

Элементы структуры урожайности как способ выявления засухоустойчивости современных сортов овса*

Д. И. ЕРЁМИН, А. В. ЛЮБИМОВА, А. А. АХТЯМОВА

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, ул. Бурлаки, 2, пос. Московский, Тюменский р-н, Тюменская обл., 625501, Российская Федерация

Резюме. Исследование проводили с целью оценки влияния почвенной засухи на элементы структуры урожая овса для использования в селекции засухоустойчивых сортов. Работу выполняли в 2020–2022 гг. в крытой неотапливаемой теплице, исключающей попадание дождя внутрь. Объектом изучения были 40 сортов овса. Каждый сорт выращивали в контейнере объемом 24 л, которые наполняли серой лесной почвой. Схема опыта предусматривала два варианта моделирования почвенной засухи, которую создавали путем прекращения полива на 14 суток: при первых признаках кущения и цветения овса. Далее полив возобновляли. В качестве контроля использовали вариант с регулярным поливом на протяжении всей вегетации. Изучали элементы структуры урожайности – количество зерен в главной метелке; массу зерна в метелке; массу 1000 зерен; высоту растений. Высота овса под действием засухи в период кущения уменьшалась в среднем по коллекции на 39,4 %, варьируя по генотипам от 10,7 до 63,8 %. Засуха в кущение и цветение оказала негативное влияние на озерненность метелки – снижение по коллекции составило 14,7 и 16,7 % соответственно. Аналогичная реакция на стресс была выявлена по массе зерна с метелки, которая уменьшилась на 10...11 %. Масса 1000 зерен наиболее сильно уменьшалась при засухе в фазе цветения – в среднем по коллекции на 18,2 %. Наиболее перспективные генотипы для создания засухоустойчивых сортов овса – Лговский 82; Новосибирский 5; Привет; Улов; СИГ; Ассоль; Передовик. Они характеризовались минимальным снижением элементов урожая при засухе в фазы кущения и цветения: озерненность метелки – на 5...7 %; масса зерна в метелке – на 3...19 %; масса 1000 зерен – на 7...10 %. Высота выделенных сортов при засухе в кущение уменьшалась, относительно контроля, на 11...20 %.

Ключевые слова: овёс (*Avena sativa* L.), засухоустойчивость, почвенная и атмосферная засуха; стресс растений; структура урожая; генотип; модель сорта.

Сведения об авторах: Д. И. Ерёмин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: soil-tyumen@yandex.ru); А. В. Любимова, кандидат биологических наук, зав. лабораторией (e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru); А. А. Ахтямова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: gen.i72@mail.ru).

Для цитирования: Ерёмин Д. И., Любимова А. В., Ахтямова А. А. Элементы структуры урожайности как фактор выявления засухоустойчивости для подбора перспективных родительских форм // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 7. С. 50–57. doi: 10.53859/02352451_2023_37_7_50.

*работа выполнена по госзаданию № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Yield structure elements as a way to identify drought resistance of modern oat varieties

D. I. Eremin, A. V. Lyubimova, A. A. Akhtyamova

Research Agricultural Institute of the Northern Trans-Urals, branch of the Federal Research Center of Tyumen Scientific Center, Siberian branch, Russian Academy of Sciences, ul. Burlaki, 2, pos. Moskovskii, Tyumenskii r-n, Tyumenskaya obl., 625501, Russian Federation

Abstract. The study aimed to assess the effect of soil drought on the elements of the oat crop structure for use in the breeding of drought-resistant varieties. The work was carried out in 2020–2022 in a covered unheated greenhouse, excluding the ingress of rain inside. The object of study was 40 varieties of oats. Each variety was grown in a 24-litre container filled with grey forest soil. The experimental design included two options for modelling soil drought, which was created by stopping irrigation for 14 days: at the first signs of tillering and flowering of oats. Then watering was resumed. As a control, a variant with regular watering throughout the growing season was used. We studied the elements of the yield structure – the number of grains in the main head; the mass of grain in the head; thousand grain weight; plant height. The height of oats under the influence of drought during the tillering period decreased on average for the collection by 39.4%, varying by genotypes from 10.7 to 63.8%. Drought during tillering and flowering had a negative impact on the head grain content – the decrease in the collection was 14.7 and 16.7%, respectively. A similar reaction to stress was revealed by the mass of grain from the head, which decreased by 10–11%. The thousand grain weight decreased most strongly during drought in the flowering phase – on average for the collection by 18.2%. The most promising genotypes for creating drought-resistant oat varieties were Lgovsky 82; Novosibirsk 5; Privet; Ulov; SIG; Assol; Peredovik. They were characterised by a minimal decrease in yield elements during drought in the phases of tillering and flowering: grain content per a head – by 5–7%; the grain mass per head – by 3–19%; thousand grain weight – by 7–10%. The height of the selected varieties during drought to tillering decreased, relative to the control, by 11–20%.

Keywords: oats (*Avena sativa* L.), drought resistance, soil and air drought; plant stress; crop structure; genotype; variety model.

Author Details: D. I. Eremin, D. Sc. (Biol.), leading research fellow (e-mail: soil-tyumen@yandex.ru); A. V. Lyubimova, Cand. Sc. (Biol.), head of laboratory (e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru); A. A. Akhtyamova, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: gen.i72@mail.ru).

For citation: Eremin DI, Lyubimova AV, Akhtyamova AA [Yield structure elements as a way to identify drought resistance of modern oat varieties]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. 37;(7):50–7. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_7_50.

Яровой овес (*Avena sativa* L.) – одна из главных зерновых культур на планете, имеющая универсальное хозяйственное значение [1]. Его применяют как на кормовые (животноводство и птицеводство), так и на продовольственные цели (крупы, напитки, хлебобулочные изделия). В последние десятилетия овёс стали использовать в разработке программ функционального питания для оздоровления населения [2]. Лидеры по выращиванию овса

– Россия, Канада, Испания, Австралия и Польша. Традиционно считают, что овес – растение умеренных широт, где климат благоприятен для развития и формирования урожая. Но современные технологии выращивания и новые сорта позволили этой культуре появиться на всех континентах, где есть сельское хозяйство [3].

В России, в среднем по годам, овсом засевают более 2,7 млн га с валовым сбором 4,7 млн т в год.

В последние годы, с увеличением животноводства и птицеводства, проблема выращивания кормов стала более актуальной и ее решение возможно только путем увеличения посевных площадей и повышения урожайности культуры. Сорта овса российской селекции обладают широким диапазоном хозяйственно ценных признаков и генетическим разнообразием, так как в селекционный процесс часто вовлекают лучшие генотипы со всего мира [4, 5]. В ходе селекционного процесса наибольшее внимание обычно уделяют продуктивности сорта, содержанию протеина в зерне и продолжительности вегетационного периода. Широко распространено мнение, что овес принадлежит к группе типичных мезофитов. Поэтому его ареал возделывания ограничивается лесостепной зоной. В более сухих регионах овес сменяется на ячмень или пшеницу. Однако существуют виды овса, которые в ходе эволюции приспособились к засушливым условиям и успешно конкурируют с другими зерновыми культурами [6]. Поэтому необходимо в ходе селекционного процесса активно использовать не только межвидовое скрещивание, но и углубленно изучать существующие генотипы на засухоустойчивость [7]. Это даст возможность создать новые сорта и значительно увеличить продуктивность пашни в зоне рискованного земледелия, а также начать освоение новых территорий, где деятельность сельского хозяйства лимитирована неблагоприятным климатом [8].

Стресс от засухи влияет на ростовые процессы на любом этапе онтогенеза, а негативное воздействие на фотосинтез приводит к серьезным потерям урожая [9]. Для зерновых культур наиболее критичными считают две фенологические фазы – кущение и цветение. Когда засуха приходится на кущение, у растений снижается озерненность колоса или метелки и количество продуктивных стеблей [10]. Стресс от засухи, начавшейся в фазе цветения, приводит к нарушению транспортировки углеводов и азотистых веществ из листьев к зерну, которое становится мелким и щуплым [11]. Поэтому крайне важно в ходе селекционного процесса выявить генотипы, в наименьшей степени реагирующие на дефицит почвенной влаги [12].

Селекция на засухоустойчивость сельскохозяйственных культур, в том числе и овса – крайне сложная для селекционеров задача, так как отсутствует высокоэффективная методика ее оценки [13]. Также сложность создания засухоустойчивых сортов обусловлена проблемой проведения испытаний в регулируемых по увлажнению условий.

На сегодняшний день основной ареал возделывания овса в России приходится на гумидную зону, но идет активное продвижение этой культуры на юг и восток, где засушливые годы проявляются существенно чаще и сильнее [14]. Поэтому, выведение новых сортов – одна из ключевых целей программ селекции овса ведущих селекционных центров и научно-исследовательских институтов России и ряда других стран.

Цель исследования – оценка влияния почвенной засухи на элементы структуры урожая овса для использования лучших генотипов в селекции засухоустойчивых сортов.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в теплице без искусственного подогрева и освещения в течение вегетационных сезонов (май–август) в 2020–2022 гг. в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Северного Зауралья,

г. Тюмень Российской Федерации. Институт расположен лесостепной зоне Западной Сибири (57°09' N, 65°32' E). В качестве материала для исследования использовали 40 сортов овса посевного (*Avena sativa* L.) российской селекции (см. табл.). В перечень изучаемых сортов вошли: 25 среднеспелых сортов (63 %); 10 среднеранних (25 %); 3 раннеспелых и 2 среднепоздних.

Оценку степени засухоустойчивости сортов проводили путем сравнения средних значений по коллекции. Использование в качестве стандарта засухоустойчивости определенного сорта было нерационально по причине присутствия в коллекции разных групп спелости, разновидностей и потенциальной продуктивности. Кроме того, в научных кругах отсутствует единое мнение о стандарте засухоустойчивости для овса [15].

Семена для проведения опытов отбирали из коллекции, которую высевали в однородных почвенных и гидротермических условиях.

Перед посевом проводили стерилизацию семян путем обработки протравителем ЛАМАДОР от производителя BAYER с действующими веществами протиоконазол 250 г/л, тебуконазол 150 г/л. Норма расхода 0,2 л/т зерна. После обработки фунгицидом зерно просушивали и пересыпали в бумажные пакетики. Для опыта были взяты пластиковые контейнеры с размерами 40×30 и высотой 20 см. Общий объем контейнера составлял 24 литра. В контейнеры засыпали почвогрунт, взятый из пахотного слоя опытного поля института. По гранулометрическому составу характеризовался как среднесуглинистый иловато-пылеватый. По физико-химическим и агрохимическим показателям грунт соответствовал гумусовому горизонту серой лесной почвы. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) составляло 3,0...3,2 %; нитратного азота (ГОСТ 26951-86) – 4,5...4,7 мг/кг; подвижных форм фосфора и калия (ГОСТ Р 54650-2011) – 57...60 и 86...90 мг/кг почвы соответственно. Физико-химические свойства почвогрунта соответствовали старопашотным серым лесным почвам региона: обменная кислотность (ГОСТ Р 58594-2019) – 5,2...5,4, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-2020) – 18,0 ммоль/кг при степени насыщенности – 78 % от емкости катионного обмена.

В эксперименте применяли рекомендуемую для лесостепи Зауралья дозу минеральных удобрений $N_{60}P_{20}$ кг/га, рассчитанную на формирование урожайности зерна 3,0 т/га [16]. За 5 суток до посева каждый контейнер с почвогрунтом орошали водопроводной водой с pH 7,6, электропроводностью 20,00 мкСм/м, насыщая до 80 % полевой влагоемкости. За это время вода распределялась по пустотам почвогрунта и происходило уплотнение до равновесного состояния – 1,2 г/см³. В каждый контейнер высевали по 30 семян, распределяя их равномерно по площади. Глубина посева – 7 см. Через 5 суток считали количество всходов и проводили первое прореживание. Густота стояния на момент всходов составила 245...250 шт./м². Убирали недоразвитые и отстающие в росте растения [17]. Через 15 дней – проводили второе прореживание, оставляя в контейнере 25 хорошо развитых и фенотипически однородных растений [18, 19], что соответствовало густоте стояния овса 200 шт./м² к началу уборочных работ.

Исследования предусматривали следующие варианты опыта: отсутствие засухи (контроль); засуха

Таблица. Перечень сортов овса используемых в опыте

Сорт	Разновидность	Группа спелости	Год включения в Госреестр
Ассоль	<i>mutica</i>	раннеспелый	2018
Покровский 9	<i>aristata</i>	раннеспелый	1993
Таёжник	<i>aurea</i>	раннеспелый	1977
Аватар	<i>aurea</i>	среднеранний	2017
Виленский	<i>mutica</i>	среднеранний	2016
Десант	<i>aristata</i>	среднеранний	2018
Мегион	<i>mutica</i>	среднеранний	1993
Новосибирский 5	<i>mutica</i>	среднеранний	2013
Ровесник	<i>obtusata</i>	среднеранний	1995
Улов	<i>mutica</i>	среднеранний	1992
Уран	<i>aristata</i>	среднеранний	2014
Черниговский 83	<i>aurea</i>	среднеранний	1972
Чиж	<i>aurea</i>	среднеранний	2003
Баргузин	<i>mutica</i>	среднеспелый	1994
Борец	<i>mutica</i>	среднеспелый	2002
Буланый	<i>mutica</i>	среднеспелый	2021
Горизонт	<i>mutica</i>	среднеспелый	1979
Дедал	<i>mutica, aristata</i>	среднеспелый	2018
Егорыч	<i>obtusata</i>	среднеспелый	2011
ЗАЛП	<i>mutica, aurea</i>	среднеспелый	2015
Иртыш 13	<i>mutica</i>	среднеспелый	1991
Конкур	<i>mutica</i>	среднеспелый	2008
КРОСС	<i>mutica</i>	среднеспелый	2022
Льговский	<i>mutica</i>	среднеспелый	2021
Нарымский 943	<i>mutica</i>	среднеспелый	1963
Овен	<i>mutica</i>	среднеспелый	1997
Орион	<i>mutica</i>	среднеспелый	1996
Передовик	<i>brunnea</i>	среднеспелый	2022
Песец	<i>mutica, aristata</i>	среднеспелый	1968
Привет	<i>aurea</i>	среднеспелый	1999
СИГ	<i>aristata</i>	среднеспелый	2008
Талисман	<i>mutica</i>	среднеспелый	2002
Тигровый	<i>cinerea</i>	среднеспелый	2002
Тубинский	<i>mutica</i>	среднеспелый	2004
Факел	<i>aristata</i>	среднеспелый	2018
Фауст	<i>mutica</i>	среднеспелый	2002
Экспресс	<i>cinerea</i>	среднеспелый	1998
Юбильяр	<i>mutica</i>	среднеспелый	2006
Аргумент	<i>aristata</i>	среднепоздний	2005
Льговский 82	<i>mutica</i>	среднепоздний	1992

в фазе кущения; засуха в фазе цветения. До наступления выбранных фенологических фаз растения регулярно поливали 1 раз в неделю. При появлении первых признаков наступления кущения и цветения (единичные растения с начавшейся фенологической фазой) полив прекращали на 14 суток, добиваясь понижения влажности почвы до 30...35 % от наименьшей влагоемкости путем естественного испарения. Через две недели снимали предусмотренные в опыте показатели и возобновляли полив до полного созревания зерна. Опыт предусматривал трехкратное повторение во времени.

Высоту овса измеряли с помощью метровой линейки от поверхности почвы до верхней точки метелки у 10 растений, выбранных рандомизированным способом. В фазе полной спелости определяли массу отдельных частей (зерно, солома, листья) десяти случайно выбранных растений с последующим усреднением. Анализировали элементы структуры урожайности овса (количество и масса зерна в метелке, общая биомасса). Далее проводили обмолот всех метелок овса по каждому контейнеру отдельно. Зерно ссыпали в один пакет и взвешивали для определения урожайности. Завершающим анализом было определение массы 1000 зерен, которые отбирали случайным образом. Для оценки достоверности различий между вариантами и контролем применяли t-критерий Стьюдента для зависимых выборок. Расчеты про-

водили с использованием программного продукта Microsoft Excel 2007. Достоверность различий вариантов относительно контроля доказана при $\alpha=0,05$; $df=39$; $t_{\text{крит.}}=2,023$.

Каждый изучаемый показатель подвергали ранжированию с последующей квартильной группировкой. Вследствие неравномерности распределения снижения значений по каждому показателю, размер интервала был относительно небольшим – с варьированием в следующем квартильном диапазоне: $<25\pm 5\%$ (1К) и $>75\pm 5\%$ (3К). Значения, которые входили в диапазон от 25 до 75 % группировали и присваивали индекс 2К [20].

В ходе опыта был проведен полноценный анализ элементов структуры урожайности овса по всем вариантам. В результате статистической обработки данных были установлены 7 показателей, имеющих достоверные различия относительно контроля ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$ при $p \leq 0,05$) – они были представлены в статье в виде графического материала.

Результаты и обсуждение.

В ходе исследований было установлено, что высота изучаемых сортов варьировала от 69 до 119 см. К наиболее короткостебельным (69...75) отнесены сорта Песец, СИГ, Новосибирский 5, Льговский 82, Привет, Чиж, Иртыш 13. Их высота в условиях орошения была в диапазоне от 69 до 75 см. Также были выделены наиболее длинностебельные генотипы с высотой более 95 см – Егорыч, Юбильяр, Овен, КРОСС, Аватар, Нарымский 943, Улов, Ровесник и Льговский. Наибольшее негативное влияние оказывала засуха в начале вегетации овса. В среднем по генотипам уменьшение высоты растений составило 39,4 % с варьированием от 10,7 (сорт Привет) до 63,8 % (сорт Тигровый). Овес, испытывавший стресс от засухи в цветение, был всего на 3 % меньше контроля.

Для оценки влияния на высоту разных сортов засухи в период кущения, было проведено ранжирование коллекции и дальнейшая группировка сортов по степени снижения высоты растений. Установлено, что слабее всего на засуху реагировали сорта Привет, СИГ, Горизонт, Уран, Фауст, Новосибирский-5, Передовик, Дедал, КРОСС, Чиж, Покровский и Улов. Снижение высоты этих сортов в результате засухи составило 10,7...25,7 % (рис. 1а). Сорта Аргумент, Льговский, Песец, Таежник, Борец, Талисман, Буланый, Экспресс, Ровесник, Нарымский-943 и Тигровый при засухе в фазе кущения теряли 54,3...63,8 % от своей высоты.

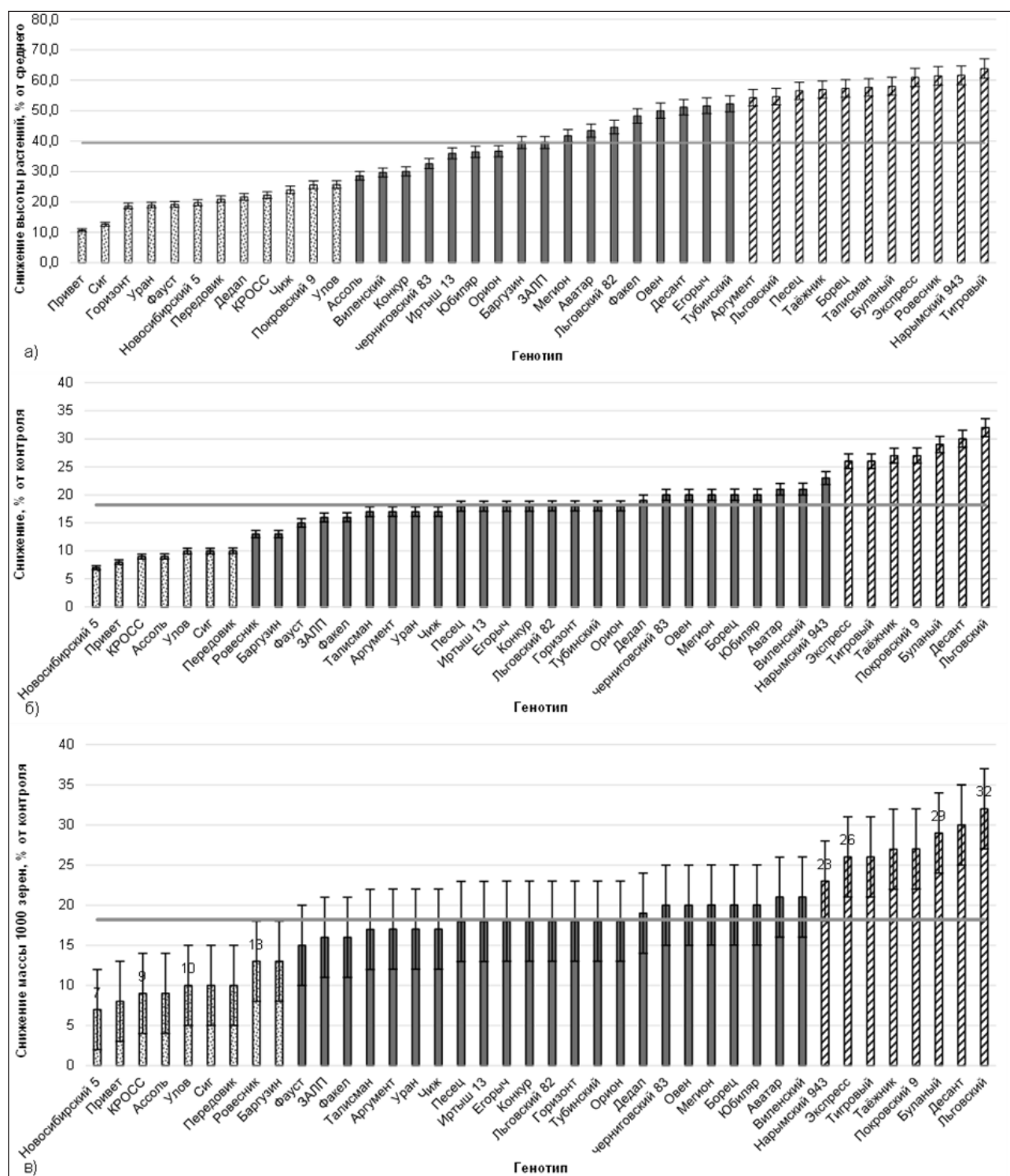


Рис. 1. Снижение хозяйственно ценных показателей овса в условиях стресса, вызванного засухой на разных стадиях онтогенеза, % от контроля: а) высота растений (кущение); б) озерненность главной метелки (цветение); в) масса 1000 зерен, засуха в период цветения; здесь и на остальных рисунках: ■ – генотипы с минимальным снижением (1К); ■ – генотипы со снижением близким к среднему (2К); ■ – генотипы с максимальным снижением (3К) (различия с контролем достоверны при $\alpha=0,05$; $df=39$; $t_{\text{крит.}}=2,023$; $t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$ при $p \leq 0,05$).

Одним из важнейших показателей урожайности зерновых культур принято считать озерненность колоса (метелки) [21, 22]. Этот показатель начинает формироваться еще на стадии кушения злаков, но может уменьшиться в результате негативных факторов в более поздние фазы. Часто этим фактором выступают почвенная или атмосферная засухи, которые нарушают процесс завязываемости зерновок [22]. В условиях отсутствия стресса от засухи, метелки овса в коллекции характеризовались достаточно высокой

озерненностью. В среднем по коллекции в главной метелке было 51,7 зерен, что свойственно высокоурожайным сортам [23]. Варьирование числа зерен в метелке в контроле составляло от 19,0 (Улов) до 67,9 шт. (Талисман). Дефицит почвенной влаги в период кушения привел к незначительному уменьшению величины этого показателя. В среднем по коллекции снижение составило 7,1 %, что не считают критичным [17]. В группу сортов, у которых снижение озерненности метелки было менее 5 % вошли Черниговский

83, Мегион, Аватар, Тигровый, Дедал и Уран. Также выделены сорта, у которых зафиксировано максимальное уменьшение количества зерен в метелке после засухи в фазе кущения – Львовский 82 (14 %) и Иртыш 13 (10 %).

Недостаток воды в период цветения оказал более существенное влияние на озерненность метелок. Снижение в среднем по коллекции составило 18 % от контроля. Диапазон уменьшения количества зерен варьировал от 7 (Новосибирский 5) до 32 % (Львовский). Наиболее устойчивыми оказались сорта Новосибирский 5, Привет, КРОСС, Ассоль, Улов, СИГ, озерненность метелки которых уменьшилась на 7...10 % (рис. 1 б). Также были выделены генотипы с максимальной негативной реакцией на стресс, вызванный засухой в период цветения. В эту группу вошли сорта Экспресс, Тигровый, Таежник, Покровский 9, Буланный, Десант и Львовский. Уменьшение количества зерна в метелке составило 26...32 % при среднем значении по коллекции 18 %.

Как показали ранее проведенные исследования, урожайность зерновых культур тесно коррелирует с массой 1000 зерен, которая характеризует крупность семян. В изучаемой коллекции масса 1000 зерен варьировала от 31,2 (Фауст) до 45,4 г. (Аргумент), что соответствует крупнозерным генотипам [24]. В варианте, где засушливые условия приходились на кущение овса, диапазон варьирования массы 1000 зерен по коллекции составил 28,9...41,7 г. Средняя по коллекции величина уменьшилась на 7,1 % и достигла 34,2 г, что незначительно для овса. Это доказывает, что почвенная засуха в кущение не приводит к сильно-

му (>10 %) снижению крупности зерна овса. Поздняя засуха, которая приходилась на цветение, оказала более серьезное влияние на массу 1000 зерен. В среднем по коллекции снижение составило 18,2 % с варьированием от 24,3 до 37,6 г.

Ранжирование коллекции овса по снижению массы 1000 зерен, вызванному почвенной засухой в период цветения, показало, что сорта Новосибирский 5, Привет, КРОСС, Ассоль, Улов, СИГ, Передовик, Ровесник, Баргузин, выделялись минимальной степенью снижения – 7...13 % от контроля. Такие сорта как Виленский, Нарымский 943, Экспресс, Тигровый, Таежник, Покровский 9, Буланный, Десант, Львовский характеризовались максимальным снижением массы 1000 зерен – 23...32 % относительно контроля, где растения регулярно поливали (рис. 1в).

Масса зерна в метелке – комплексный показатель, который тесно коррелирует с продуктивностью генотипа [23]. Средняя по коллекции масса зерна в метелке была равна 1,9 г с варьированием от 0,6 г (Улов) до 2,5 г (Львовский). Почвенная засуха в период кущения оказала достоверное влияние ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$ при $p \leq 0,05$) на массу зерна в метелках овса. В среднем по коллекции она уменьшилась на 11 % относительно контроля и достигла 1,6 г при диапазоне варьирования от 0,6 до 2,5 г (рис. 2а).

Ранжирование коллекции овса по степени снижения массы зерна с метелки показало, что при почвенной засухе в кущение у сортов Привет, Передовик, Ровесник, Львовский 82, Львовский, Факел, Нарымский 943 и Новосибирский 5 оно было минимальным (3...5 %). Одновременно были выявлены генотипы (Борец, Талисман, Дедал, Покровский 9,

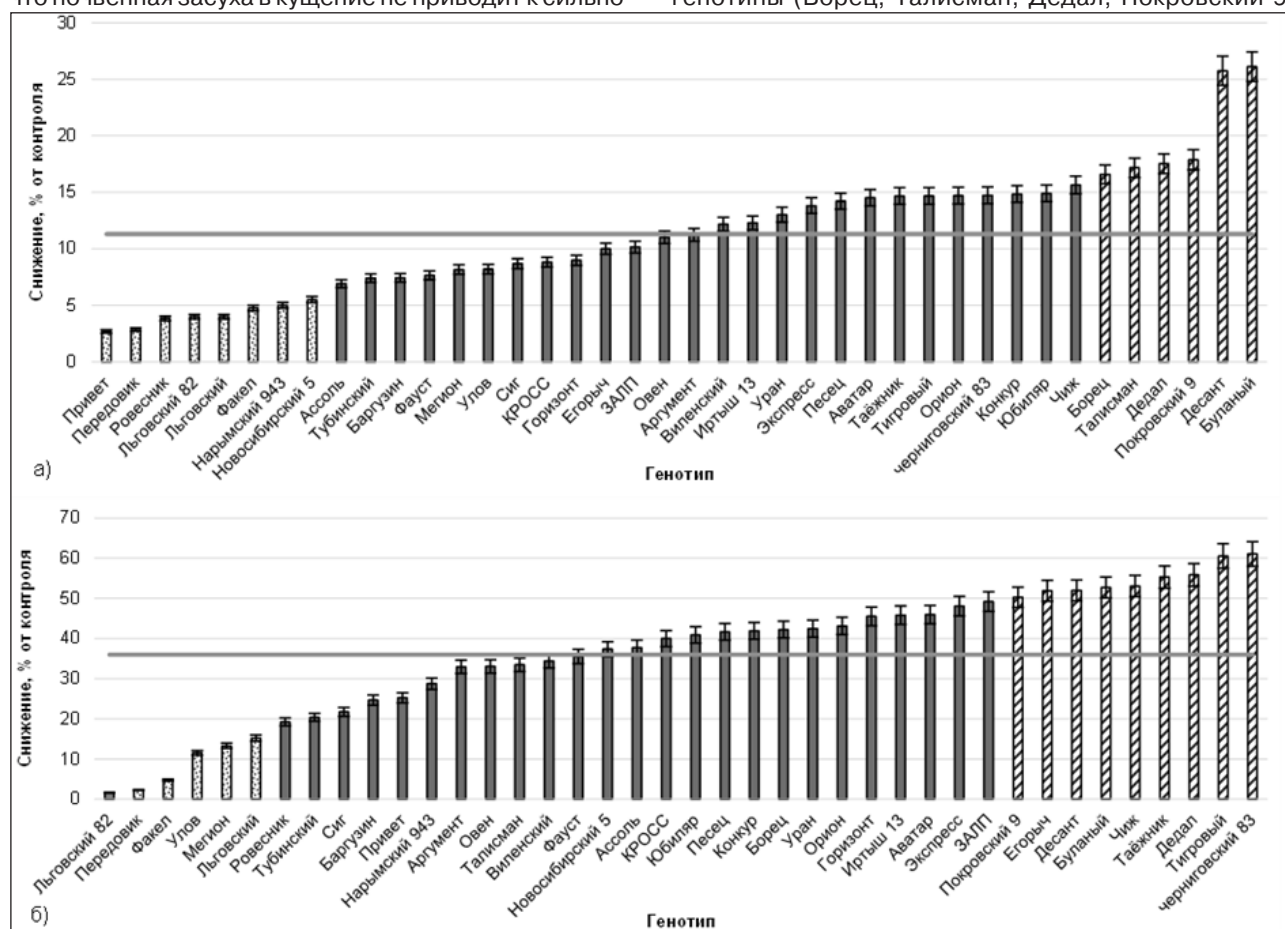


Рис. 2. Снижение массы зерна в метелке в условиях стресса, вызванного засухой в фазе кущения (а) и цветения (б) (различия с контролем достоверны при $\alpha=0,05$; $df=39$; $t_{\text{крит.}}=2,023$; $t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$ при $p \leq 0,05$).

Десант и Буланы), у которых снижение массы зерна с метелки было самым высоким и достигало 17...26 %.

Поскольку засуха в период цветения оказывает большое влияние на формирование количества зерен в метелке и их налив, снижение массы зерна в метелке под ее влиянием будет максимальным [25]. Как показали исследования, снижение в среднем по коллекции составило 36 %, что более чем в 3 раза выше значений варианта с засухой в период кущения.

В группу сортов, которые слабее остальных реагировали на засуху в период цветения вошли Львовский 82, Передовик, Факел, Улов, Мегион, Львовский, масса зерна в метелке у которых снижалась на 2...15 %, что в целом характеризует их как потенциально засухоустойчивые (рис. 2б). Группу с наибольшим уменьшением массы зерна в метелке (50...61 %), обусловленным негативным действием почвенной засухи в период цветения, составили Покровский 9, Егорыч, Десант, Буланы, Чиж, Таежник, Дедал, Тигровый, Черниговский 83, что делает их наименее перспективными родительскими формами при создании засухоустойчивых сортов.

Наименьшее снижение массы зерна с метелки (3...7 %) при воздействии почвенной засухи в обоих вариантах (кущение и цветение) было отмечено у следующих генотипов: Передовик, Факел, Львовский, Львовский 82. Эти сорта перспективны в качестве родительских форм для селекции на засухоустойчивость.

В контроле в среднем по коллекции масса одного растения составляла 8,4 г с варьированием от 5,1 до 15,9 г. Выделены сорта Нарымский 943, Новосибирский 5, Ровесник, Экспресс, Львовский, Львовский

82, Иртыш 13, у которых величина этого показателя составила 10,3...15,9 г. На долю генотипов с минимальной биомассой (до 7,0 г) приходилось 35 % коллекции. Минимальная в опыте масса растений (5,1...5,4 г) зафиксирована у сортов Черниговский 83 и Мегион.

Моделирование почвенной засухи в период кущения показало, что биомасса коллекции овса в среднем уменьшилась на 15 % с диапазоном варьирования от 2 до 20 %. Группу сортов с минимальным снижением массы растения (до 10 %) составили Львовский 82, Привет, КРОСС, Передовик, Ассоль, Улов, Новосибирский 5, СИГ (рис. 3а).

Среди сортов с максимальным снижением биомассы (19 % и более) оказались Покровский 9, Тигровый, Таежник, Аватар, Талисман, Экспресс, Нарымский 943, Орион, Буланы, Тубинский. Анализ снижения биомассы показал, что овес наиболее сильно реагирует на почвенную засуху в период цветения – снижение в среднем по коллекции составило 23 % с диапазоном от 13 до 37 % (рис. 3б).

Сорта Привет, Новосибирский 5, КРОСС, Ассоль, Улов, Львовский 82, СИГ, Передовик характеризовались минимальным снижением биомассы, которое варьировало от 13 до 15 % – эта группа занимает 20 % коллекции. Наиболее уязвимыми оказались сорта Тигровый, Таежник, Экспресс, Покровский 9, Буланы, Десант и Львовский. Снижение их биомассы от засухи в цветение варьировало от 31 до 37 %, что в максимальной степени отразится на продуктивности этих сортов в засушливых условиях.

По комплексу признаков наиболее засухоустойчивыми сортами оказались Львовский 82 (к-14033);

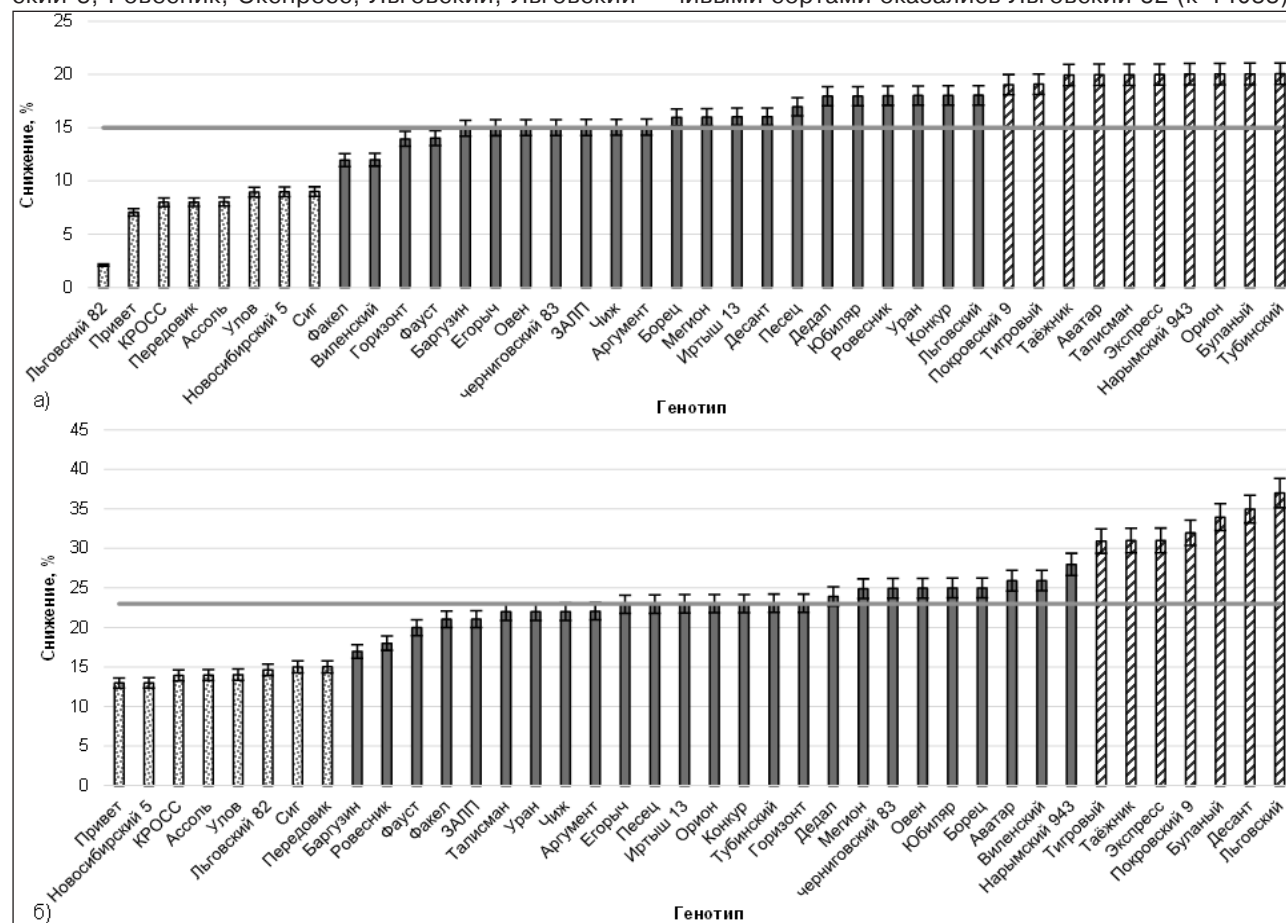


Рис. 3. Снижение массы растения в условиях стресса, вызванного засухой в фазе кущения (а) и цветения (б), (различия с контролем достоверны при $\alpha=0,05$; $df=39$; $t_{\text{крит}}=2,023$; $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ при $p \leq 0,05$).

Новосибирский 5 (к-15453); Привет (к-14787); Улов (к-14231); СИГ (к-15335); Ассоль (к-15617); Передовик, которые в минимальной степени снижали элементы структуры урожая под действием засухи на разных этапах онтогенеза.

Выводы. Высота растений овса, которые испытывали стресс от почвенной засухи в период кущения снижается, относительно контроля, на 39 %. Засуха в цветение – не оказывает существенного влияния на величина этого показателя, снижение по коллекции составило 3 %. Озерненность метелки овса, который испытывал дефицит почвенной влаги на любых этапах онтогенеза уменьшается на 15...16 %. Масса зерна в метелке наиболее сильно снижается при засухе в цветение – на 35 %, в кущение – только на 11 %. Потеря обусловлена уменьшением массы 1000 зерен при засухе в кущение на 7 %, в цветение – на 18 %.

Наиболее сильно реагируют на дефицит почвенной влаги сорта Песец, Таежник, Борец, Буланный, Экспресс, Ровесник, Тигровый, Десант, Покровский 9, Дедал, у которых величины показателей структуры урожая снижались максимально: количество зерна – на 9...28 %; масса 1000 зерен – на 13...30 %; масса зерна – на 19...61 %.

Наименьшей реакцией на почвенную засуху характеризовались Львовский 82, Новосибирский 5, Привет, Улов, СИГ, Ассоль, Передовик – снижение показателей структуры урожая варьировало в диапазоне от 3 до 7 % относительно контрольных образцов, которые не испытывали дефицита влаги на протяжении всей вегетации. Эти генотипы рекомендованы как перспективные родительские формы для селекции засухоустойчивых сортов овса.

Литература.

1. Любимова А. В., Иваненко А. С. Овёс в Тюменской области. Тюмень: Тюменский научный центр, 2021. 172 с.
2. The potential of small grains crops in enhancing biofortification breeding strategies for human health benefit / T. V. Shelenga, Y. A. Kerv, I. N. Perchuk, et al. // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 7. Article 1420. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1420> (дата обращения: 26.06.2023). doi: 10.3390/agronomy11071420.
3. Кротова Н. В., Баталова Г. А. Изучение коллекционных образцов голозерного овса // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. № 4. С. 18–26. doi: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26.
4. Новый сорт ярового ячменя Кудесник / М. Н. Фомина, Ю. С. Иванова, О. А. Пай и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 11. С. 37–42. doi: 10.53859/02352451_2022_36_11_37.
5. Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного «Тобояк» / А. В. Любимова, М. Н. Фомина, Д. И. Еремин и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183. № 3. С. 123–131. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
6. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects / M. F. Seleiman, N. Al-Suhaibani, M. Alotaibi, et al. // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 2. Article 259. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/2/259> (дата обращения: 26.06.2023). doi:10.3390/plants10020259.
7. Любимова А. В., Мамеева В. С., Менщикова А. А. Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 6 (221). С. 49–59. doi: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.
8. Моисеева М. Н. Перспективы развития овса в земледелии Западной Сибири // *Агропродовольственная политика России*. 2020. № 3. С. 24–26.
9. Omics approach to manage abiotic stress in cereals / A. Roychoudhury, T. Aftab, K. Acharya, et al. Singapore: Springer Singapore, 2022. 615 p. doi: 10.1007/978-981-19-0140-9.
10. Воложанина Е. Н., Баталова Г. А. Урожайность и адаптивные свойства сортов плёчатого овса в Волго-Вятском регионе // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 3 (173). С. 31–36.
11. Conventional and omics approaches for understanding the abiotic stress response in cereal crops – an updated overview / K. Rakkammal, A. Priya, S. Pandian, et al. // *Plants*. 2022. Vol. 11. Article 2852. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/21/2852> (дата обращения: 26.06.2023). doi: 10.3390/plants11212852.
12. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана / А. И. Абуғалиева, И. Г. Лоскутов, Т. В. Савин и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. № 1. С. 9–21. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21.
13. Abiotic stress and applications of omics approaches to develop stress tolerance in agronomic crops / S. Pandian, K. Rakkammal, A. S. Pency, et al. // *Agronomic Crops*. Singapore: Springer Singapore, 2020. Vol. 3: Stress Responses and Tolerance. P. 557–578. doi: 10.1007/978-981-15-0025-1_26.
14. Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б., Черенкова Е. А. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге Европейской России // *Аридные экосистемы*. 2020. Т. 26. № 4 (85). С. 76–83.
15. Подбор сортов-стандартов для полевых опытов Госсорсети / Р. Г. Сайфуллин, Ю. В. Лобачев, Г. А. Бекетова и др. // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 6. С. 33–34. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5158> (дата обращения: 26.06.2023).
16. Еремин Д. И., Моисеева М. Н., Еремина Д. В. Урожай и качество зерна овса при различном уровне минерального питания // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 9. С. 48–54. doi: 10.53859/02352451_2022_36_9_48.
17. Яценко С. Н., Логинов Ю. П., Казак А. А. Структурные элементы семян сортов пшеницы в зависимости от сроков сева и норм высевы в Северной лесостепи Тюменской области // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 9 (186). С. 55–66. doi: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66.
18. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М.: Госсоркомисия, 2019. 329 с.
19. Methodology of drought stress research: experimental setup and physiological characterization / N. Osmolovskaya, J. Shumilina, K. Ahyoung, et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 2. No. 1. P. 62–65. URL: https://ologyjournals.com/aaeoa/aaeoa_00022.php (дата обращения: 05.07.2023). doi: 10.30881/aaeoa.00022.
20. Попов А. М. Квантили, квартили, децили и центили в статистических расчетах // *Передача, приём, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах*. Сочи: Академия Жуковского, 2023. С. 429–432.
21. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Пай О. А. Морфологические особенности и геометрическая характеристика зерна голозерных образцов овса // *Молекулярная генетика, микробиология и вирусология*. 2019. Т. 37. С. 29. URL: https://www.mediasphera.ru/journals/Mol_genetika_2019_tezisy.pdf (дата обращения: 26.06.2023).
22. Stress resistance of agricultural plants in relation to pollutants of exhaust gases / S. Ye. Sinyutina, S. V. Romantsova, I. V. Gladysheva, et al. // *Journal of Agriculture and Environment*. 2021. No. 3. P. 1–7. URL: <https://jae.cifra>.

science/archive/3-19-2021-september/stress-resistance-of-agricultural-plants-in-relation-to-pollutants-of-exhaust-gases (дата обращения: 26.06.2023). doi: 10.23649/jae.2021.3.19.6.

23. Любимова А. В., Еремин Д. И., Кочнева Д. А. Изменение показателей генетической структуры популяции сортов овса, возделываемых в Тюменской области, за 90-летний период // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12 (189). С. 32–41. doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41.

24. Масса зерна колоса и масса тысячи зерен как признаки продуктивности у сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости в условиях лесостепи Приобья / Е. В. Агеева, И. Н. Леонова, И. Е. Лихенко и др. // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 7. № 1. С. 5–11. doi: 10.18699/LettersVJ2021-7-01.

25. Кардашина В. Е., Николаева Л. С. Влияние метеорологических условий на продуктивность и хозяйственно-ценные признаки овса // Пермский аграрный вестник. 2017. № 3 (19). С. 70–75.

References

1. Lyubimova AV, Ivanenko AS. Oves v Tyumenskoi oblasti [Oats in the Tyumen' region]. Tyumen' (Russia): Tyumenskii nauchnyi tsentr; 2021. 172 p. Russian.
2. Shelenga TV, Kerv YA, Perchuk IN, et al. The potential of small grains crops in enhancing biofortification breeding strategies for human health benefit. *Agronomy* [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 26];11(7): Article 1420. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1420>. doi: 10.3390/agronomy11071420.
3. Krotova NV, Batalova GA. [Study of collection samples of naked oats]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*. 2021;182(4):18-26. Russian. doi: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26.
4. Fomina MN, Ivanova YuS, Pai OA, et al. [New variety of spring barley Kudesnik]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(11):37-42. Russian. doi: 10.53859/02352451_2022_36_11_37.
5. Lyubimova AV, Fomina MN, Eremin DI, et al. [Allelic state of prolamin-coding loci of a new oat variety Tobolyak]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*. 2022;183(3):123-31. Russian. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
6. Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Alotaibi M, et al. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants* [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 26];10(2): Article 259. Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/2/259>. doi:10.3390/plants10020259.
7. Lyubimova AV, Mamaeva VS, Menshchikova AA. [Genetic drought resistance of modern varieties of oats as a response to global climate change]. *Agrarnyi vestnik Urala*. 2022;(6):49-59. Russian. doi: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.
8. Moiseeva MN. [Prospects for the development of oats in agriculture in Western Siberia]. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*. 2020;(3):24-6. Russian.
9. Roychoudhury A, Aftab T, Acharya K, et al. Omics approach to manage abiotic stress in cereals. Singapore: Springer Singapore; 2022. 615 p. doi: 10.1007/978-981-19-0140-9.
10. Vologzhanina EN, Batalova GA. [Yield and adaptive properties of hulled oat varieties in the Volga-Vyatka region]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;(3):31-6. Russian.
11. Rakkammal K, Priya A, Pandian S, et al. Conventional and omics approaches for understanding the abiotic stress response in cereal crops – an updated overview. *Plants* [Internet]. 2022 [cited 2023 Jun 26];11: Article 2852. Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/12/2852>. doi: 10.3390/plants11212852.
12. Abugalieva AI, Loskutov IG, Savin TV, et al. [Study of huskless oats from the VIR collection for qualitative indicators under the conditions of Kazakhstan]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*. 2021;182(1):9-21. Russian. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21.
13. Pandian S, Rakkammal K, Pency AS, et al. Abiotic stress and applications of omics approaches to develop stress tolerance in agronomic crops. In: *Agronomic Crops. Vol. 3: Stress Responses and Tolerance*. Singapore: Springer Singapore; 2020. p. 557-78. doi: 10.1007/978-981-15-0025-1_26.
14. Zolotokrylin AN, Titkova TB, Cherenkova EA. [Characteristics of spring-summer droughts during dry and wet periods in the south of European Russia]. *Aridnye ekosistemy*. 2020;26(4):76-83. Russian.
15. Saifullin RG, Lobachev YuV, Beketova GA, et al. [Selection of standard varieties for field experiments of the State Variety Network]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [Internet]. 2014 [cited 2023 Jun 26];(6):33-4. Available from: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5158>. Russian.
16. Eremin DI, Moiseeva MN, Eremina DV. [Yield and grain quality of oats at different levels of mineral nutrition]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(9):48-54. Russian. doi: 10.53859/02352451_2022_36_9_48.
17. Yashchenko SN, Loginov YuP, Kazak AA. [Structural elements of seeds of wheat varieties depending on the sowing dates and seeding rates in the Northern forest-steppe of the Tyumen region]. *Vestnik KrasGAU*. 2022;(9):55-66. Russian. doi: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66.
18. Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Vyp. 1. Obshchaya chast' [Methodology of the State variety testing of crops. Vol. 1. General part]. Moscow: Gossortkomisiya; 2019. 329 p. Russian.
19. Osmolovskaya N, Shumilina J, Ahyoung K, et al. Methodology of drought stress research: experimental setup and physiological characterization. *International Journal of Molecular Sciences* [Internet]. 2019 [cited 2023 Jul 5];2(1):62-5. Available from: https://ojs.ejournals.com/aaeoa/aaeoa_00022.php. doi: 10.30881/aaeoa.00022.
20. Popov AM. [Quantiles, quartiles, deciles and centiles in statistical calculations]. In: *Peredacha, priem, obrabotka i otobrazhenie informatsii o bystroprotekeyushchikh protsessakh* [Transmission, reception, processing and display of information about fast processes]. Sochi (Russia): Akademiya Zhukovskogo; 2023. p. 429-32. Russian.
21. Ivanova YuS, Fomina MN, Pai OA. [Morphological features and geometric characteristics of the grain of huskless oat samples]. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya* [Internet]. 2019 [cited 2023 Jun 26];37:29. Available from: https://www.mediasphera.ru/journals/Mol_genetika_2019_tezisy.pdf. Russian.
22. Sinyutina SYe, Romantsova SV, Gladysheva IV, et al. Stress resistance of agricultural plants in relation to pollutants of exhaust gases. *Journal of Agriculture and Environment* [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 26];(3):1-7. Available from: <https://jae.cifra.science/archive/3-19-2021-september/stress-resistance-of-agricultural-plants-in-relation-to-pollutants-of-exhaust-gases>. doi: 10.23649/jae.2021.3.19.6.
23. Lyubimova AV, Eremin DI, Kochneva DA. [Changes in the parameters of the genetic structure of the population of oat varieties cultivated in the Tyumen region over a 90-year period]. *Vestnik KrasGAU*. 2022;(12):32-41. Russian. doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41.
24. Ageeva EV, Leonova IN, Likhnenko IE, et al. [Ear grain weight and thousand grain weight as signs of productivity in varieties of spring common wheat of different ripeness groups under the conditions of the forest-steppe of the Ob region]. *Pis'ma v Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2021;7(1):5-11. Russian. doi: 10.18699/LettersVJ2021-7-01.
25. Kardashina VE, Nikolaeva LS. [Influence of meteorological conditions on productivity and economically valuable traits of oats]. *Permskii agrarnyi vestnik*. 2017;(3):70-5. Russian.