удобрений (по данным 2017 г.)

Из рисунка 1 видно, что существует прямо пропорциональная зависимость выхода зерна ячменя в севооборотах от количества почвенной влаги: чем больше содержание в метровом слое почвы весенней влаги, тем выше урожайность зерна ячменя в рассматриваемых вариантах эксперимента, и наоборот. Максимальный урожай ячменя получен на варианте II, что объясняется самыми высокими значениями осенних, зимних и весенних атмосферных осадков за 2016–2017 гг., что способствовало накоплению запасов почвенной влаги после применения аммофоски, нитроаммофоски, а также биологическими особенностями культуры (скороспелость и засухоустойчивость).

В среднем за годы исследования можно говорить о благоприятном воздействии почвенной влаги и осадков на урожайность зерна ячменя, особенно четко проявившемся после пшеницы по гороху в севообороте с черным паром на фоне с минеральными удобрениями (рис. 2).

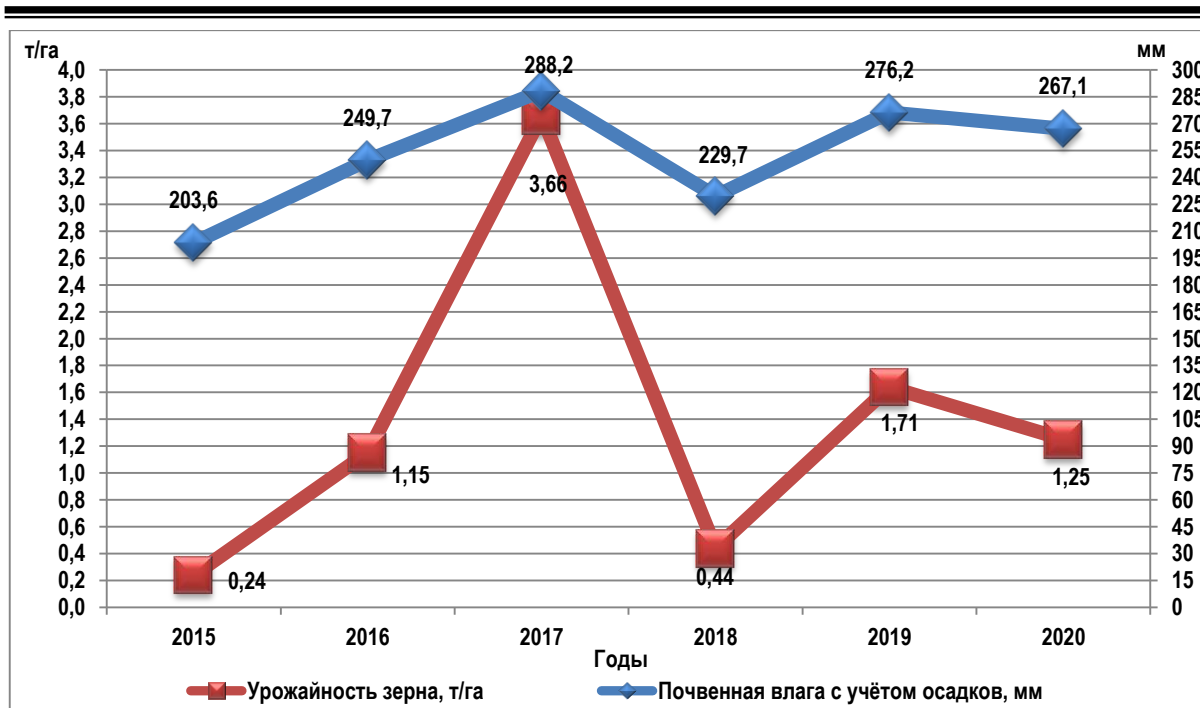


Рис. 2. Влияние общей влаги (почвенная и атмосферная) в метровом горизонте почвы на урожайность зерна ячменя в последствии гороха по севообороту с черным паром в результате внесения минеральных удобрений

На рисунке 2 представлена прямо пропорциональная зависимость в виде линейного графика: чем больше или меньше количество почвенной влаги с учетом выпавших осадков, тем выше или ниже урожайность ячменя в зернопаровом севообороте.

Максимальный показатель урожая ячменя (3,66 т/га) отмечен в 2017 г., достаточно высокий (1,64 т/га) – в 2019 г., что обусловлено прежде всего самыми высокими запасами продуктивной влаги весной в 2017 г. и значительным количеством выпавших дождевых осадков в 2019 г. При этом следует отметить, что рост уровня урожайности ячменя на варианте II в основном обусловлен внесенными минеральными удобрениями, а также биологическими особенностями предшествующих культур (мягкая пшеница и горох) и последствия черного пара.

Выводы

За годы проведенной научно-исследовательской работы выявлены засушливые погодные условия вегетационных периодов и низкие запасы почвенной влаги (особенно в 2015 г.), которые оказывали влияние на снижение урожайности зерна ячменя в последствии гороха по севообороту с черным паром, составившее 0,21 т/га на фоне без удобрений.

Самая высокая урожайность ячменя – 3,66 т/га – сформировалась в 2017 г. в севооборотах с черным и сидеральным парами на питательном фоне с минеральными удобрениями за счет максимально высоких запасов весенней влаги в слое 0–100 см почвенного горизонта, несмотря на высокие температуры атмосферного воздуха вегетационного периода.

В недостаточно влажном вегетационном периоде 2019 г. получена достаточно высокая урожайность ячменя на всех вариантах опыта, в том числе 1,71 т/га на фоне с удобрениями, как следствие значительного количества выпавших дождевых осадков (168 мм) и оптимальной атмосферной температурой (20,2 °С).

За период ротации севооборотов выявлено, что действие минеральных удобрений приводит к росту урожайности зерна ячменя на всех вариантах опыта от I (контроль)

до VI – соответственно на 0,19 т/га, 0,24; 0,25; 0,21; 0,17 и 0,18 т/га. В 2017 г. отмечена самая высокая прибавка зерна как результат применения аммофоски и нитроаммофоски в севооборотах (1,02 т/га на варианте II) за счет наибольших весенних запасов почвенной влаги.

Установлена зависимость повышения выхода зерна ячменя в севооборотах на фоне с удобрениями от весенней влаги в метровом слое почвы, особенно на фоне последействия гороха в севообороте с черным паром.

Слабое действие удобрений и последействие предшественников севооборотов, в основном кукурузы и проса, обусловлены биологическими особенностями (требование к влаге) и значительным количеством суховея в период вегетации ячменя.

По данным проведенных наблюдений можно говорить о существенных изменениях погодных условий вегетационного периода, что сказывается на снижении урожайности ячменя за счет проявления часто повторяющихся засух на территории Оренбургской области.

Для повышения выхода зерновой продукции фермерам и руководителям сельскохозяйственных предприятий, работающих в засушливых условиях Оренбургской области, можно рекомендовать высевать ячмень в севообороте с горохом и черным паром после осеннего применения минеральных удобрений.

Список источников

1. Горянин О.И., Мадякин Е.В., Пронович Л.В. и др. Технологии возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 9. С. 42–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Евдокимова М.А. Влияние предшественников и минеральных удобрений на урожайность ярового ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1(29). С. 11–14.
4. Елисеев И.П., Елисеева Л.В., Степанов А.В. Динамика продуктивности ячменя и стоимости зерна в зависимости от погодных условий в Чувашской Республике // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2(13). С. 13–20. DOI: 10.17022/853m-jp34.
5. Ламажап Р.Р., Липшин А.Г. Влияние климатических условий на урожайность ярового ячменя в Республике Тыва // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 12(123). С. 13–19.
6. Максютлов Н.А., Зоров А.А., Скороходов В.Ю., Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий на урожайность полевых культур в степной зоне Оренбуржья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. Т. 5, № 4. С. 8–17. DOI: 10.12737/39899.
7. Максютлов Н.А., Скороходов В.Ю., Зоров А.А. и др. Особенности погодных условий и урожайности полевых культур в степной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1(87). С. 24–29. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-87-1-24-29.
8. Митрофанов Д.В. Влияние метеоусловий и влажности почвы на выход зерна в севооборотах и урожайность бессменных посевов на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101, № 2. С. 218–228.
9. Селиванова В.Ю. Влагообеспеченность яровых культур в севообороте с различными обработками почвы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1(49). С. 154–161.
10. Серебренников Ю.И., Байкалова Л.П. Влияние абиотических факторов на урожайность сортов ячменя в лесостепи Приенисейской Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 11(110). С. 190–197.

11. Смуров С.И., Наумкин В.Н., Ермолаев С.Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания // Вестник аграрной науки. 2020. № 2(83). С. 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36.
12. Тимошенкова Т.А. Ценные агробиологические признаки нового сорта ярового ячменя Миар // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3(59). С. 41–44.
13. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Официальный сайт. Статистика [Электронный источник]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 12.10.2022).
14. Boussora F., Allam M., Guasmi F. et al. Spike developmental stages and ABA role in spikelet primordia abortion contribute to the final yield in barley (*Hordeum vulgare* L.) // Botanical Studies. 2019. Vol. 60, No. 1. Pp. 13–24. DOI: 10.1186/s40529-019-0261-2.
15. Sainju U.M. Can Novel Management Practice Improve Soil and Environmental Quality and Sustain Crop Yield Simultaneously? // PLoS ONE. 2016. Vol. 11, No. 2. Article No. e0149005. DOI: 10.1371/journal.pone.0149005.
16. The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) // Official website. URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Food_and_Agriculture_Organization_Corporate_Statistical_Database.
17. Wendt T., Holme I., Docket C. et al. HvDep1 Is a Positive Regulator of Culm Elongation and Grain Size in Barley and Impacts Yield in an Environment-Dependent Manner // PLoS ONE. 2016. Vol. 11, No. 12. Article No. e0168924. DOI: 10.1371/journal.pone.0168924.
18. Zou L., Yli-Halla M., Stoddard F.L., Mäkelä S.A. Effects of Break Crops on Yield and Grain Protein Concentration of Barley in a Boreal Climate // PLoS ONE. 2015. Vol. 10, No. 6. Article No. e0130765. DOI: 10.1371/journal.pone.0130765.

References

1. Goryanin O.I., Madyakin E.V., Pronovich L.V. et al. Tehnologii vozdeleyvaniya yarovogo yachmenya v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Technologies for the cultivation of spring barley under arid conditions of the Volga region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in AIC*. 2020;9(34):42-47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908. (In Russ.).
2. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnoe posobie. 5-e izd., dop. i pererab. [Field-plot Technique (with the Basics of Statistical Processing of Results of Research and Experiments): study guide. 5th edition, revised and enlarged]. Moscow: Agropromizdat Press; 1985. 351 p. (In Russ.).
3. Evdokimova M.A. Vliyaniye predshestvennikov i mineral'nykh udobreniy na urozhainost' yarovogo yachmenya [Influence of predecessors and mineral fertilizers on yield of spring barley]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyajstvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2015;1(29):11-14. (In Russ.).
4. Eliseev I.P., Eliseeva L.V., Stepanov A.V. Dinamika produktivnosti yachmenya i stoimosti zerna v zavisimosti ot pogodnykh usloviy v Chuvashskoy Respublike [Dynamics of barley productivity and grain cost depending on weather conditions in the Chuvash Republic]. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyajstvennoy akademii = Vestnik Chuvash State Agricultural Academy*. 2020;2(13):13-20. DOI: 10.17022/853m-jp34. (In Russ.).
5. Lamazhap R.R., Lipshin A.G. Vliyaniye klimaticheskikh usloviy na urozhainost' yarovogo yachmenya v Respublike Tyva [Influence of climatic conditions on the yield of summer barley in the Republic of Tyva]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin KrasSAU*. 2016;12(123):13-19. (In Russ.).
6. Maksyutov N.A., Zorov A.A., Skorokhodov V.Yu., Mitrofanov D.V. Vliyaniye pogodnykh usloviy na urozhainost' polevykh kul'tur v stepnoy zone Orenburzh'ya [Weather condition affect on arable crops in the steppe zone of Orenburg region]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyajstvennoy akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2020;4:8-17. DOI: 10.12737/39899. (In Russ.).
7. Maksyutov N.A., Skorokhodov V.Yu., Zorov A.A. et al. Osobennosti pogodnykh usloviy i urozhainosti polevykh kul'tur v stepnoy zone Orenburgskoy oblasti [Features of weather conditions and yield of field crops in the steppe zone of the Orenburg region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;1(87):24-29. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-87-1-24-29. (In Russ.).
8. Mitrofanov D.V. Vlijaniye meteousloviy i vlazhnosti pochvy na vykhod zerna v sevooborotakh i urozhainost' bessmennyykh posevov na chernozemakh yuzhnykh Orenburgskogo Predural'ya [Influence of meteorological conditions and soil moisture on yield of grain in crop rotations and productivity of permanent crops on chernozems of the southern Orenburg Cis-Urals]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;2(101):218-228. (In Russ.).
9. Selivanova V.Yu. Vlogoobespechennost' yarovykh kul'tur v sevooborote s razlichnymi obrabotkami pochvy v sukhostepnoy zone Nizhnego Povolzh'ya [Water safety of spring crops in northern performance with different soil processing in the dry velocity zone of the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2018;1(49):154-161. (In Russ.).

10. Serebrennikov Yu.I., Baikalova L.P. Vliyanie abioticheskikh faktorov na urozhajnost' sortov yachmenya v lesostepi Prienisejskoj Sibiri [The influence of abiotic factors on crop yields of barley varieties in partially wooded steppe of Prieniseysky Siberia]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin KrasSAU*. 2015;11(110):190-197. (In Russ.).
11. Smurov S.I., Naumkin V.N., Ermolaev S.N. Urozhajnost' i kachestvo zerna yarovogo yachmenya v zavisimosti ot razlichnykh predshestvennikov i fonov mineral'nogo pitaniya [Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition]. *Vestnik agrarnoj nauki = Bulletin of Agrarian Science*. 2020;2(83):36-44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36. (In Russ.).
12. Timoshenkova T.A. Tsennye agrobiologicheskie priznaki novogo sorta yarovogo yachmenya Miar [Valuable agrobiological features of the new Miar spring barley variety]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2016;3(59):41-44. (In Russ.).
13. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat). Ofitsial'nyj sajt. Statistika [Federal State Statistics Service (Rosstat). Official website. Statistics]. URL: <https://rosstat.gov.ru/>. (In Russ.).
14. Boussora F., Allam M., Guasmi F. et al. Spike developmental stages and ABA role in spikelet primordia abortion contribute to the final yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Botanical Studies*. 2019;1(60):13-24. DOI: 10.1186/s40529-019-0261-2.
15. Sainju U.M. Can Novel Management Practice Improve Soil and Environmental Quality and Sustain Crop Yield Simultaneously? *PLoS ONE*. 2016;2(11):e0149005. DOI: 10.1371/journal.pone.0149005.
16. The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). Official website. URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Food_and_Agriculture_Organization_Corporate_Statistical_Database.
17. Wendt T., Holme I., Dockter C. et al. HvDep1 Is a Positive Regulator of Culm Elongation and Grain Size in Barley and Impacts Yield in an Environment-Dependent Manner. *PLoS ONE*. 2016;12(11):e0168924. DOI: 10.1371/journal.pone.0168924.
18. Zou L., Yli-Halla M., Stoddard F.L., Mäkelä S.A. Effects of Break Crops on Yield and Grain Protein Concentration of Barley in a Boreal Climate. *PLoS ONE*. 2015;6(10):e0130765. DOI: 10.1371/journal.pone.0130765.

Информация об авторах

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», dvm.80@mail.ru.

Ю.В. Кафтан – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», yura.kaftan@mail.ru.

В.Ю. Скороходов – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», skorohodov.vitali1975@mail.ru

А.А. Зоров – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, зам. директора – руководитель структурного подразделения Оренбургский НИИ сельского хозяйства ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», zorov78@yandex.ru.

Information about the authors

D.V. Mitrofanov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Research Scientist, the Dept. of Soil Management and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, dvm.80@mail.ru.

Yu.V. Kaftan, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Research Scientist, the Dept. of Soil Management and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, yura.kaftan@mail.ru.

V.Yu. Skorokhodov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Research Scientist, the Dept. of Soil Management and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, skorohodov.vitali1975@mail.ru.

A.A. Zorov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Research Scientist, Deputy Director – Head of Orenburg Research Institute of Agriculture, Structural Subdivision of Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, zorov78@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 20.12.2022; одобрена после рецензирования 25.02.2023; принята к публикации 03.03.2023.

The article was submitted 20.12.2022; approved after reviewing 25.02.2023; accepted for publication 03.03.2023.

© Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Скороходов В.Ю., Зоров А.А., 2023