

Влияние температурного стресса на урожайность ячменя в Оренбуржье

В. Ю. Скороходов¹✉

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

✉E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru

Аннотация. Цель – выявить потенциальные возможности урожайности ячменя при влиянии температурного стресса в сопряжении с пролонгированным действием минеральных удобрений и предшественников в условиях степной зоны Южного Урала. **Методы.** Содержание макроэлементов в почве определялось следующим образом: нитратный азот – ионометрическим методом по Тюрину, подвижный фосфор – по Мачигину, обменный калий – по Масловой. Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом. Математическая обработка полученных данных выполнена с помощью программы Statistica 12.0. **Результаты.** Эксперимент проводился на двух фонах почвенного питания: с минеральными удобрениями $N_{40}P_{80}K_{40}$ и на неудобренном. Установлено, что вегетационный период в среднем за 1993–2022 гг. был теплее нормы (19,1 °С) на $0,9 \pm 1,6$ °С, а в годы с очень сильной засухливостью – на $1,3 \pm 1,7$ °С. К уборке ячменя в острозасушливые годы в метровом слое почвы увеличилось потребление почвенной влаги культурой в севообороте на 21,0 %, при бессменном возделывании – на 31,8 %. Систематическое внесение под культуры севооборота минеральных удобрений увеличивает их содержание в почве и обеспечивает пролонгированное действие. При возделывании ячменя в севообороте в острозасушливые годы увеличивается потребление калия по двум фонам питания (на удобренном фоне – до 35,7 мг, на неудобренном – до 22,7 мг/кг), в монопосевах – до 3,4 и 17,4 мг/кг соответственно фонам. Средняя урожайность ячменя за 30 лет исследований составила на удобренном фоне 1,29–1,45 т, на неудобренном – 1,38–1,66 т /га. **Научная новизна.** При повышенном температурном стрессе и водном дефиците за 18 очень засушливых лет произошло заметное снижение урожайности ячменя по всем вариантам опыта, особенно наибольшему влиянию засухи подверглись монопосевы, когда урожайность культуры на удобренном фоне снизилась на 0,45 т, без удобрения – на 0,38 т/га.

Ключевые слова: урожайность, ячмень, удобрение, севооборот, монопосев, влажность почвы, осадки, засушливые годы, занятые пары.

Для цитирования: Скороходов В. Ю. Влияние температурного стресса на урожайность ячменя в Оренбуржье // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 10. С. 11–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-11-21.

Дата поступления статьи: 14.04.2023, **дата рецензирования:** 16.05.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

The effect of temperature stress on the barley yield in the Orenburg region

V. Yu. Skorokhodov¹✉

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru

Abstract. The purpose is to identify the potential yield of barley under the influence of temperature stress in conjunction with the prolonged action of mineral fertilizers and predecessors in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals. **Methods.** The content of macrolelements in the soil was determined: nitrate nitrogen – by the ionometric method according to Tyurin, mobile phosphorus according to Machigin, exchangeable potassium according to Maslova. Soil moisture was determined by the thermostatic-weight method. Mathematical process-

ing of the obtained data was performed using the Statistica 12.0 program. **Results.** The experiment was carried out on two backgrounds of soil nutrition (with mineral fertilizers $N_{40}P_{80}K_{40}$ and unfertilized). It was established that the growing season on average for 1993–2022 was warmer than the norm (19.1 °C) by 0.9 ± 1.6 °C, and in years with very strong aridity by 1.3 ± 1.7 °C. By harvesting barley in the dry years in a meter-long layer of soil, the consumption of soil moisture by the crop in the crop rotation increased by 21.0 %, with permanent cultivation by 31.8 %. The systematic introduction of mineral fertilizers under crop rotation increases their content in the soil and provides a prolonged effect. When cultivating barley in crop rotation, in severely dry years, potassium consumption increases for two backgrounds of nutrition (on a fertilized background up to 35.7 mg, on an unfertilized background up to 22.7 mg/kg), in single crops up to 3.4 and 17.4 mg/kg according to backgrounds. The average yield of barley over 30 years of research was 1.29–1.45 tons on a fertilized background, and 1.38–1.66 t/ha on an unfertilized background. Scientific novelty: with increased temperature stress and water deficit, over 18 very dry years, there was a noticeable decrease in barley yield in all variants of the experiment, especially single crops were most affected by drought, when crop yield on a fertilized background decreased by 0.45 tons, without fertilizer by 0, 38 t/ha.

Keywords: yield, barley, fertilizer, crop rotation, monopower, soil moisture, precipitation, dry years, occupied pairs.

For citation: Skorokhodov V. Yu. Vliyanie temperaturnogo stressa na urozhaynost' yachmenya v Orenburzh'e [The effect of temperature stress on the barley yield in the Orenburg region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 10. Pp. 11–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-11-21. (In Russian.)

Date of paper submission: 14.04.2023, **date of review:** 16.05.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Приоритетным агротехническим мероприятием является использование севооборотов с правильно подобранными предшественниками? обеспечивающими улучшение фитосанитарного состояния посевов, влагообеспеченность, структурно-агрегатное состояние и плодородие почв. В сравнении с возделыванием в монокультуре севооборотом обеспечивается повышение почвенного плодородия. Возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте (в том числе и ярового ячменя) сопровождается ослаблением действия различных видов засух и сопротивлением культур температурному стрессу за счет различного потребления продуктивной влаги предшественниками. Внесение минеральных удобрений в посевах длительное время приводит к их пролонгированному действию. В условиях нарастающих засух большое значение имеет накопление и сохранение продуктивной почвенной влаги предыдущих периодов (лет). Возделывание ячменя в севооборотах на фоне засушливых лет увеличивает выход зерновой и кормовой продукции. В остро-засушливые годы отмечается потребление макроэлемента калия, особенно на фоне применения минеральных удобрений. Использование различных агроприемов, противодействующих губительному влиянию засухи, и возделывание сельскохозяйственных культур (в том числе ячменя), устойчивых к температурному стрессу, является одним из условий разрешения проблемы получения зерновой и кормовой продукции в остро-засушливые годы. В связи с этим нами рассматривается возможность получения продукции ячменя в условиях повторяющегося температурного стресса.

В условиях Южного Урала влага является основным лимитирующим фактором при формировании урожайности полевых культур, в том числе и ячменя [1–3]. На урожайность ячменя наибольшее влияние оказывают запасы продуктивной почвенной влаги [4–6]. В связи с тем, что на территории Оренбургской области фиксируются часто повторяющиеся виды засухи, возникает различное влияние антропогенных факторов и почвенной влаги на величину урожайности ярового ячменя. Данное обстоятельство является важнейшим препятствием увеличения урожайности ячменя в сельскохозяйственном производстве [7–9].

Яровой ячмень формирует высококачественные урожаи не только в благоприятных, но и в засушливых условиях [10–12]. Яровой ячмень устойчив к высокому летнему температурному режиму и в условиях засухи формирует более высокую урожайность в сравнении с яровыми пшеницами (твердой и мягкой) [13–15].

Зернофуражная культура ярового ячменя самая отзывчивая на улучшение условий возделывания и, несмотря на короткий период вегетации, способна к формированию высокой урожайности [16–18]. В севооборотах, как правило, ячмень является заключительным полем, в котором отмечается дефицит элементов питания в почве и при этом возникает потребность в применении минеральных удобрений [19–21].

Цель исследования – выявить потенциальные возможности урожайности ячменя при влиянии температурного стресса в сопряжении с пролонгированным действием минеральных удобрений и предшественников в условиях степной зоны Южного Урала.

Таблица 1
Схема эксперимента

Севооборот, моно-посев	Номер поля, пары, культура					
	1	2	3	4	5	6
Шестипольные севообороты	Пар черный	Озимая рожь	Твердая пшеница	Кукуруза на силос	Мягкая пшеница	Ячмень I
	Пар черный	Твердая пшеница	Мягкая пшеница	Кукуруза на силос	Мягкая пшеница	Ячмень II
	Пар занятый (почвозащитный)	Твердая пшеница	Мягкая пшеница	Кукуруза на силос	Мягкая пшеница	Ячмень III
	Пар занятый (сидеральный)	Твердая пшеница	Мягкая пшеница	Кукуруза на силос	Мягкая пшеница	Ячмень IV
Монопосев	Ячмень	Ячмень	Ячмень	Ячмень	Ячмень	Ячмень V

Table 1
The scheme of the experiment

Crop rotation, mono-seeding	Field number, pairs, culture					
	1	2	3	4	5	6
Six - field crop rotations	<i>Black fallow</i>	<i>Winter rye</i>	<i>Durum wheat</i>	<i>Corn for silage</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Barley I</i>
	<i>Black fallow</i>	<i>Durum wheat</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Corn for silage</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Barley II</i>
	<i>Occupied fallow (soil protection)</i>	<i>Durum wheat</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Corn for silage</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Barley III</i>
	<i>busy fallow (sideral)</i>	<i>Durum wheat</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Corn for silage</i>	<i>Soft wheat</i>	<i>Barley IV</i>
<i>Mono-seeding</i>	<i>Barley</i>	<i>Barley</i>	<i>Barley</i>	<i>Barley</i>	<i>Barley</i>	<i>Barley V</i>

Методология и методы исследования (Methods)

Полевые исследования проводились в центральной зоне Оренбургской области (в селе Нежинка) на стационарном опытном участке с 1993 по 2022 гг. Место расположения стационарного опытного участка в координатах: 51.775125° с. ш., 55.306547° в. д. Почва опытного участка относится к черноземам южным карбонатным среднесиловыми тяжелосуглинистым с содержанием гумуса (в пахотном 0–30 см слое почвы) 3,2–4,0 %, общего азота 0,20–0,30 %, доступного фосфора 150–250 мг и обменного калия 300–380 мг/кг почвы, pH = 7,0...8,1.

Схема эксперимента представлена пятью вариантами опытов, из которых четыре с возделыванием ячменя в системе шестипольных зернопаропропашных севооборотов, где исследуемая культура выращивается в замыкающем севооборот поле. Один вариант эксперимента представлен монопосевом ячменя с 1993 по 2022 гг.

Схема эксперимента имеет вид: 2А × 5В, где А – фон почвенного питания (удобренный N₄₀P₈₀K₄₀ и неудобренный) и В – вариант предшественника (севооборот, монопосев) (таблица 1).

Исследование проводилось на двух фонах почвенного питания: удобренным минеральными удобрениями (N₄₀P₈₀K₄₀) и без удобрения. В качестве предшественника в шестипольных севооборотах

выступает яровая пшеница мягкая в последствии различных (черный, занятый почвозащитный, сидеральный) видов пара. Размеры опытных делянок ячменя в шестипольных севооборотах составляют 3,6 × 90 м (S = 324 м²), из которых 3,6 × 30 м (S = 108 м²) – удобренный (N₄₀P₈₀K₄₀) фон, 3,6 × 60 м (S = 216 м²) – фон без удобрения.

В монопосевах ячменя ширина делянки составляет 7,2 м, длина такая же, как и в севооборотах. Соответственно при монопосеве ячменя площадь делянки удобренного фона 216 м², неудобренного 432 м². Учетная площадь ячменя при комбайновой уборке «Сампо 500» составляет на удобренном фоне 60 м², на неудобренном – 120 м². Опыты закладывались по методике Б. А. Доспехова в четырехкратной повторности во времени и пространстве. Расположение делянок в повторностях систематическое.

Содержание макроэлементов в почве определялось следующим образом: нитратный азот – ионометрическим методом по Тюрину, подвижный фосфор – по Мачигину, обменный калий – по Масловой. Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом. Математическая обработка полученных данных выполнена с помощью программы Statistica 12.0.

Таблица 2
Среднемноголетние метеорологические показатели в годы проведения исследований

Показатели вегетационного периода		Годы эксперимента				
		Среднее за 1993–2022, отклонение	НСР ₀₅	Среднее в очень засушливые годы, отклонение	НСР ₀₅	Среднемноголетнее значение
Средняя <i>t</i> воздуха, °С	<i>t</i>	20,0 ± 1,6	0,67	2,04 ± 1,7	0,89	19,1
	%	4,7 ± 7,8	3,29	6,4 ± 8,4	4,31	–
Сумма осадков	<i>W</i>	135 ± 66,6	24,97	92,0 ± 28,5	14,56	155
	%	–12,7 ± 43,0	18,05	–40,6 ± 18,4	9,39	–

Примечание. *T* – температура воздуха; *W* – выпавшие осадки; очень засушливые годы – 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2004, 2005, 2009–2012, 2014–2018, 2020, 2021.

Table 2
Average long-term meteorological indicators during the years of research

Indicators of the growing season		Years of experiment				
		Average for 1993–2022, deviation	LSD ₀₅	Average in very dry years, deviation	LSD ₀₅	Average-long-term value
Average air temperature, °C	<i>t</i>	20.0 ± 1.6	0.67	2.04 ± 1.7	0.89	19.1
	%	4.7 ± 7.8	3.29	6.4 ± 8.4	4.31	–
Precipitation amount	<i>W</i>	135 ± 66.6	24.97	92.0 ± 28.5	14.56	155
	%	–12.7 ± 43.0	18.05	–40.6 ± 18.4	9.39	–

Note. *T* – air temperature; *W* – precipitation; very dry years – 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2004, 2005, 2009–2012, 2014–2018, 2020, 2021.

Таблица 3
Влажность почвы под посевами ячменя в период посева и уборки культуры в среднем за 1993–2022 и очень засушливые годы, мм

Средняя за период исследований	Времена года	Варианты предшественника				Разница по вариантам	
		Кукуруза по мягкой пшенице в шестипольном севообороте		Монополев ячменя			
		0–30	0–100	0–30	0–100	0–30	0–100
За 1993–2022	Весна	45,8 ± 13,8	150,1 ± 40,7	41,9 ± 14,0	144,4 ± 38,1	–3,9	–5,7
	Осень	14,1 ± 12,4	48,5 ± 32,8	13,8 ± 16,2	48,4 ± 34,4	–0,3	–0,1
	Расход	–31,7	–101,6	–28,1	–96,0	–	–
В очень засушливые	Весна	42,5 ± 13,8	144,6 ± 45,9	40,2 ± 13,6	134,5 ± 37,4	–2,3	–10,1
	Осень	9,8 ± 6,6	38,3 ± 23,9	7,1 ± 6,7	33,0 ± 20,5	–2,7	–5,3
	Расход	–32,7	–106,3	–33,1	–101,5	–	–
Разница в среднем по периодам	Весна	–3,3/7,2	–5,5/3,7	–1,7/4,0	–9,9/6,8	–	–
	Осень	–4,3/30,5	–10,2/21,0	–6,7/48,5	–15,4/31,8	–	–

Примечание. Перед косой чертой – разница между средними за период 1993–2022 и в очень засушливые годы в мм, после черты – в %.

Table 3
Soil moisture under barley crops during sowing and harvesting of crops on average for 1993–2022 and very dry years, mm

Average for the research period	Seasons	Variants of the predecessor				The difference in options	
		Corn for soft wheat in a six-field crop rotation		Mono-seeding barley			
		0–30	0–100	0–30	0–100	0–30	0–100
For 1993–2022	Spring	45.8 ± 13.8	150.1 ± 40.7	41.9 ± 14.0	144.4 ± 38.1	–3.9	–5.7
	Autumn	14.1 ± 12.4	48.5 ± 32.8	13.8 ± 16.2	48.4 ± 34.4	–0.3	–0.1
	Consumption	–31.7	–101.6	–28.1	–96.0	–	–
In very arid	Spring	42.5 ± 13.8	144.6 ± 45.9	40.2 ± 13.6	134.5 ± 37.4	–2.3	–10.1
	Autumn	9.8 ± 6.6	38.3 ± 23.9	7.1 ± 6.7	33.0 ± 20.5	–2.7	–5.3
	Consumption	–32.7	–106.3	–33.1	–101.5	–	–
The difference in the average by period	Spring	–3.3/7.2	–5.5/3.7	–1.7/4.0	–9.9/6.8	–	–
	Autumn	–4.3/30.5	–10.2/21.0	–6.7/48.5	–15.4/31.8	–	–

Note. Before the slash is the difference between the averages for the period 1993–2022 and in very dry years in mm, after the slash – in %.

Результаты (Results)

В таблице 2 приведены среднееголетние показатели температуры воздуха и осадков за вегетационный период 30 лет исследований (1993–2022 гг.) и очень засушливых лет (ГТК по Селянину менее 0,4 единицы).

Вегетационный период в среднем за 1993–2022 годы исследований был теплее нормы (19,1 °С) на $0,9 \pm 1,6$ °С, т. е. на $4,7 \pm 7,8$ %. В годы с очень сильной засушливостью (ГТК < 0,4) температура воздуха в вегетационный период в среднем превышала на $1,3 \pm 1,7$ °С ($6,4 \pm 8,4$ % относительно климатической нормы). Недобор осадков за вегетационный период относительно уровня климатической нормы в среднем за 1993–2022 гг. составил $19,7 \pm 66,6$ мм (или $12,7 \pm 43,0$ %). В острозасушливые годы недобор осадков за вегетацию в среднем составил $59,5 \pm 31,4$ мм (или $40,6 \pm 18,4$ %).

Для создания оптимальных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур и, в частности ярового ячменя, особое значение имеет накопление и сохранение продуктивной влаги как в

верхнем, так и в глуболежащих слоях почвы. На количественное содержание продуктивной почвенной влаги оказывают влияние предшествующие культуры в севообороте.

Так, в таблице 3 представлена влажность почвы под посевами ячменя в период посева и уборки культуры.

Даны средние значения продуктивной влаги в верхнем пахотном и метровом слоях почвы при возделывании ячменя в системе шестипольного севооборота и монопосева за 1993–2022 и очень засушливые годы.

В среднем за все годы исследований (1993–2022) при возделывании ячменя не отмечается большой разницы в содержании продуктивной почвенной влаги по вариантам предшественников. Так, незначительная разница наблюдается в весенний период в верхнем пахотном слое, на 3,9 мм и метровом на 5,7 мм превышающая при посеве ячменя в севооборотах.

Таблица 4
Содержание макроэлементов под монопосевами ячменя и возделываемого в шестипольном севообороте с озимой рожью на двух фонах почвенного питания в среднем за 1993–2022 и очень засушливые годы

Вариант	Годы исследований	Период	Содержание макроэлементов в почве, мг/кг					
			Удобрённый фон			Неудобрённый фон		
			Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий
Ячмень в шестипольном севообороте с озимой рожью	1993–2022	Весна	78,7 ± 42,43	57,6 ± 14,73	445,8 ± 102,28	71,0 ± 46,44	40,6 ± 8,50	416,0 ± 94,33
		НСР ₀₅	1,78	0,62	4,29	1,95	0,36	3,96
		Осень	73,2 ± 56,27	55,8 ± 15,61	435,2 ± 85,36	59,2 ± 41,45	39,8 ± 9,88	397,3 ± 77,87
		НСР ₀₅	2,40	0,66	3,64	1,77	0,42	3,33
		Расход	-5,5	-1,8	-10,6	-11,8	-0,8	-18,7
	Очень засушливые	Весна	74,5 ± 26,65	57,7 ± 16,17	459,9 ± 105,51	78,0 ± 50,79	40,8 ± 7,88	405,9 ± 85,73
		НСР ₀₅	1,36	0,83	5,40	2,60	0,40	4,39
		Осень	86,8 ± 63,85	58,5 ± 19,32	424,2 ± 94,15	66,3 ± 47,48	41,8 ± 9,29	383,2 ± 62,49
		НСР ₀₅	3,38	0,95	4,78	2,40	0,47	3,38
		Расход	+12,3	+0,8	-35,7	-11,7	+1,0	-22,7
Монопосев ячменя	1993–2022	Весна	91,6 ± 50,85	59,3 ± 24,21	421,6 ± 77,88	70,6 ± 31,47	40,5 ± 11,63	403,4 ± 72,69
		НСР ₀₅	2,13	1,01	3,27	1,32	0,49	3,05
		Осень	68,8 ± 47,64	53,2 ± 13,76	414,2 ± 80,92	63,5 ± 47,90	38,5 ± 11,10	377,5 ± 65,84
		НСР ₀₅	2,06	0,59	3,50	2,07	0,48	2,85
		Расход	-22,8	-6,1	-7,4	-7,1	-2,0	-25,9
	Очень засушливые	Весна	94,1 ± 52,13	62,5 ± 29,55	422,5 ± 70,91	72,8 ± 24,92	42,0 ± 13,66	395,6 ± 57,40
		НСР ₀₅	2,67	1,51	3,62	1,27	0,70	2,94
		Осень	82,2 ± 55,44	53,7 ± 14,62	419,1 ± 78,41	76,2 ± 53,18	39,0 ± 12,33	378,2 ± 60,48
		НСР ₀₅	2,91	0,77	4,13	2,80	0,65	3,18
		Расход	-11,9	-8,8	-3,4	+3,4	-3,0	-17,40

Table 4

The content of macronutrients under mono-seeding of barley and cultivated in a six-field crop rotation with winter rye on two backgrounds of soil nutrition on average for 1993–2022 and very dry years

Агротехнологии

Option	Years of research	Period	The content of macronutrients in the soil, mg/kg					
			Fertilized background			Non-fertilized background		
			Nitrogen	Phosphorus	Potassium	Nitrogen	Phosphorus	Potassium
Barley in a six-field crop rotation with winter rye	1993–2022	Spring	78.7 ± 42.43	57.6 ± 14.73	445.8 ± 102.28	71.0 ± 46.44	40.6 ± 8.50	416.0 ± 94.33
		LSD ₀₅	1.78	0.62	4.29	1.95	0.36	3.96
		Autumn	73.2 ± 56.27	55.8 ± 15.61	435.2 ± 85.36	59.2 ± 41.45	39.8 ± 9.88	397.3 ± 77.87
		LSD ₀₅	2.40	0.66	3.64	1.77	0.42	3.33
		Expenditure	-5.5	-1.8	-10.6	-11.8	-0.8	-18.7
	Very arid	Spring	74.5 ± 26.65	57.7 ± 16.17	459.9 ± 105.51	78.0 ± 50.79	40.8 ± 7.88	405.9 ± 85.73
		LSD ₀₅	1.36	0.83	5.40	2.60	0.40	4.39
		Autumn	86.8 ± 63.85	58.5 ± 19.32	424.2 ± 94.15	66.3 ± 47.48	41.8 ± 9.29	383.2 ± 62.49
		LSD ₀₅	3.38	0.95	4.78	2.40	0.47	3.38
		Expenditure	+12.3	+0.8	-35.7	-11.7	+1.0	-22.7
Monoposev barley	1993–2022	Spring	91.6 ± 50.85	59.3 ± 24.21	421.6 ± 77.88	70.6 ± 31.47	40.5 ± 11.63	403.4 ± 72.69
		LSD ₀₅	2.13	1.01	3.27	1.32	0.49	3.05
		Autumn	68.8 ± 47.64	53.2 ± 13.76	414.2 ± 80.92	63.5 ± 47.90	38.5 ± 11.10	377.5 ± 65.84
		LSD ₀₅	2.06	0.59	3.50	2.07	0.48	2.85
		Expenditure	-22.8	-6.1	-7.4	-7.1	-2.0	-25.9
	Very arid	Spring	94.1 ± 52.13	62.5 ± 29.55	422.5 ± 70.91	72.8 ± 24.92	42.0 ± 13.66	395.6 ± 57.40
		LSD ₀₅	2.67	1.51	3.62	1.27	0.70	2.94
		Autumn	82.2 ± 55.44	53.7 ± 14.62	419.1 ± 78.41	76.2 ± 53.18	39.0 ± 12.33	378.2 ± 60.48
		LSD ₀₅	2.91	0.77	4.13	2.80	0.65	3.18
		Expenditure	-11.9	-8.8	-3.4	+3.4	-3.0	-17.40

В осенний период, после уборки культуры во влажные и средней влажности годы, содержание продуктивной влаги по вариантам ячменя одинаково и не имеет значительной разницы в метровом слое почвы. В очень засушливые годы растения ячменя испытывают температурный стресс, при этом усиливается потребление запасов продуктивной почвенной влаги глубинных слоев. К уборке ячменя в острозасушливые годы в метровом слое почвы увеличивается потребление почвенной влаги культурой в севообороте на 21,0 % (10,2 мм), при бессменном возделывании – на 31,8 % (15,4 мм). Большее потребление продуктивной влаги в монопосевах ячменя достигается за счет увеличения засоренности посевов, особенно многолетниками. В очень засушливые годы отмечается преимущество севооборотов над монопосевами ячменя в накоплении, сохранении и расходе продуктивной почвенной влаги с метрового слоя почвы (в весенний период – на 10,1 мм, осенью – на 5,3 мм).

В таблице 4 представлены данные по содержанию макроэлементов под монопосевами ячменя и при возделывании его в шестипольном севообороте на двух почвенных разностях в среднем за 1993–2022 и очень засушливые годы.

Систематическое внесение под культуры севооборота минеральных удобрений увеличивает их содержание в почве и обеспечивает пролонгиро-

ванное действие. Так, содержание калия на удобренном фоне в среднем за все годы исследований составило 445,8 ± 102,28 мг/кг, на фоне без удобрения – 416,0 ± 94,33 мг/кг почвы. Содержание фосфора за годы исследований также увеличивается по фону с применением минеральных удобрений.

Расход азота посевами ячменя в севообороте с применением минеральных удобрений в среднем за 30 лет исследований составил 5,5 мг/кг, в очень засушливые годы отмечается даже увеличение его к осени до 12,3 мг/кг. В монопосевах на удобренном фоне средний расход азота за 30 лет составил 22,8 мг/кг. В очень засушливые годы его потребление снижается до 11,9 мг/кг. При возделывании ярового ячменя в севообороте увеличивается потребление калия по двум фонам питания (на удобренном фоне – до 35,7 мг, на неудобренном – до 22,7 мг/кг) в очень засушливые годы. В очень засушливые годы в монопосевах ячменя отмечается меньшее потребление калия: до 3,4 мг на удобренном и до 17,4 мг/кг на неудобренном фоне. В среднем за 30 лет исследований на неудобренном фоне монопосевами ячменя используется до 25,9 мг/кг калия. В целом в засушливые годы отмечается большее потребление калия на двух фонах почвенного питания в вариантах возделывания ячменя в севооборотах и монокультуре.

Урожайность ячменя при возделывании в севооборотах и монокультуре на двух агрофонах в среднем за период 1993–2022 и очень засушливые годы, т/га

Показатели		Вариант севооборота, монопосева									
		В ₁ . С озимой рожью		В ₂ . С черным паром под твердую пшеницу		В ₃ . С занятым почвозащитным паром		В ₄ . С занятым сидеральным паром		В ₅ . Монопосев ячменя	
		A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
Средняя за 1993–2022 годы	Урожайность	1,48 ± 0,98	1,33 ± 0,78	1,66 ± 1,06	1,45 ± 0,87	1,53 ± 1,03	1,45 ± 0,96	1,61 ± 1,01	1,40 ± 0,82	1,38 ± 0,95	1,29 ± 0,85
	НСР ₀₅	–0,42	0,33	0,45	0,37	0,44	0,41	0,43	0,35	0,41	0,36
Средняя в очень засушливые годы	Урожайность	1,16 ± 0,91	1,06 ± 0,76	1,30 ± 0,99	1,17 ± 0,82	1,21 ± 0,96	1,13 ± 0,83	1,26 ± 0,93	1,17 ± 0,77	0,93 ± 0,79	0,91 ± 0,70
	НСР ₀₅	0,48	0,38	0,52	0,43	0,50	0,44	0,49	0,41	0,41	0,37
Разница		–0,32	–0,27	–0,36	–0,28	–0,32	–0,32	–0,35	–0,23	–0,45	–0,38

Примечание. А₁ – удобренный фон, А₂ – неудобренный, В_{1–5} – предшественник (севооборот, бессменный посев ячменя). Очень засушливые годы: 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2004, 2005, 2009–2012, 2014–2018, 2020, 2021.

Table 5
The yield of barley during cultivation in crop rotations and monoculture on two agrofields on average for the period 1993–2022 and very dry years, t/ha

Indicators		Crop rotation option, mono-seeding									
		B _r . With winter rye		B ₂ . With black fallow for durum wheat		B ₃ . With busy soil-protecting fallow		B ₄ . With a busy sideral fallow		B ₅ . Mono-seeding barley	
		A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
Average for 1993–2022	Yield	1.48 ± 0.98	1.33 ± 0.78	1.66 ± 1.06	1.45 ± 0.87	1.53 ± 1.03	1.45 ± 0.96	1.61 ± 1.01	1.40 ± 0.82	1.38 ± 0.95	1.29 ± 0.85
	LSD ₀₅	–0.42	0.33	0.45	0.37	0.44	0.41	0.43	0.35	0.41	0.36
Average in very dry years	Yield	1.16 ± 0.91	1.06 ± 0.76	1.30 ± 0.99	1.17 ± 0.82	1.21 ± 0.96	1.13 ± 0.83	1.26 ± 0.93	1.17 ± 0.77	0.93 ± 0.79	0.91 ± 0.70
	LSD ₀₅	0.48	0.38	0.52	0.43	0.50	0.44	0.49	0.41	0.41	0.37
Difference		–0.32	–0.32	–0.27	–0.36	–0.28	–0.32	–0.32	–0.35	–0.23	–0.45

Note. A₁ – fertilized background, A₂ – non-fertilized, B_{1–5} – predecessor (crop rotation, permanent sowing of barley). Very dry years: 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2004, 2005, 2009–2012, 2014–2018, 2020, 2021.

Ячмень положительно реагирует на внесение минеральных удобрений по всем вариантам опыта. Так, средняя урожайность ячменя за 30 лет исследований составила на обычном неудобренном фоне 1,29–1,45 т/га, при применении минеральных удобрений 1,38–1,66 т/га (таблица 5).

Наименьшую урожайность за годы исследований ячмень сформировал в варианте его моно-возделывания на двух фонах почвенного питания (1,38 т – на удобренном, 1,29 т/га – на неудобренном фоне).

В шестипольных севооборотах с черным и занятыми парами отмечается положительный эффект пролонгированного действия минеральных удобрений. Так, среднемноголетняя урожайность ячменя в севообороте с черным паром под твердую пшеницу при применении минеральных удобрений составила 1,66 ± 1,06 т, с почвозащитным занятым летним посевом суданской травы 1,53 ± 1,03 т, с сидеральным 1,61 ± 1,01 т/га. Без применения минеральных удобрений получена урожайность ячменя соответ-

ственно 1,45 ± 0,87 т, 1,45 ± 0,96 т, 1,40 ± 0,82 т/га по второму, третьему и четвертому вариантам с севооборотом. Бессменное возделывание ячменя в течение 30 лет исследований привело к снижению среднемноголетней урожайности в сравнении с полученной в севооборотах. Прибавка урожайности ячменя от применения минеральных удобрений в среднем за период 1993–2022 гг. в севообороте с озимой рожью составила 0,15 т, с черным паром под твердую пшеницу – 0,21 т, с занятым суданкой почвозащитному пару – 0,08 т, с сидеральным паром – 0,21 т/га. В монопосеве получена прибавка 0,09 т/га. В острозасушливые годы (18 лет) прибавка урожайности ячменя при применении минеральных удобрений по тем же вариантам, что и в обычные годы, составила в севообороте с озимыми 0,10 т (т. е. снизилась на 0,05 т), с черным паром под твердую пшеницу – 0,13 т (снижение на 0,08 т), с занятым почвозащитным паром – 0,08 т, с сидеральным паром – 0,09 т/га (снижение на 0,12 т). При бессменном возделывании ячменя в острозасушли-

вые годы прибавка урожайности культуры от применения минеральных удобрений минимальная – 0,02 т/га (снижение относительно полученной за весь период исследований составило 0,07 т/га).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Важным достоинством ячменя является очень высокая отзывчивость на применение минеральных удобрений и их пролонгированное действие [22]. По данным Н. А. Максютова и др., во влажные годы прибавка урожайности ячменя при применении минеральных удобрений достигает 0,8 т зерна с 1 га [23]. При наступлении неблагоприятных условий для произрастания ячменя (при водном дефиците и повышенном температурном стрессе) происходит заметное снижение урожайности культуры. Так, в среднем за 18 очень засушливых лет ($ГТК < 0,4$) урожайность ячменя в севообороте с озимой рожью снизилась на удобренном фоне на 0,32 т, на неудобренном – на 0,27 т; с черным паром под твердую пшеницу – на 0,36 и 0,28 т; с занятым почвозащитным паром – на 0,32 т (на двух фонах питания); с сидеральным – на 0,35 и 0,23 т. Наибольшему влиянию засухи подвергались монопосевы ячменя, урожайность которого снизилась на фоне удобрения на 0,45 т, без удобрения – на 0,38 т/га.

В условиях Южного Урала за последние 30 лет (1993–2022) произошло потепление вегетационного периода на $0,9 \pm 0,6$ °С относительно нормы (19,1 °С). В годы с сильной засушливостью ($ГТК < 0,4$) температура воздуха за вегетационный

период в среднем превысила климатическую норму на $1,3 \pm 1,7$ °С. В среднем за все годы исследований (1993–2022) при возделывании ячменя не отмечается большой разницы в содержании продуктивной почвенной влаги по вариантам предшественников. В очень засушливые годы растения ячменя испытывают температурный стресс, при этом усиливается потребление запасов продуктивной влаги глубинных слоев почвы на 21,0 % в метровом слое в севообороте и на 31,8 % в монопоसेве. Систематическое внесение под культуры севооборотов минеральных удобрений увеличивает их содержание в почве и обеспечивает пролонгированное действие. При возделывании ячменя в севообороте в острозасушливые годы увеличивает потребление калия по двум фонам питания (на удобренном фоне – до 35,7 мг, на неудобренном – до 22,7 мг/кг), в монопосевах – соответственно до 3,4 и 17,4 мг/кг. За 18 очень засушливых лет (при повышенном температурном стрессе и водном дефиците) произошло заметное снижение урожайности ячменя по всем вариантам опыта. Особенно наибольшему влиянию засухи подвергались монопосевы ячменя, когда урожайность культуры на удобренном фоне снизилась на 0,45 т, без удобрения – на 0,38 т/га.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2022-2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022-0014).

Библиографический список

1. Прядун Ю. П., Шаталина Л. П. Результаты экологического испытания сортов ярового ячменя в южной лесостепи Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2022. № 05 (220). С. 12–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-12-20.
2. Оленин О. А., Зудилин С. Н. Элементы органической технологии возделывания ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрный вестник Урала. 2022. № 03 (218). С. 13–23. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-13-23.
3. Постников П. А. Воздействие предшественников и метеорологических условий на урожайность ярового ячменя // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 48–53.
4. Голова Т. Г., Ершова Л. А., Кузьменко С. А. Формирование продуктивности ярового ячменя в стрессовых условиях // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 2 (42). С. 98–105. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-98-105.
5. Kendal E. Effect of ecological factors on spring barley genotypes // *Hordeum vulgare: Production, Cultivation and Uses* / N. Eslem (ed.). New-York: Nova Science Publishers, 2021. Pp. 87–114.
6. 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. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34.
7. Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж., Пронович Л. В. Формирование качества зерна ячменя при современных технологиях в Поволжье // Аграрный научный журнал. 2021. № 6. С. 13–16. DOI: 10.28983/asj.y2021i6pp13-16.
8. Горянин О. И., Пронович Л. В., Джангабаев Б. Ж., Щербинина Е. В. Оптимизация технологических операций при возделывании ярового ячменя в Среднем Поволжье // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 8. С. 55–60. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_49.
9. Chen H., Deng A., Zhang W., Chen F. Long-term inorganic plus organic fertilization increases yield and yield stability of winter wheat // *The Crop Journal*. 2018. No. 6. Pp. 589–599.

10. Наумова Н. А. Особенности формирования зерновой продукции и ее элементов у сортов ярового ячменя в условиях Астраханской области // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 5. С. 2–34. DOI: 10.28983/asj.y2021i5pp29-34.
11. Горянин О. И., Мадякин Е. В., Пронович Л. В., Джангабаев Б. Ж., Яковлева Н. А. 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.
12. Гаевая Э. А. Элементы агротехнологии возделывания ярового ячменя в почвозащитных севооборотах // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2019. № 3 (75). С. 137–143.
13. Морозов Н. А., Хрипунов А. И., Общия Е. Н. Урожайность ярового ячменя по полупару в зерновых севооборотах с чистым и занятым паром в засушливой зоне // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 4. С. 27–32.
14. Гольдварг Б. А., Боктаев М. В., Филиппов Е. Г. Формирование урожая ярового ячменя в аридной зоне юга России // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 5 (59). С. 31–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-31-34.
15. Vijaya Bhaskar A. V., Weedon O., Finckh M. R. Exploring the differences between organic and conventional breeding in early vigour traits of winter wheat // *European Journal of Agronomy*. 2019. No. 6. Pp. 589–599.
16. Бабунов А. Б., Бадин А. Е. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество ярового ячменя Саншайн, а также вынос элементов питания // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 8. С. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10808.
17. Левакова О. В., Ерошенко Л. М., Ерошенко А. Н., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Болдырев М. А. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 3. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
18. Дьяченко Е. Н., Дятлова О. Г. Продуктивность ярового ячменя в плодосменном севообороте в условиях Прибайкалья // *Агрохимический вестник*. 2022. № 2. С. 43–47. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-2-008.
19. Голова Т. Г., Ершова Л. А., Чевердина Г. В. Влияние минерального питания на продуктивность сортов ячменя // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2023. № 1 (45). С. 109–120. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-109-120.
20. Скороходов В. Ю. Урожайность ярового ячменя в сопряжении с биологической активностью почвы и содержанием нитратного азота на чернозёмах южных в Оренбургском Предуралье // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 5 (85). С. 52–57. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-85-5-52-57.
21. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Изменение питательного режима темно-серой лесной почвы в посевах ячменя при различных системах основной обработки // *Земледелие*. 2019. № 5. С. 21–34. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10505.
22. Скороходов В. Ю. Урожайность ячменя в шестипольных севооборотах на чернозёмах южных степной зоны Южного Урала // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. № 5 (79). С. 93–97.
23. 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.

Об авторе:

Виталий Юрьевич Скороходов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, ORCID 0000-0003-4179-7784, AuthorID 761620; +7 906 845-87-45, skorohodov.vitali1975@mail.ru

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

References

1. Pryadun Yu. P., Shatalina L.P. Rezul'taty ekologicheskogo ispytaniya sortov yarovogo yachmenya v yuzhnoy lesostepi Yuzhnogo Urala [The results of ecological testing of spring barley varieties in the southern forest-steppe of the Southern Urals] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. No. 05 (220). Pp. 12–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-12-20. (In Russian.)
2. Olenin O. A., Zudilin S. N. Elementy organicheskoy tekhnologii vozdeliyvaniya yarovogo yachmenya v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Elements of organic technology for the cultivation of spring barley in the forest-steppe

of the Middle Volga region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 03 (218). Pp. 13–23. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-13-23. (In Russian.)

3. Postnikov P. A. Vozdeystvie predshestvennikov i meteorologicheskikh usloviy na urozhaynost' yarovogo yachmenya [The impact of predecessors and meteorological conditions on the yield of spring barley] // Bulletin of the KrasGAU. 2018 No. 4. Pp. 48–53. (In Russian.)

4. Golova T. G., Ershova L. A., Kuz'menko S. A. Formirovanie produktivnosti yarovogo yachmenya v stressovykh usloviyakh [Formation of the productivity of spring barley under stressful conditions] // Legumes and Groat Crops. 2022. No. 2 (42). Pp. 98–105. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-98-105. (In Russian.)

5. Kendal E. Effect of ecological factors on spring barley genotypes // *Hordeum vulgare: Production, Cultivation and Uses* / N. Eslem (ed.). New-York: Nova Science Publishers, 2021. Pp. 87–114.

6. 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 conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 12 (203). Pp. 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34. (In Russian.)

7. Goryanin O. I., Dzhangabaev B. Zh., Pronovich L. V. Formirovanie kachestva zerna yachmenya pri sovremennykh tekhnologiyakh v Povolzh'e [Formation of the quality of barley grain with modern technologies in the Volga region] // Agrarian scientific journal. 2021. No. 6. Pp. 13–16. DOI: 10.28983/asj.y2021i6pp13-16. (In Russian.)

8. Goryanin O. I., Pronovich L. V., Dzhangabaev B. Zh., Shcherbinina E. V. Optimizatsiya tekhnologicheskikh operatsiy pri vozdeystvii yarovogo yachmenya v Srednem Povolzh'e [Optimization of technological operations in the cultivation of spring barley in the Middle Volga region] // Achievements of Science and Technology in AIC. 2022. Vol. 36. No. 8. Pp. 55–60. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_49. (In Russian.)

9. Chen H., Deng A., Zhang W., Chen F. Long-term inorganic plus organic fertilization increases yield and yield stability of winter wheat // The Crop Journal. 2018. No. 6. Pp. 589–599.

10. Naumova N. A. Osobennosti formirovaniya zernovoy produktsii i ee elementov u sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh Astrakhanskoj oblasti [Features of the formation of grain products and its elements in varieties of spring barley in the conditions of the Astrakhan region] // Agrarian scientific journal. 2021. No. 5. Pp. 2–34. DOI: 10.28983/asj.y2021i5pp29-34. (In Russian.)

11. Goryanin O. I., Madyakin E. V., Pronovich L. V., Dzhangabaev B. Zh., Yakovleva N. A. Tekhnologii vozdeystvaniya yarovogo yachmenya v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Technologies of cultivation of spring barley in arid conditions of the Volga region] // Achievements of Science and Technology in AIC. 2020. Vol. 34. No. 9. Pp. 42–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908. (In Russian.)

12. Gaevaya E. A. Elementy agrotekhnologii vozdeystvaniya yarovogo yachmenya v pochvozashchitnykh sevooborotakh [Elements of agricultural technology for the cultivation of spring barley in soil-protective crop rotations] // Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture. 2019. No. 3 (75). Pp. 137–143. (In Russian.)

13. Morozov N. A., Khripunov A. I., Obshchiya E. N. Urozhaynost' yarovogo yachmenya po poluparu v zernovykh sevooborotakh s chistym i zanyatym parom v zasushlivoy zone [Yield of spring barley by half fallow in grain crop rotations with clean and occupied fallow in arid zone] // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2019. No. 4. Pp. 27–32. (In Russian.)

14. Gol'dvarg B. A., Boktaev M. V., Filippov E. G. Formirovanie urozhaya yarovogo yachmenya v aridnoy zone yuga Rossii [Formation of the spring barley crop in the arid zone of the south of Russia] // Grain Economy of Russia. 2018. No. 5 (59). Pp. 31–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-31-34. (In Russian.)

15. Vijaya Bhaskar A. V., Weedon O., Finckh M. R. Exploring the differences between organic and conventional breeding in early vigour traits of winter wheat // European Journal of Agronomy. 2019. No. 6. Pp. 589–599.

16. Babunov A. B., Badin A. E. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo yarovogo yachmenya Sanshayn, a takzhe vynos elementov pitaniya [Influence of mineral fertilizers on the yield and quality of Sunshine spring barley, as well as the removal of nutrients] // Achievements of Science and Technology in AIC. 2018. Vol. 32. No. 8. Pp. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10808. (In Russian.)

17. Levakova O. V., Eroshenko L. M., Eroshenko A. N., Romahin M. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Boldyrev M. A. Otsenka zernovoy produktivnosti i adaptivnosti otechestvennykh i zarubezhnykh sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh Nechernozemnoy zony RF [Evaluation of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the conditions of the Nonchernozem zone of the Russian Federation] // Agrarian scientific journal. 2021. No. 3. Pp. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33. (In Russian.)

18. D'yachenko E. N., Dyatlova O. G. Produktivnost' yarovogo yachmenya v plodosmennom sevooborote v usloviyakh Pribaykal'ya [Productivity of spring barley in crop rotation in the conditions of the Baikal region] // Agrochemical Herald. 2022. No. 2. Pp. 43–47. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-2-008. (In Russian.)

19. Golova T. G., Ershova L. A., Cheverdina G. V. Vliyanie mineral'nogo pitaniya na produktivnost' sortov yachmenya [Influence of mineral nutrition on the productivity of barley varieties] // Legumes and Groat Crops. 2023. No. 1 (45). Pp. 109–120. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-109-120. (In Russian.)
20. Skorokhodov V. Yu. Urozhaynost' yarovogo yachmenya v sopryazhenii s biologicheskoy aktivnost'yu pochvy i sodержaniem nitratnogo azota na chernozyomakh yuzhnykh v Orenburgskom Predural'e [The yield of spring barley in conjunction with the biological activity of the soil and the content of nitrate nitrogen on southern chernozems in the Orenburg Cis-Urals] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 5 (85). Pp. 52–57. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-85-5-52-57. (In Russian.)
21. Perfil'ev N. V., V'yushina O. A. Izmenenie pitatel'nogo rezhima temno-seroy lesnoy pochvy v posevakh yachmenya pri razlichnykh sistemakh osnovnoy obrabotki [Changes in the nutritional regime of dark gray forest soil in barley crops under various systems of basic cultivation] // Agriculture. 2019. No. 5. Pp. 21–34. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10505. (In Russian.)
22. Skorokhodov V. Yu. Urozhaynost' yachmenya v shestipol'nykh sevooborotakh na chernozyomakh yuzhnykh stepnoy zony Yuzhnogo Urala [Barley yield in six-field crop rotations on chernozems of the southern steppe zone of the Southern Urals] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 5 (79). Pp. 93–97. (In Russian.)
23. Goryanin O. I., Madyakin E. V., Pronovich L. V. Technologies for cultivating spring barley in the arid conditions of the Volga region [Technologies of cultivation of spring barley in arid conditions of the Volga region] // Achievements of science and technology of agriculture. 2020. Vol. 34. No. 8. Pp. 42–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908. (In Russian.)

Author's information:

Vitaliy Yu. Skorokhodov¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the department of agriculture and resource-saving technologies, ORCID 0000-0003-4179-7784, AuthorID 761620; +7 906 845-87-45, skorokhodov.vitali1975@mail.ru

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia