

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 225-238.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 3. P. 225-238.

Научная статья
УДК 633.16:631.432.4(470.56)
doi: 10.33284/2658-3135-106-3-225

**Влияние погодных условий и внекорневой подкормки на водопотребление
и продуктивность ячменя в степной зоне Оренбуржья**

Александр Алексеевич Неверов¹, Антонина Сергеевна Верещагина², Григорий Иванович Бельков³

¹²³Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹nevalex2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5467-2476>

²antvereshagina@yandex.ru

³orniish@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1122-9228>

Аннотация. В условиях центральной зоны степного Оренбуржья в 2019-2022 гг. изучали влияние погодных условий и двойной внекорневой подкормки посевов гуминовым препаратом Борогум-М комплексный на водопотребление посевов в разные периоды роста и продуктивность растений ячменя сорта Т-12. Показано, что условия влагообеспеченности посевов, в том числе весенние влагозапасы, подвержены значительным колебаниям как по годам, так и в течение вегетационного периода. Установлена сильная положительная корреляционная связь ($R=0,96$) урожайности зерна ячменя с начальными запасами продуктивной влаги в полтораметровом слое почвы. Улучшение влагообеспеченности посевов ячменя приводит к росту суточного расхода воды от 2,1 до 3,7 мм, при этом урожайность зерна возрастает от 0,35 до 4,4 т га⁻¹. Связь между суточным расходом воды и урожайностью зерна значительна ($R=0,98$). Водопотребление на формирование урожая ячменя зависит от погодных условий и внекорневой подкормки комплексным препаратом Борогум-М. В среднем за четыре года расход воды на формирование 1 т зерна составил 2404 м³ на контроле и 1890 м³ – в варианте с внекорневой обработкой посевов. В варианте с Борогумом-М ресурсы воды расходовались более экономно – на 513,8 м³ т⁻¹ зерна меньше относительно контроля. Роль двойной внекорневой подкормки гуминовым комплексным препаратом Борогум-М значительно возрастает по мере ухудшения влагообеспеченности посевов ячменя.

Ключевые слова: ячмень, внекорневая подкормка, коэффициент водопотребления, транспирация, урожайность зерна, влагообеспеченность, Борогум-М

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2021-2030 гг. ФГБНУ БСТ РАН (FNWZ-2022-0014).

Для цитирования: Неверов А.А., Верещагина А.С., Бельков Г.И. Влияние погодных условий и внекорневой подкормки на водопотребление и продуктивность ячменя в степной зоне Оренбуржья // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 225-238. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-225>

Original article

**Influence of weather conditions and foliar feeding on water consumption
and productivity of barley in the steppe zone of Orenburg region**

Alexander A Neverov¹, Antonina S Vereshchagina², Grigory I Belkov

¹²³Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹nevalex2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5467-2476>

²antvereshagina@yandex.ru

³orniish@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1122-9228>

Abstract. The influence of weather conditions and double foliar fertilization of crops with the Borogum - M complex humic preparation on the water consumption of crops in different growth periods and the productivity of T-12 variety barley plants were studied in the conditions of the central zone of the

steppe Orenburg region in 2019-2022. It is shown that the conditions of moisture supply of crops, including spring moisture reserves, are subject to significant fluctuations both over the years and during the growing season. A strong positive relationship has been established ($R=0.96$) between the barley grain yield and the initial reserves of productive moisture in a one and a half meter layer of soil. Improvement of moisture availability of barley crops leads to an increase in daily water consumption from 2.1 to 3.7 mm, while grain yield increases from 0.35 to 4.4 t per ha. The relationship between daily water consumption and yield is significant ($R=0.98$). Water consumption for the formation of the barley crop depends on weather conditions and foliar feeding with the Borogum-M complex preparation. Over the 4th year, average water consumption for the formation of 1 ton of grain was 2404 m³ at the control and 1890 m³ in the variant with foliar treatment of crops. Water resources were spent more economically in the Borogum– M variant - 513.8 m³ per t of grain less relative to the control. The role of double foliar feeding with Borogum-M humic complex preparation increases significantly as the moisture supply of barley crops deteriorates.

Keywords: barley, foliar feeding, water consumption coefficient, transpiration, grain yield, moisture availability, Borogum-M

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2030 FSBRI FRC BST RAS (FNWZ-2022-0014).

For citation: Neverov AA, Vereshchagina AS, Belkov GI. Influence of weather conditions and foliar feeding on water consumption and productivity of barley in the steppe zone of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):225-238. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-225>

Введение.

По оценкам (FAO et al., 2022), в 2020 году в мире голодали от 720 до 811 миллионов человек и более 2 миллиардов человек не имели доступа к достаточному питанию; оба показателя указывают на значительный рост по сравнению с данными предыдущих обследований, и эта ситуация усугубляется увеличением численности населения мира до 8 миллиардов человек в 2022 году. Таким образом, важно внедрять современные методы ведения сельского хозяйства, способные удовлетворить этот спрос на продовольствие, используя более устойчивые подходы, которые уменьшают деградацию почвы и загрязнение воды (Cristofano F et al., 2021).

В Оренбургской области в последние три десятилетия наметилась устойчивая тенденция к аридизации степных районов, что ставит новые задачи перед земледельцами и учёными по поиску и внедрению агротехнических мероприятий, смягчающих последствия от экологического стресса (Неверов А.А., 2023).

В последнее время было разработано множество новых стратегий для улучшения продуктивности растений в условиях экологического стресса. Многочисленные исследования показали, что экзогенное применение различных регуляторов роста, таких как гормоны, антагонисты гормонов, полиамины, питательные вещества, антиоксиданты и другие, повышает засухоустойчивость сельскохозяйственных культур (Latif M et al., 2016; Vaidya AS et al., 2019; Hassan N et al., 2020; Huan L et al., 2020; Veroneze-Júnior V et al., 2020).

Согласно этим исследованиям, применение подобных соединений может улучшить такие параметры, как морфология, способность к фотосинтезу, относительное содержание воды (RWC) и характеристики газообмена. Кроме того, применение этих соединений также способствует накоплению осмолитов и антиоксидантов для поддержания осмотического баланса и поглощения активных форм кислорода (АФК), тем самым обеспечивая стабильность мембранных структур, ферментов и других макромолекул в условиях засушливого стресса. Такая грунтовочная обработка является очень многообещающей стратегией в современном управлении растениеводством, поскольку она позволяет растениям быстрее и сильнее реагировать на абиотический стресс (Wang X et al., 2017).

Кроме того, Hussain I с коллегами (2020) предположили, что применение ацетилсалициловой кислоты (производное SA) также улучшало засухоустойчивость нута за счёт активации системы антиоксидантной защиты.

Было показано (Таууаб N et al., 2020), что совместное применение микроэлементов и салициловой кислоты способствует накоплению эндогенной АБК и веществ, регулирующих осмотическую активность, и улучшает активность антиоксидантных ферментов, тем самым повышая засухоустойчивость кукурузы.

Серия исследований показала, что применение экзогенного мелатонина путём внекорневого опрыскивания, корневого орошения или предварительной обработки семян эффективно повышает засухоустойчивость кукурузы (Ding F et al., 2018), сои (Ahmad Sh et al., 2019), хлопка (Huang B et al., 2019) за счёт усиления их роста, фотосинтеза и антиоксидантной активности (Zhang M et al., 2020; Hu W et al., 2020). Физиологическая и молекулярная активность мелатонина в растениях указывает на то, что он является важной молекулой для стимуляции полевых культур, особенно в условиях абиотического стресса.

Кроме того, некоторые исследования показали, что экзогенное применение селена (Se), кремния (Si) и цинка (Zn) также может эффективно повысить засухоустойчивость растений. Например, экзогенный Se применялся на пшенице путём замачивания семян, внесения удобрений или внекорневого опрыскивания, тем самым поддерживая рост пшеницы в условиях засушливого стресса и усиливая выработку осмолитов и антиоксидантных ферментов. Bocchini M с соавторами (2018) обнаружили, что обработка Se активирует несколько генов, которые принадлежат к особым классам и участвуют в формировании устойчивости к абиотическому стрессу; к ним относятся фотосинтеза, необходимая для поддержания содержания каротиноидов в листьях, сорбитолдегидрогеназа, активность которой регулирует уровень важных осмолитов во время засушливого стресса.

Вышеупомянутые исследования показывают, что экзогенное внесение питательных веществ повышает засухоустойчивость сельскохозяйственных культур не только за счёт стимулирования метаболизма питательных веществ и роста растений, но и за счёт регулирования различных физиологических процессов в условиях засушливого стресса.

Установлено положительное влияние гуматов на растения при внекорневом внесении. Внекорневое внесение удобрений – метод, широко используемый в качестве альтернативы внесению удобрений в почву и способствующий, таким образом, получению экологически чистой продукции. Эта практика использовалась для внесения макро- и микроэлементов, а также биостимуляторов и гуминовых удобрений, способствующих усвоению и использованию питательных веществ растениями и повышающих урожайность и качество сельскохозяйственных культур (Tejada M et al., 2018). Использование обогащённых экстрактов компоста является экономически важным средством внекорневого опрыскивания, особенно когда нарушается усвоение питательных веществ почвой, например, в известковых условиях из-за выпадения питательных веществ в осадок. Однако этот тип удобрения ограничен определёнными климатическими условиями, поскольку высокие температуры, осадки и ветер снижают его эффективность. Аналогичным образом высокие нормы внесения могут повредить растения, например, в результате ожогов листьев из-за концентрации солей после испарения воды (Jindo K et al., 2020).

Гуматы обладают способностью защищать растения от абиотического и биотического стрессов, а также стимулировать их рост и развитие, способствуя повышению урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства (Perminova IV et al., 2019). Использование гуминовых веществ в удобрениях и биостимуляторах растений в последние годы возросло и является частью фитотехники и текущего управления возделыванием различных культур в различных частях мира (Olk DC et al., 2018).

В связи с глобальным потеплением в последние три десятилетия во многих регионах мира, в том числе и в Оренбургской области, значительно усилился дефицит почвенной влаги из-за недостаточного атмосферного увлажнения. Показателен пример Австралии, где преобладает богарное земледелие в условиях, когда испаряемость значительно превышает годовое количество осадков. Транспирация сельскохозяйственных культур обычно рассчитывается на основе разницы между эвапотранспирацией и испарением голой почвы, однако, в то время как первое легко изме-

ритель, второе получить сложно. Для пшеницы проведено 19 исследований, в которых измерялись критические параметры водного баланса испарения голой почвы и транспирации сельскохозяйственных культур. Согласно исследованиям, проведённым на пшенице, в среднем 38 % эвапотранспирации было потеряно из-за прямого испарения почвой, что указывает на существенный резерв почвенной влаги для значительного повышения продуктивности полевых культур в богарных условиях (Unkovich M et al., 2018).

Основные пути повышения эффективности растениеводства в условиях недостаточного атмосферного увлажнения – это максимальное накопление в почве и рациональное использование осадков холодного (осенне-зимне-весеннего) периода, сокращение испарения влаги с поверхности почвы в период активной вегетации растений, регулирование минерального питания растений путём применения гуминовых препаратов, содержащих комплекс макро- и микроэлементов, необходимых растениям.

В условиях сухостепной зоны Оренбургской области на слабощелочных почвах с $\text{pH} \geq 7,0$ многие критически важные микроэлементы (Fe, Zn, Mn, Mo, Co) становятся труднодоступными из почвы для сельскохозяйственных культур, и единственным способом улучшить их поступление в растения становится внекорневая подкормка.

Цель исследования.

Проанализировать и показать на примере ячменя влияние погодных условий и двойной внекорневой подкормки посевов гуминовым препаратом Борогум-М комплексный на водопотребление посевов в разные периоды роста и на продуктивность растений.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Сорт ячменя Т-12, районированный по 9 региону, в том числе и в Оренбургской области.

Схема эксперимента. Исследования проводили в 2019-2022 гг. путём закладки полевых опытов на поле ФНЦ БСТ РАН рядом с п. Нежинка Оренбургского района Оренбургской области.

Предшественник – пшеница яровая. Агротехника: осенью – вспашка зяби на 23-25 см, весной – покровное боронование в 2 следа тяжёлыми зубowymi боровами, предпосевная культивация с боронованием на 6-8 см, посев ячменя – дисковой сеялкой СЗ-3,6 с последующим прикатыванием. Норма высева – 4 млн всхожих семян га^{-1} . Площадь делянки – 100 м^2 , размещение – систематическое, число повторений равно четырём. В фазы кушения и перед колошением проводили внекорневую подкормку регулятором роста Борогум-М комплексный (НВП «БашИнком», Россия) из расчёта 1 л га^{-1} , растворённым в 250 л воды.

Фенологические наблюдения проводили по всем повторениям опыта, отмечали фазы появления всходов, формирования у растений третьего листа, колошения, молочной, восковой и полной спелости зерна.

Наблюдение за динамикой нарастания биомассы проводили по фазам развития растений с 4-х площадок на каждой делянке размером по 0,25 м^2 в двух несмежных повторениях.

Запасы продуктивной влаги определяли в полутораметровом слое почвы с интервалом через 10 см по фазам развития растений: полные всходы, колошение и полная спелость зерна.

Атмосферные осадки учитывали с помощью осадкомера, установленного непосредственно на участке с посевами ячменя.

Урожай зерна учитывали прямым комбайнированием в фазу полной спелости зерна.

Оборудование и технические средства. Трактор МТЗ 1221 (Минский тракторный завод, Белоруссия), комбайн «Сампо» (Ростовсельмаш, Россия), дисковая сеялка СЗ-3,6 (Россия).

Статистическая обработка. Полученные экспериментальные данные обрабатывались методом статистического анализа с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» и применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 6.0» («Stat Soft Inc.», США).

Результаты исследований.

В период проведения исследований условия влагообеспеченности посевов ячменя существенно различались по годам, особенно в первой половине вегетации – от момента появления всходов до колошения (табл. 1).

Таблица 1. Расчёт влагообеспеченности посевов ячменя по межфазным периодам в 2019-2022 гг.
Table 1. Calculation of moisture availability of barley crops by interphase periods in 2019-2022

Годы / Years	Продолжительность периода, суток / Duration of the period, days	Запасы продуктивной влаги в начале периода, мм / Reserves of productive moisture at the beginning of the period, mm	Осадки за период, мм / Precipitation for the period, mm	Запасы продуктивной влаги в конце периода, мм / Reserves of productive moisture at the end of the period, mm	Расход воды за период, мм / Water consumption for the period, mm	Расход воды за сутки, мм / Water consumption per day, mm	Сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мб / The sum of the average daily deficits of air humidity, mb	Потребность посевов в воде по А.М. Алпатёву, мм / The need of crops in water according to A.M. Alpatiev, mm	Влагообеспеченность посевов, % / Moisture availability of crops, %
Всходы-колошение / Shoots-earring									
2019	42	132,0	16,0	53,0	95,0	2,2	647,0	317,0	30,0
2020	39	191,4	19,5	70,2	140,7	3,6	481,0	236,0	59,6
2021	34	125,0	11,5	62,5	74,0	2,2	678,0	332,0	22,2
2022	37	236,8	44,5	104,2	177,1	4,8	370,0	181,3	98,0
среднее /average	38	171,3	22,9	72,5	121,7	3,2	544,0	266,6	52,5
Колошение-полная спелость зерна / Earing-full ripeness of grain									
2019	42	53,0	96,0	50,0	99,0	2,4	615,0	301,4	32,8
2020	37	70,2	38,0	49,5	58,7	1,6	932,0	457,0	12,8
2021	36	62,5	42,5	30,9	74,1	2,1	753,0	369,0	20,1
2022	37	104,2	40,0	51,0	93,2	2,5	508,0	249,0	37,4
среднее /average	38	72,5	54,1	45,4	81,3	2,2	702,0	344,1	25,8
Всходы-полная спелость зерна / Shoots-full ripeness of grain									
2019	84	132,0	112,0	50,0	194,0	2,3	1262,0	618,4	31,4
2020	76	191,4	57,5	49,5	199,4	2,6	1413,0	693,0	28,8
2021	70	125,0	54,0	30,9	145,1	2,1	1431,0	701,0	21,1
2022	74	236,8	84,5	51,0	270,3	3,7	878,0	430,3	62,8
среднее /average	76	171,3	77,0	45,4	202,2	2,7	1246,0	610,7	36,0

В этот период влагообеспеченность посевов, рассчитанная по методу А.М. Алпатьева, варьировала от 22,2 % в 2021 году до 98 % – в 2022 при среднем значении за 4 года, равном 52,5 %.

Продолжительность межфазного периода «всходы–колошение» изменялась незначительно от 34 суток в 2021 году до 42 суток – в 2019 при средней продолжительности периода, равной 38 суткам.

По запасам начальной продуктивной влаги в полутораметровом слое почвы различия были наибольшими: от 125 мм в 2021 году до 236,8 мм – в 2022 при среднем значении 171,3 мм. Рекордные запасы продуктивной влаги в почве (236,8 мм) в 2022 году образовались в результате обильных осадков в количестве 129 мм (более 4-месячных норм) в мае, выпавших сразу же после посева – до появления всходов ячменя.

По сумме осадков в первой половине вегетации 2019, 2020 и 2021 годы были близки (от 11,5 до 19,5 мм), что характеризует недостаточное атмосферное увлажнение. Однако в 2020 году запасы продуктивной влаги (191,4 мм) были значительно выше относительно 2019 года (132 мм) и 2021 (125 мм). В 2022 году осадков было значительно больше – 44,5 мм. Таким образом, расход воды на эвапотранспирацию с учётом остаточной влаги в почве по годам составил: в 2019 г. – 95 мм, в 2020 г. – 140,7 мм, в 2021 г. – 74 мм и в 2022 г. – 177,1 мм. Среднесуточный расход воды на эвапотранспирацию варьировал от 2,2 мм в 2019 и 2021 гг. до 3,6 мм в 2020 г. и 4,8 мм – в 2022 году.

По сумме среднесуточных дефицитов влажности воздуха была рассчитана потребность растений в воде, которая составила от 181,3 до 332 мм при среднем значении параметра 266,6 мм га⁻¹.

Во второй половине вегетации (от колошения до полной спелости) в среднем прошло такое же время (38 суток), как и в первой половине вегетации. К этому времени запасы продуктивной влаги в почве значительно сократились (до 53 мм – в 2019 г. и 104,2 мм – в 2022 г.). Однако количество осадков в этот период существенно стало больше относительно раннего периода и варьировало от 38 мм в 2020 г. до 96 мм – в 2019 г. В результате среднесуточный расход воды снизился до 1,6-2,5 мм сутки⁻¹. Влагообеспеченность растений во втором периоде снизилась до 12,8-37,4 %.

Наибольший дефицит влажности воздуха в это время наблюдался в 2020 году (932 мб), что соответствовало 457 мм потребности растений в воде за этот период.

В целом продолжительность вегетации ячменя от появления всходов до полной спелости зерна составила 70-86 дней при среднем значении за 4 года в 76 дней. Осадков выпало за период вегетации от 54 мм в 2021 г. до 112 мм – в 2019 г. Потребность растений в воде варьировала от 430,3 мм га⁻¹ в 2022 г. до 701 мм га⁻¹ – в 2021 г. Влагообеспеченность растений варьировала от 21,1 % до 62,8 % при среднем значении в 36 % от потребности растений.

В первой половине вегетации растений прирост биомассы в абсолютно сухом веществе составил 1,7-4,8 т га⁻¹ на контроле и 1,9-5,6 т га⁻¹ – в варианте с обработкой Борогумом-М (табл. 2).

При этом затраты воды (эвапотранспирация) на 1 т сухой биомассы ячменя варьировали от 321,7 м³ в 2021 году до 562,8 м³ – в 2020 году при среднем значении 453,1 м³ на контроле, в варианте с Борогумом-М – от 308,3 до 586,3 м³ при среднем значении 427,7 м³.

Во второй половине вегетации прирост биомассы на контроле варьировал от 0 до 4,5 т га⁻¹, в варианте с Борогумом-М – от 0 до 4,0 т га⁻¹.

За весь вегетационный период прирост биомассы составил 2,3-9,3 т га⁻¹ на контроле и 2,4-9,6 т га⁻¹ – в варианте с обработкой Борогумом-М.

В среднем за 4 года эвапотранспирационный коэффициент на контроле составил 503,7 м³ т⁻¹, в варианте с обработкой – 469,1 м³ т⁻¹.

Основным критерием эффективности технологических решений в растениеводстве является урожайность основной продукции, в данном случае урожайность зерна ячменя (табл. 3).

Таблица 2. Водопотребление посевами ячменя в зависимости от погодных условий и внекорневой обработки гуминовым препаратом в межфазные периоды
Table 2. Water consumption of barley crops depending on weather conditions and foliar treatment with humic preparation in interphase periods

Годы / Years	Контроль/ Control		Обработка Борогумом-М / Borogum-M treatment	
	прирост биомассы в сухом веществе, тга ⁻¹ / Biomass growth in dry matter, t ha ⁻¹	коэффициент водопотребления, м ³ т ⁻¹ / Water consumption coefficient, m ³ t ⁻¹	прирост биомассы в сухом веществе, тга ⁻¹ / Biomass growth in dry matter, t ha ⁻¹	коэффициент водопотребления, м ³ т ⁻¹ / Water consumption coefficient, m ³ t ⁻¹
Всходы-колошение/ Shoots-earing				
2019	1,7	558,8	1,9	500,0
2020	2,5	562,8	2,4	586,3
2021	2,3	321,7	2,4	308,3
2022	4,8	369,0	5,6	316,3
среднее /average	2,8	453,1	3,1	427,7
Колошение-полная спелость зерна / Earing-full ripeness of grain				
2019	1,3	773,4	1,5	682,8
2020	2,1	282,1	2,5	234,8
2021	0	-	0	-
2022	4,5	209,4	4,0	233,0
среднее /average	1,9	421,6	2,0	383,5
Всходы-полная спелость зерна / Shoots-full ripeness of grain				
2019	3,0	646,7	3,4	570,6
2020	4,6	433,5	4,9	406,9
2021	2,3	643,9	2,4	617,1
2022	9,3	290,6	9,6	281,6
среднее /average	4,8	503,7	5,1	469,1

Таблица 3. Урожайность зерна и коэффициент водопотребления ячменя
Table 3. Grain yield and water consumption coefficient of barley

Годы / Years	Урожайность зерна, т га ⁻¹ / Grain yield, t ha ⁻¹				Коэффициент водопотребления, м ³ т ⁻¹ / Water consumption coefficient, m ³ t ⁻¹		
	контроль / Control	обработка Борогумом-М / Borogum-M treatment	отклонение от контроля / Deviation from control	НСР ₀₅ / LSD ₀₅	контроль / Control	обработка Борогумом-М / Borogum-M treatment	отклонение от контроля / Deviation from control
2019	0,72	0,81	0,09	0,05	2694,4	2395,1	-299,3
2020	0,96	1,05	0,09	0,05	2077,1	1899,0	-178,1
2021	0,35	0,55	0,20	0,10	4231,4	2692,7	-1538,7
2022	4,4	4,7	0,30	0,10	614,3	575,1	- 39,2
среднее / average	1,6	1,8	0,20	0,08	2404,3	1890,5	-513,8

Урожайность зерна в годы исследований варьировала на контроле от 0,35 т га⁻¹ до 4,4 т га⁻¹, в варианте с Борогумом-М – от 0,55 т га⁻¹ до 4,7 т га⁻¹. Двойная внекорневая обработка посевов комплексным росторегулирующим препаратом обеспечила достоверную и существенную прибавку урожая от 0,09 т га⁻¹ в 2019 и 2020 гг. до 0,3 т га⁻¹ – в 2022 году.

Расход воды на формирование 1 т зерна или коэффициент водопотребления на контроле варьировал от 614,3 до 4231,4 м³, в варианте с Борогумом-М – от 575,1 до 2692 м³. В среднем за годы исследований коэффициент водопотребления на контроле составил 2404,3 м³ т⁻¹, после обработки Борогумом-М – 1890,5 м³ т⁻¹, что сэкономило расход воды на формирование урожая зерна на 513,8 м³ т⁻¹.

Обсуждение полученных результатов.

Проведённые исследования в степной зоне Оренбургской области выявили высокую амплитуду колебаний погодных факторов, оказывающих решающее влияние на формирование урожая ячменя. К таким факторам, прежде всего, относятся весенние запасы продуктивной влаги в полутораметровом слое почвы с вариацией от 125 до 236 мм. На рисунке 1 показана сопряжённость урожайности зерна с запасами продуктивной влаги в почве.

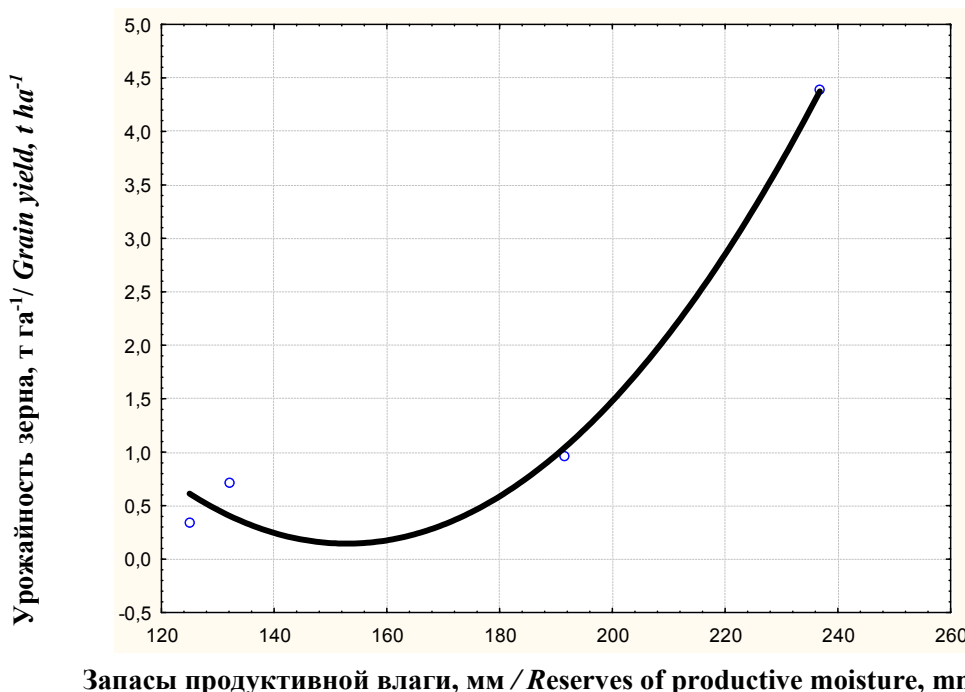


Рис. 1 – Влияние весенних запасов продуктивной влаги в полутораметровом слое почвы на урожайность зерна ячменя
Figure 1 – The effect of spring reserves of productive moisture in a one and a half meter layer of soil on the barley grain yield

Коэффициент парной корреляции (R) составил 0,96, что свидетельствует о высокой сопряжённости урожая ячменя и начальных почвенных влагозапасов. Поэтому в степных районах Оренбуржья все агротехнические мероприятия должны быть направлены, прежде всего, на максимальное накопление в почве осадков холодного периода – от осени до начала полевых работ весной и, соответственно, на рациональное использование водных ресурсов в период вегетации растений, предотвращение существенных потерь влаги с открытых участков почвы, не занятых растениями.

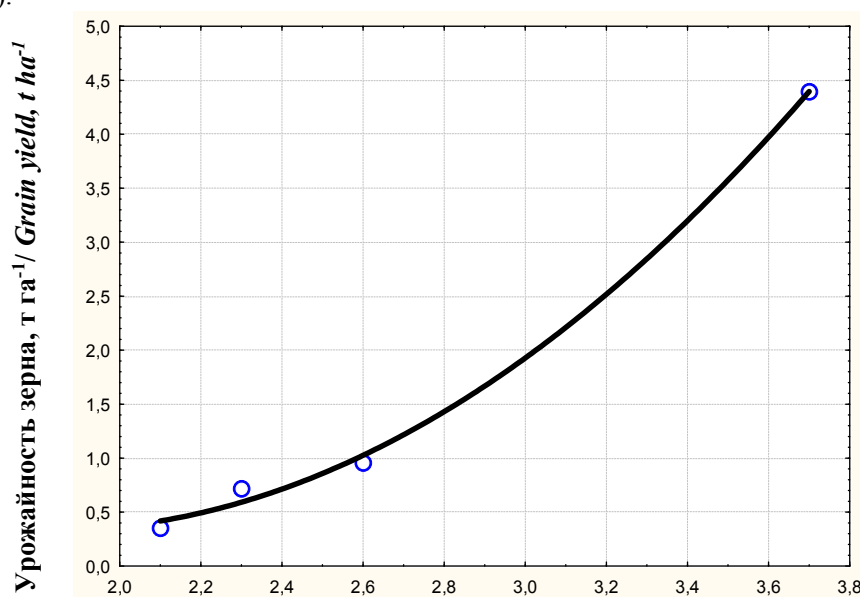
Чурзин В.Н. и Асирифи Амоако О. (2013) показали, что весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в пределах 100-115 мм не обеспечивали хорошего развития растений ярового ячменя в начальный и последующие периоды вегетации и стабильное формирование продуктивного стеблестоя. При весенних запасах влаги менее 100 мм величина урожая во многом определялась осадками весенне-летнего периода (май-июнь), что подтверждает наши выводы о значении хороших весенних влагозапасов для формирования урожая ячменя в степных районах Оренбуржья.

Коэффициенты водопотребления на формирование биомассы существенно зависели от погодных условий и за период вегетации варьировали от 296,7 до 646,7 м³ на 1 т абсолютно сухого вещества (табл. 2).

Более экономно расходовалась вода на формирование урожая в благоприятный 2022 год, влагообеспеченность посевов периода «всходы–колошение» достигла практически 100 %. В условиях засухи 2019 и 2021 годов биологические коэффициенты водопотребления возросли более чем в 2 раза.

По данным авторов (Полуянова О.Б. и др., 2011), в Алтайском крае биологические коэффициенты водопотребления в зависимости от погодных условий и агротехники варьировали от 277 до 495 м³ на 1 т сухой биомассы. Наименьший расход воды на единицу продукции, на 19-20 % меньше относительно контроля, показали варианты с двойной внекорневой подкормкой посевов ячменя. В наших исследованиях коэффициент водопотребления также снизился до 281-617 м³ в варианте с двойной обработкой посевов препаратом Борогум-М.

Величина суточных расходов воды с поверхности посевов у авторов (Полуянова О.Б. и др., 2011) составила 2,6-2,7 мм, в наших исследованиях – 2,1-3,7 мм при среднем значении 2,7 мм. Нами обнаружена тесная сопряжённость урожайности зерна и суточного расхода воды за вегетацию (рис.2).



Суточный расход воды за вегетацию, мм / *Daily water consumption during the growing, mm*

Рис. 2 – Сопряжённость урожайности ячменя и суточного расхода воды за период вегетации
Figure 2 – Dependence of barley yield on daily water consumption during the growing season

Коэффициент парной корреляции данных параметров – высокий: $R=0,98$. Улучшение условий атмосферного увлажнения способствовало росту урожайности ячменя при увеличении расхода воды на транспирацию и испарение с открытых участков поверхности почвы.

Водопотребление на 1 т зерна значительно зависело от погодных условий и уровня агротехники. Наименьший коэффициент водопотребления отмечен в благоприятном по увлажнению 2022 году ($614 \text{ м}^3 \text{ т}^{-1}$), а наибольший – в острозасушливом 2021 году ($4231 \text{ м}^3 \text{ т}^{-1}$). В среднем за четыре года расход воды на формирование 1 т зерна составил 2404 м^3 на контроле и 1890 м^3 – в варианте с внекорневой обработкой посевов. В варианте с Борогумом-М ресурсы воды расходовались более экономно относительно контроля – на $513,8 \text{ м}^3 \text{ т}^{-1}$ зерна меньше. По данным авторов (Полуянова О.Б. и др., 2011), в условиях Алтайского края средний расход влаги на формирование 1 тонны зерна ячменя составил 2861 м^3 , в условиях Казахстана (Кежембаева Ж.К. и Умбетов А. К., 2019) – 2590 м^3 , а при повышении уровня агротехники – 1700 м^3 .

В зависимости от погодных условий наблюдалась тенденция снижения расхода влаги на единицу продукции в варианте с применением Борогума-М по мере ухудшения влагообеспеченности посевов ячменя. В наиболее благоприятных условиях 2022 года в варианте с внекорневой подкормкой расход воды уменьшился в сравнении с контролем на $39,2 \text{ м}^3 \text{ т}^{-1}$ зерна, а по мере ухудшения влагообеспеченности – на $178,1 \text{ м}^3$ (в 2020 году), на $299,3 \text{ м}^3$ (в 2019 году) и на $1538,7 \text{ м}^3$ (в самый неблагоприятный 2021 год).

Таким образом, роль двойной внекорневой подкормки гуминовым комплексным препаратом Борогум-М значительно возрастала в условиях недостаточной влагообеспеченности посевов ячменя.

Заключение.

В степной зоне Оренбуржья условия влагообеспеченности посевов сельскохозяйственных культур, в том числе весенние влагозапасы, подвержены значительным колебаниям как по годам, так и в течение вегетационного периода. Глобальное потепление на планете приводит к усилению засушливости степных районов Оренбургской области в период активной вегетации растений.

В полевых опытах (2019-2022 гг.) нами установлена сильная положительная корреляция ($R=0,96$) урожайности зерна ячменя и начальных запасов продуктивной влаги в полутораметровом слое почвы. Поэтому в целях повышения эффективности растениеводства в условиях недостаточного атмосферного увлажнения необходимо предусмотреть мероприятия, направленные на максимальное накопление в почве и рациональное использование осадков холодного (осенне-зимне-весеннего) периода, сокращение испарения влаги с поверхности почвы в период активной вегетации растений.

Улучшение влагообеспеченности посевов ячменя приводит к росту суточного расхода воды от $2,1$ до $3,7 \text{ мм}$, при этом урожайность зерна возрастает от $0,35$ до $4,4 \text{ т га}^{-1}$. Сопряжённость между суточным расходом воды и урожайностью – положительная и тесная ($R=0,98$).

Водопотребление на формирование урожая ячменя сильно зависит от погодных условий и внекорневой подкормки комплексным препаратом Борогум-М. В среднем за четыре года расход воды на формирование 1 т зерна составил 2404 м^3 на контроле и 1890 м^3 в варианте с внекорневой обработкой посевов. В варианте с Борогумом-М ресурсы воды расходовались более экономно – на $513,8 \text{ м}^3 \text{ т}^{-1}$ зерна меньше относительно контроля.

Роль двойной внекорневой подкормки гуминовым комплексным препаратом Борогум-М значительно возрастает по мере ухудшения влагообеспеченности посевов ячменя.

Список источников

1. Кежембаева Ж.К., Умбетов А.К. Влагообеспеченность и коэффициент водопотребления зерновых культур на богаре в зависимости от различных способов обработки почвы и минерального питания // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3(77). С. 39-41. [Kezhembayeva ZK, Umbetov AK. Moisture supply and water consumption coefficient for grain crops on boharic lands, depending on different soil treatment methods and mineral nutrition. Izvestia Orenburg State University. 2019;3(77):39-41. (In Russ.)].
2. Неверов А.А. Телесвязи глобальных климатических факторов с урожайностью полевых культур в степной зоне Оренбуржья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского

комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 228-238. [Neverov AA. Telecommunications of global climate factors with the productivity of field crops in the steppe zone of the Orenburg region. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2023;1(69):228-238. (In Russ.)]. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-24

3. Полюянова О.Б., Терехов М.Б., Терехова А.В. Водопотребление посевов ярового ячменя при возделывании по экологически безопасной технологии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 7(81). С. 30-32. [Polujanova OB, Terehov MB, Terehova AV. Vodopotreblenie posevov jarovogo jachmenja pri vzdelyvanii po jekologicheski bezopasnoj tehnologii. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2011;7(81):30-32. (In Russ.)].

4. Чурзин В.Н., Асирифи Амоако О. Водопотребление и его составляющие в посевах ярового ячменя в зависимости от предшественников и способов основной обработки почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1(29). С. 61-64. [Tchurzyn VN, Asirifi Amoako O. Water consumption and its components in spring barley crops depending on predecessors and of basic soil cultivation methods. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2013;1(29):61-64. (In Russ.)].

5. Ahmad Sh et al. Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. Peer J. 2019;7:e7793. doi: 10.7717/peerj.7793

6. Bocchini M et al. Soil selenium (Se) biofortification changes the physiological, biochemical and epigenetic responses to water stress in *Zea mays* L. by inducing a higher drought tolerance. Frontiers in Plant Science. 2018;9:389. doi: 10.3389/fpls.2018.00389

7. Cristofano F, El-Nakhel C, Rouphael Y. Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects on cucurbits, leafy greens, and nightshade vegetables species. Biomolecules. 2021;11(8):1103. doi: 10.3390/biom11081103

8. Ding F et al. Exogenous melatonin improves tolerance to water deficit by promoting cuticle formation in tomato plants. Molecules. 2018;23(7):1605. doi: 10.3390/molecules23071605

9. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The state of food security and nutrition in the world 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Italy, Rome: FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO; 2022:260 p. doi: 10.4060/cc0639ru

10. Hassan N, Ebeed H, and Aljaarany A. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2020;26(2):233-245. doi: 10.1007/s12298-019-00744-7

11. Hu W et al. Exogenous melatonin improves cotton (*Gossypiumhirsutum* L.) pollen fertility under drought by regulating carbohydrate metabolism in male tissues. Plant physiology and biochemistry. 2020;151:579-588. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.04.001

12. Huan L, Jin-Qiang W, Qing L. Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato with spraying exogenous hormones under drought stress. Journal of Plant Physiology. 2020;253:153265. doi: 10.1016/j.jplph.2020.153265

13. Huang B et al. Exogenous melatonin alleviates oxidative damages and protects photosystem II in maize seedlings under drought stress. Frontiers in Plant Science. 2019;10:677. doi: 10.3389/fpls.2019.00677

14. Hussain I et al. Foliar applied acetylsalicylic acid induced growth and key-biochemical changes in chickpea (*Cicerarietinum* L.) under drought stress. Dose-Response: An International Journal. 2020;18(4):1-13. doi: 10.1177/1559325820956801

15. Jindo K et al. From lab to field: Role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. Frontiers in Plant Science. 2020;11:426. doi: 10.3389/fpls.2020.00426

16. Latif M, Akram NA, Ashraf M. Regulation of some biochemical attributes in drought-stressed cauliflower (*Brassica oleracea* L.) by seed pre-treatment with ascorbic acid. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2016;91(2): 129-137. doi: 10.1080/14620316.2015.1117226

17. Olk DC et al. Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges – a review. *Journal of Soils and Sediments*. 2018;18(3):2881-2891. doi:10.1007/s11368-018-1916-4
18. Perminova IV et al. Humic substances and nature-like technologies: Learning from nature: understanding humic substances structures and interactions for the development of environmentally friendly, nature-like technologies. *Journal of Soils and Sediments*. 2019;19:2663-2664. doi: 10.1007/s11368-019-02330-6
19. Tayyab N et al. Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *PLoSOne*. 2020;15(5):e0232269. doi: 10.1371/journal.pone.0232269
20. Tejada M et al. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *European Journal of Agronomy*. 2018;96:54-59. doi: 10.1016/j.eja.2018.03.003
21. Unkovich M, Baldock J, Farquharson R. Field measurements of bare soil evaporation and crop transpiration, and transpiration efficiency, for rainfed grain crops in Australia – A review. *Agricultural Water Management*. 2018;205:72-80. doi: 10.1016/j.agwat.2018.04.016
22. Vaidya AS et al. Dynamic control of plant water use using designed ABA receptor agonists. *Science*. 2019;366(6464):eaaw8848. doi: 10.1126/science.aaw8848
23. Veroneze-Júnior V et al. Leaf application of chitosan and physiological evaluation of maize hybrids contrasting for drought tolerance under water restriction. *Brazilian Journal of Biology*. 2019;80(3):631-640. doi: 10.1590/1519-6984.218391
24. Wang X, Liu F, Jiang D. Priming: A promising strategy for crop production in response to future climate. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017;16(12):2709-2716. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61786-6
25. Zhang M et al. Exogenous melatonin reduces the inhibitory effect of osmotic stress on antioxidant properties and cell ultrastructure at germination stage of soybean. *PLoS One*. 2020;15(12):e0243537. doi: 10.1371/journal.pone.0243537

References

1. Kezhembayeva ZK, Umbetov AK. Moisture supply and water consumption coefficient for grain crops on boharic lands, depending on different soil treatment methods and mineral nutrition. *Izvestia Orenburg State University*. 2019;3(77):39-41.
2. Neverov A.A. Telecommunications of global climate factors with the productivity of field crops in the steppe zone of the Orenburg region. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;1(69):228-238. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-24
3. Polujanova OB, Terehov MB, Terehova AV. Water consumption of spring barley crops when cultivated using environmentally friendly technology. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011;7(81):30-32.
4. Tchurzín VN, Asirifi Amoako O. Water consumption and its components in spring barley crops depending on predecessors and of basic soil cultivation methods. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2013;1(29):61-64.
5. Ahmad Sh et al. Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. *Peer J*. 2019;7:e7793. doi: 10.7717/peerj.7793
6. Bocchini M et al. Soil selenium (Se) biofortification changes the physiological, biochemical and epigenetic responses to water stress in *Zea mays* L. by inducing a higher drought tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:389. doi: 10.3389/fpls.2018.00389
7. Cristofano F, El-Nakhel C, Rouphael Y. Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects on cucurbits, leafy greens, and nightshade vegetables species. *Biomolecules*. 2021;11(8):1103. doi: 10.3390/biom11081103

8. Ding F et al. Exogenous melatonin improves tolerance to water deficit by promoting cuticle formation in tomato plants. *Molecules*. 2018;23(7):1605. doi: 10.3390/molecules23071605
9. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The state of food security and nutrition in the world 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Italy, Rome: FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO; 2022:260 p. doi: 10.4060/cc0639ru
10. Hassan N, Ebeed H, and Aljaarany A. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2020;26(2):233-245. doi: 10.1007/s12298-019-00744-7
11. Hu W et al. Exogenous melatonin improves cotton (*Gossypiumhirsutum* L.) pollen fertility under drought by regulating carbohydrate metabolism in male tissues. *Plant physiology and biochemistry*. 2020;151:579-588. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.04.001
12. Huan L, Jin-Qiang W, Qing L. Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato with spraying exogenous hormones under drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 2020;253:153265. doi: 10.1016/j.jplph.2020.153265
13. Huang B et al. Exogenous melatonin alleviates oxidative damages and protects photosystem II in maize seedlings under drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:677. doi: 10.3389/fpls.2019.00677
14. Hussain I et al. Foliar applied acetylsalicylic acid induced growth and key-biochemical changes in chickpea (*Cicerarietinum* L.) under drought stress. *Dose-Response: An International Journal*. 2020;18(4):1-13. doi: 10.1177/1559325820956801
15. Jindo K et al. From lab to field: Role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:426. doi: 10.3389/fpls.2020.00426
16. Latif M, Akram NA, Ashraf M. Regulation of some biochemical attributes in drought-stressed cauliflower (*Brassica oleracea* L.) by seed pre-treatment with ascorbic acid. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2016;91(2): 129-137. doi: 10.1080/14620316.2015.1117226
17. Olk DC et al. Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges – a review. *Journal of Soils and Sediments*. 2018;18(3):2881-2891. doi:10.1007/s11368-018-1916-4
18. Perminova IV et al. Humic substances and nature-like technologies: Learning from nature: understanding humic substances structures and interactions for the development of environmentally friendly, nature-like technologies. *Journal of Soils and Sediments*. 2019;19:2663-2664. doi: 10.1007/s11368-019-02330-6
19. Tayyab N et al. Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *PLoSOne*. 2020;15(5):e0232269. doi: 10.1371/journal.pone.0232269
20. Tejada M et al. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *European Journal of Agronomy*. 2018;96:54-59. doi: 10.1016/j.eja.2018.03.003
21. Unkovich M, Baldock J, Farquharson R. Field measurements of bare soil evaporation and crop transpiration, and transpiration efficiency, for rainfed grain crops in Australia – A review. *Agricultural Water Management*. 2018;205:72-80. doi: 10.1016/j.agwat.2018.04.016
22. Vaidya AS et al. Dynamic control of plant water use using designed ABA receptor agonists. *Science*. 2019;366(6464):eaaw8848. doi: 10.1126/science.aaw8848
23. Veroneze-Júnior V et al. Leaf application of chitosan and physiological evaluation of maize hybrids contrasting for drought tolerance under water restriction. *Brazilian Journal of Biology*. 2019;80(3):631-640. doi: 10.1590/1519-6984.218391
24. Wang X, Liu F, Jiang D. Priming: A promising strategy for crop production in response to future climate. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017;16(12):2709-2716. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61786-6

25. Zhang M et al. Exogenous melatonin reduces the inhibitory effect of osmotic stress on antioxidant properties and cell ultrastructure at germination stage of soybean. PLoS One. 2020;15(12):e0243537. doi: 10.1371/journal.pone.0243537

Информация об авторах:

Александр Алексеевич Неверов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8-922-621-72-36.

Антонина Сергеевна Верещагина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел. 8-950-184-02-50.

Григорий Иванович Бельков, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, научный руководитель, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8(3532)30-83-44.

Information about the authors:

Alexander A Neverov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Technologies of Grain and Fodder Crops, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1, Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 8-922-621-72-36.

Antonina S Vereshchagina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Department of Technologies of Grain and Fodder Crops, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1, Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel. 8-950-184-02-50.

Grigory I Belkov, Dr. Sci (Agriculture), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave, 460051, Orenburg, tel.: 8(3532)30-83-44.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023; одобрена после рецензирования 04.07.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was submitted 13.06.2023; approved after reviewing 04.07.2023; accepted for publication 11.09.2023.