

НАСЛЕДОВАНИЕ ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ГИБРИДНЫХ КОМБИНАЦИЙ МЕСТНЫХ И ИНОСТРАННЫХ СОРТОВ ОВСА В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ

(✉) Любимова А.В.¹, Ерёмина Д.В.²

¹Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Тюменская область, п. Московский, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Тюмень, Россия

(✉) e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Представлены результаты изучения характера наследования ценных признаков гибридов первого поколения, полученных от скрещивания иностранных и отечественных сортов овса в условиях Северного Зауралья. Эксперимент проводили на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья в 2019 и 2020 гг. Объектом исследования являлись 18 гибридных популяций F1 и шесть родительских сортов: Талисман, Отрада, Фома, Sang, Solidor и Ensiler. Оценку элементов продуктивности осуществляли согласно методике Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Для статистической обработки данных использовали методику Б.А. Доспехова. Характер наследования фенотипических признаков определяли по G.M. Beil, R.E. Atkins. Анализ элементов структуры урожая продемонстрировал отсутствие преимущества сортов иностранной селекции перед генотипами, полученными в Северном Зауралье. Установлено, что по озерненности метелки и массе 1000 зерен сорт Отрада не уступает сортам Sang, Solidor и Ensiler, а Фома – превосходит их. Определено, что скрещивания между сортами местной и иностранной селекции имеют высокий процент удачи (42–68%), что обуславливает их перспективность в селекционном процессе. Выявлено, что 50% гибридных комбинаций характеризуются депрессией по признаку «высота растений» – степень фенотипического доминирования в данном случае варьирует от –22,2 до –3,1 ед. Скрещивание Фомы с иностранными сортами обеспечило сверхдоминирование по высоте метелки, ее озерненности и массе 1000 зерен. По степени фенотипического доминирования элементов продуктивности выделены следующие перспективные гибридные комбинации: Ensiler × Отрада, Sang × Отрада, Фома × Sang. У перечисленных комбинаций отбор высокопродуктивных генотипов можно проводить со второго поколения. Осуществлять отбор перспективных линий среди гибридных комбинаций, где одной из родительских форм является сорт Фома, рекомендуется в более поздних поколениях. Гибриды первого поколения, полученные от скрещивания сорта Талисман с сортами Ensiler, Sang и Solidor, не имеют преимуществ перед родительскими формами и неперспективны для селекционного процесса.

Ключевые слова: гибридизация, характер наследования, элементы продуктивности, гетерозис, генетическая депрессия, модель сорта

INHERITANCE OF VALUABLE PRODUCTIVITY TRAITS OF HYBRID COMBINATIONS OF LOCAL AND FOREIGN OAT VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE TRANS-URAL REGION

(✉) Lyubimova A.V.¹, Eremina D.V.²

¹Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region – Branch of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Moskovsky, Tyumen region, Russia

²State Agrarian University of the Northern Trans-Urals

Tyumen, Russia

(✉) e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

The results of studying the character of inheritance of valuable traits of the first-generation hybrids obtained from crossing foreign and domestic varieties of oats in the conditions of the Northern

Trans-Urals are presented. The experiment was conducted on the experimental field of the Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region in 2019 and 2020. The object of the study were 18 F1 hybrid populations and 6 parent varieties: Talisman, Otrada, Foma, Sang, Solidor and Ensiler. Productivity elements were evaluated according to the methodology of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. B.A. Dospekhov's methodology was used for statistical data processing. Inheritance of phenotypic traits was determined according to G.M. Beil and R.E. Atkins. Analysis of the yield structure elements demonstrated the lack of advantage of foreign selection varieties over the genotypes obtained in the Northern Trans-Urals. It has been established that the Otrada variety is not inferior to Sang, Solidor and Ensiler varieties in terms of panicle ear grain content and the thousand-kernel weight, and Foma is superior to them. It has been determined that crosses between the varieties of local and foreign selection have a high percentage of success (42–68%), which makes them promising in the breeding process. It has been revealed that 50% of hybrid combinations are characterized by depression in the trait "plant height" – the degree of phenotypic dominance in this case varies from –22.2 to –3.1 units. Crossing of Foma with foreign varieties ensured overdominance in the panicle height, its grain content and the thousand-kernel weight. According to the degree of phenotypic dominance of the productivity elements, the following promising hybrid combinations have been identified: Ensiler × Otrada, Sang × Otrada, Foma × Sang. In the above combinations, selection of high-yielding genotypes can be carried out from the second generation onwards. It is recommended to select promising lines among hybrid combinations, where one of the parental forms is the Foma variety, in the later generations. Hybrids of the first generation obtained from crossing the Talisman variety with Ensiler, Sang and Solidor varieties have no advantages over the parental forms and are unpromising for the breeding process.

Keywords: hybridization, nature of inheritance, elements of productivity, heterosis, genetic depression, variety model

Для цитирования: Любимова А.В., Ерёмина Д.В. Наследование ценных признаков продуктивности гибридных комбинаций местных и иностранных сортов овса в условиях Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 32–45. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-4>

For citation: Lyubimova A.V., Eremina D.V. Inheritance of valuable productivity traits of hybrid combinations of local and foreign oat varieties in the conditions of the Trans-Ural region. *Sibirskii vestnik sel'skohozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 32–45. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Acknowledgements

The work was carried out according to the state task No. 122011300103-0 and with the support of the world-class West Siberian Interregional Research and Education Center.

ВВЕДЕНИЕ

В основе продовольственной безопасности любой страны лежит полноценное обеспечение сельскохозяйственной продукцией, в том числе кормами для животноводства и птицеводства. Поэтому в настоящее время зернофуражные культуры по своей значимости находятся на одном уровне с пшеницей, рисом, соей и кукурузой. За последние 70 лет урожайность сельскохозяйственных культур выросла более чем в 3 раза благодаря внедре-

нию научно обоснованной системы земледелия. Столь существенные достижения агропромышленного комплекса стали возможны только при переходе на современные сорта интенсивного типа, генетический потенциал продуктивности которых несопоставимо выше.

По данным Росстата, в 2022 г. в Российской Федерации размер посевных площадей овса составил 2,16 млн га, в том числе в Уральском федеральном округе – 235,5 тыс. га. Для

удовлетворения растущих потребностей животноводства и птицеводства валовой сбор овса необходимо существенно увеличивать. Следовательно, потребуются увеличение посевных площадей и повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Однако в настоящее время наиболее плодородные поля занимают стратегические либо маржинальные культуры, и уменьшать их посевные площади нецелесообразно. Поэтому расширение посевных площадей овса или других зернофуражных культур возможно только в результате распашки менее плодородных земель. Повышение урожайности за счет применения агрохимикатов (в том числе минеральных удобрений) наиболее перспективно в современном мире. Решение задачи по увеличению валового сбора зерна заключается в создании новых сортов, способных формировать высокий урожай и использующих биоклиматический потенциал региона.

В Государственном реестре селекционных достижений на долю иностранных сортов овса приходится 10%. Данные сорта характеризуются высокой урожайностью и качеством зерна. Современные отечественные сорта овса также обладают высокой потенциальной продуктивностью, практически не уступающей продуктивности иностранных сортов. Однако фактическая урожайность по разным регионам страны остается довольно низкой, не говоря уже о качестве собираемого зерна. Причин этого достаточно много, но в целом они сводятся к несоблюдению технологии возделывания и отсутствию пластичности сорта к широкому спектру почвенно-климатических условий. По мнению Г.А. Баталовой с соавт.¹, причина низкой продуктивности современных сортов овса заключается также в их некорректном районировании по регионам допуска. Один из путей решения проблемы низкой урожайности овса – использование в качестве родительских форм сортов местной селекции, характеризующихся хорошей устойчивостью к

неблагоприятным почвенно-климатическим условиям, имеющих высокую экологическую пластичность, а также высокоурожайных иностранных сортов, обладающих необходимыми хозяйственными ценными свойствами (высокая озерненность метелки и крупность зерна, короткостебельность и др.).

Современный сорт должен эффективно реализовывать свой генетический потенциал при различных естественных и техногенных факторах окружающей среды, обладать значительной устойчивостью к стрессу абиотической и биотической природы [1].

Цель исследования – создание перспективных гибридных популяций путем скрещивания овса иностранной и отечественной селекции с их последующей оценкой по основным хозяйственными ценным свойствам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на базе Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья в условиях лесостепной зоны Зауралья согласно методике государственного сортоиспытания². Почва опытного участка – темно-серая лесная оподзоленная с характерными для региона морфологическими признаками и основными физико-химическими свойствами [2, 3]. Почвенно-климатические условия местности максимально приближены к сельскохозяйственной зоне Уральского федерального округа, что дает возможность оценить перспективность гибридных комбинаций и сортов овса, участвующих в селекционной работе.

В опыте использовали шесть сортов местной и зарубежной селекции (см. табл. 1). Комбинации скрещиваний подбирали по принципу эколого-географической отдаленности родительских форм.

Гибридизацию проводили в полевых условиях. В фазу начала выметывания (при появлении двух-трех колосков из листового влагалища) осуществляли механическую кастрацию. На метелке удаляли верхние

¹Баталова Г.А., Лисицын Е.М., Changzhong Ren, Андреев Н.Р., Тулякова М.В., Шевченко С.Н., Малько А.М. Селекция овса на Европейском Северо-Востоке России // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 1. С. 21–24.

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 1. 270 с.

Табл. 1. Сорта овса отечественной и иностранной селекции, используемые в гибридизации
Table 1. Oat varieties of domestic and foreign selection used in hybridization

Номер в опыте	Сорт	Разновидность	Страна происхождения	Источник описания
1	Ensiler	<i>mutica</i>	США	4
2	Sang	»	Швеция	4
3	Solidor	»	Германия	4
4	Отрада	»	Россия	5
5	Талисман	»	»	6
6	Фома	»	»	7

нижние колоски, оставляя четыре – шесть наиболее развитых колосков в средней части. Кастрацию проводили утром – с 5 до 8 ч по местному времени. На 4–5-е сутки делали принудительное опыление, согласно схеме гибридизации. Пыльцу отбирали в день опыления в период с 9 до 12 ч. В каждый цветок закладывали по три созревших пыльника. Далее метелку помещали в бумажный изолятор. Скрещивание проводили на десяти метелках каждого сорта. Полученное зерно гибридных комбинаций высевали на следующий год по схеме ♀ – F1 – ♂ в трехкратном повторении. На каждом рядке размещали по десять зерен родительских сортов и гибридов. Расстояние между рядками составляло 20 см, глубина посева – 5–6 см. Срок посева – II декада мая. Агротехника в опытах – общепринятая для северной лесостепи Зауралья [8].

Фенологические наблюдения, оценку состояния посевов и учет элементов структуры урожая проводили согласно методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса³.

Характер наследования признаков рассчитывали по формуле G.M. Beil, R.E. Atkins:

$$h_p = (F1 - MP) / (HP - MP),$$

где h_p – степень фенотипического доминирования; F1 – величина выраженности признака у растений F1; MP – средний по степени выраженности признак обеих родительских

форм; HP – наиболее выраженный признак родительской формы.

Группировку гибридов по степени проявления фенотипических признаков осуществляли по классификации G.M. Beil, R.E. Atkins⁴, согласно которой возможными являются следующие типы взаимодействия генов: $h_p > 1$ – гетерозис (положительное сверхдоминирование); $0,5 < h_p < 1,0$ – положительное доминирование; $-0,5 < h_p < 0,5$ – промежуточное наследование; $-1 \leq h_p \leq -0,5$ – отрицательное доминирование; $h_p < -1$ – депрессия (отрицательное сверхдоминирование).

Для статистической обработки результатов исследования использовали метод дисперсионного анализа в соответствии с методикой Б.А. Доспехова⁵.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гибридизацию отечественных и иностранных сортов овса проводили в 2019 г., который характеризовался благоприятными погодными условиями на протяжении всего периода вегетации. В результате было получено 18 гибридных комбинаций (см. табл. 2). Процент удачи оказался достаточно высоким для овса и варьировал от 42 (Solidor × Талисман) до 68% (Отрада × Solidor).

Отмечено, что при использовании сорта Ensiler в качестве материнского растения при скрещивании с местными сортами за-

³Методические указания по изучению мировой коллекции ячменя и овса. СПб., 2012. 64 с.

⁴Beil G.M., Atkins R.E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum // Iowa State Journal Science. 1965. Vol. 39. N 6. P. 165–179.

⁵Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Табл. 2. Гибридные комбинации
Table 2. Hybrid combinations

Каталог скрещиваний	Гибридная комбинация ($\text{♀} \times \text{♂}$)	Процент удачи
1 × 4	Ensiler × Отрада	65
1 × 5	Ensiler × Талисман	68
1 × 6	Ensiler × Фома	61
2 × 4	Sang × Отрада	54
2 × 5	Sang × Талисман	51
2 × 6	Sang × Фома	60
3 × 4	Solidor × Отрада	45
3 × 5	Solidor × Талисман	42
3 × 6	Solidor × Фома	48
4 × 1	Отрада × Ensiler	57
4 × 2	Отрада × Sang	55
4 × 3	Отрада × Solidor	68
5 × 1	Талисман × Ensiler	56
5 × 2	Талисман × Sang	52
5 × 3	Талисман × Solidor	60
6 × 1	Фома × Ensiler	51
6 × 2	Фома × Sang	47
6 × 3	Фома × Solidor	50

вязываемость гибридных семян максимальная (61–68%), тогда как при использовании того же сорта в качестве отцовского результат был достоверно ниже и составлял 51–57% ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$). Минимальный процент удачи (42–48%) зафиксирован в комбинациях, где в качестве материнского растения выступал сорт Solidor. Однако при использовании его в комбинациях с Талисманом и Отрадой в качестве отцовского растения завязываемость возрастила до 60 и 68% соответственно. В комбинации Фома × Solidor процент удачи оставался низким.

Наиболее высокую завязываемость (55–68%) наблюдали в комбинациях, где в качестве материнских растений выступали местные сорта. При этом прослеживались сортовые особенности: Фома (♀) при опылении иностранными сортами имел меньшую завязываемость (47–51%), тогда как у Отра-

ды данный показатель варьировал от 55 до 68%. Причин снижения завязываемости гибридных зерен достаточно много. Прежде всего это неподходящие погодные условия: в период цветения овса в Сибири обычно бывает жаркая и сухая погода, что ведет к преждевременной стерилизации пыльцы. В нашем случае гибридизация проходила в краткие сроки, что нивелировало разность погоды. По мнению Г.Л. Петрова и Е.Ю. Петровой⁶, успех гибридизации овса также зависит от анатомических особенностей строения цветка.

Высота растений – важный фенотипический признак, который используют в селекции злаковых растений. Для овса указанный признак имеет большое значение, так как от него зависит устойчивость растений к полеганию [9]. При этом современные исследования показали прямую зависимость между краткостебельностью и зерновой продуктивностью [10]. Поэтому селекционерам придется лавировать между устойчивостью к полеганию и урожайностью овса.

Средняя высота сортов местной селекции составила 77–80 см при достаточно высокой степени варьирования: Отрада – от 72 до 98 см, Талисман – от 75 до 85 см (см. рис. 1). Сорт Фома обладал минимальным разбросом значений высоты – от 74 до 80 см.

Иностранные сорта по высоте не имели существенных отличий от местных генотипов. Средние показатели были следующими: Ensiler – 82 см, Solidor – 85, Sang – 87 см. Однако диапазон варьирования высоты в опыте был достоверно меньше, составив $\pm 5\%$ от средних значений.

Полученные популяции гибридов первого поколения (F_1) характеризовались различной высотой относительно друг друга и родительских форм. Наиболее высокими являлись гибридные комбинации 6×3 ; 4×1 ; 4×3 ; 6×1 ; 3×6 ; 2×6 ; 5×3 ; 1×6 , у которых наследование данного признака проходило по типу сверхдоминирования ($h_p > 1,0$). Высота таких гибридов варьировала от 88 (Отрада ×

⁶Петров Г.Л., Петрова Е.Ю. Изучение биологии цветения и методов опыления овса в условиях Северного Зауралья // Естественные и технические науки. 2017. № 2 (104). С. 13–14.

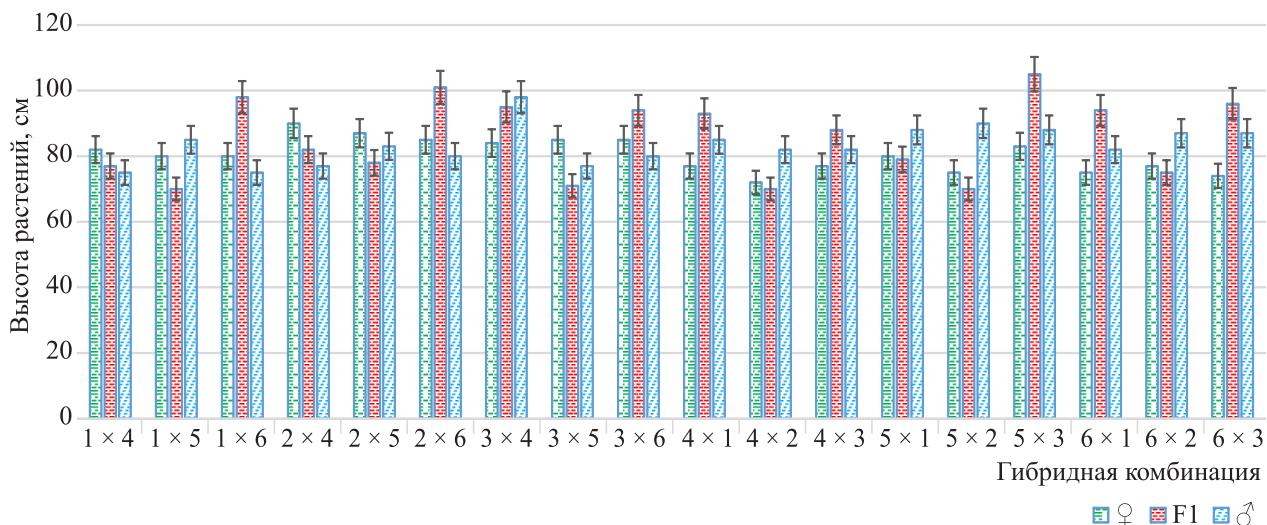


Рис. 1. Высота растений у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности
Fig. 1. Plant height of the parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

Solidor) до 105 см (Талисман \times Solidor), при этом степень фенотипического доминирования составляла 3,4 и 7,8 ед. соответственно.

Депрессия, обусловленная эффектом отрицательного сверхдоминирования ($h_p < -1$), отмечена у F1 следующих гибридных комбинаций: 1 \times 5; 2 \times 5; 3 \times 5; 5 \times 2; 4 \times 2; 6 \times 2; 5 \times 1, что может свидетельствовать о проявлении гена короткостебельности. В результате скрещивания Ensiler \times Талисман и Sang \times Талисман отмечена максимальная степень депрессии: h_p был равен $-5,0$ и $-3,5$ ед. соответственно. Высота данных гибридов составила 70 и 78 см соответственно.

Гибриды, полученные при скрещивании местных сортов (♀) и сорта Sang (♂), сохранили высоту на уровне материнских форм, что делает их перспективными для дальнейшего селекционного процесса в условиях Западной Сибири [11]. Аналогичный эффект отмечен у комбинаций 1 \times 4 и 2 \times 4, где отцовской формой выступал сорт Отрада. Высота гибридов была равна 77 и 82 см. Степень фенотипического доминирования составила $-0,4$ и $-0,2$ ед., что соответствует промежуточному наследованию и делает перечисленные комбинации перспективными для селекционного процесса.

Длина метелки у сорта Талисман варьировалась от 23 до 27 см (в среднем по опыту –

25 см), что является максимальным результатом среди изучаемых сортов местной селекции (см. рис. 2). Сорта Отрада и Фома характеризовались меньшей длиной метелки – от 17 до 20 см (в среднем по опыту – 19 см). Сорт Ensiler по фенотипическому признаку «длина метелки» приближался к Талисману: величина показателя составила 20–25 см, средняя длина по опыту – 22 см. Максимальная средняя длина метелки зафиксирована у сорта Sang – 25 см при варьировании от 23 до 27 см, что идентично значениям местного сорта Талисман. Solidor отличался существенным варьированием длины метелки – от 18 до 24 см, что нежелательно для современных сортов интенсивного типа. Средняя длина метелки была равна 21 см.

Гибриды первого поколения, полученные в ходе исследования, имели достаточно широкий диапазон длины метелки. Минимальная величина (16 см) зафиксирована у гибридов Solidor \times Талисман, у которых проявлялся эффект отрицательного сверхдоминирования. Аналогичное проявление депрессии ($h_p < -1$) отмечено у гибридных комбинаций 3 \times 5; 5 \times 1; 5 \times 2; 5 \times 3; 6 \times 3. Также были выделены гибриды с гетерозисным эффектом ($h_p > 1$), чья метелка достоверно превышала длину метелки у родительских сортов ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$). К ним относятся комбинации

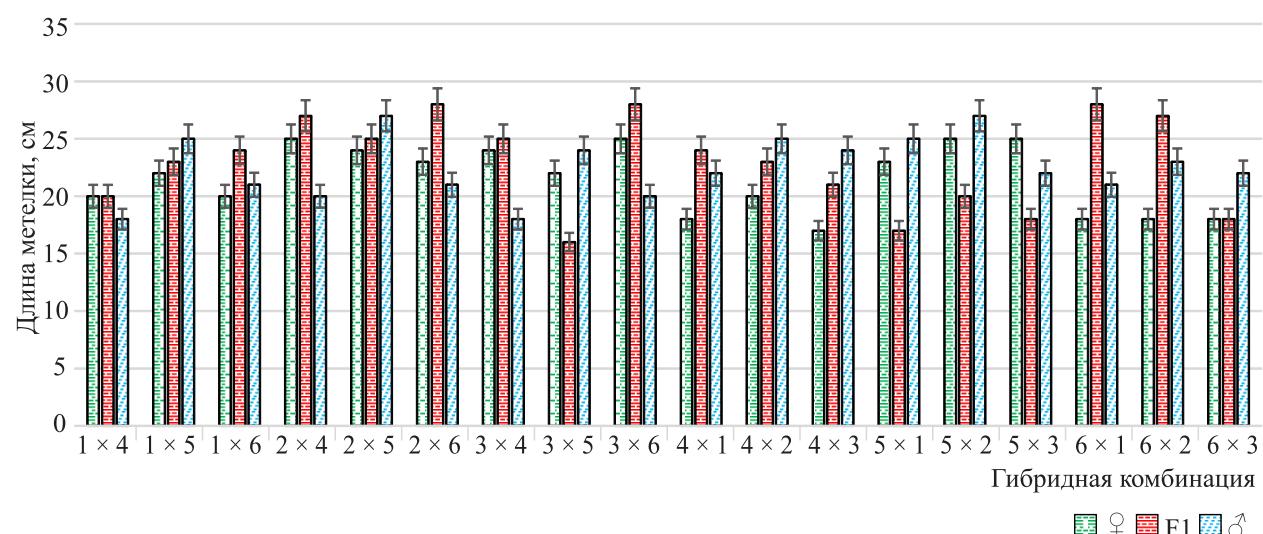


Рис. 2. Длина метелки у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности
Fig. 2. Panicle length of the parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

1 × 4; 3 × 4; 2 × 4; 4 × 1; 3 × 6; 6 × 2; 6 × 1; 2 × 6; 1 × 6. Наибольший эффект фенотипического сверхдоминирования наблюдали у гибридных комбинаций, где в качестве одного из родителей выступал сорт Фома – 6 × 1; 2 × 6 и 1 × 6. Длина метелки у них составила 24–28 см.

Промежуточное наследование длины метелки выявлено у гибридов, полученных в результате скрещивания Ensiler × Талисман, Sang × Талисман, Отрада × Solidor, Отрада × Sang. Длина метелки у таких гибридов варьировалась от 21 до 25 см, что соответствовало сорту Талисман.

М.Н. Фомина с соавт. [11] доказали, что с урожайностью овса тесно коррелирует показатель «озерненность главной метелки». Поэтому при создании новых сортов для Западной Сибири селекционеры уделяют этому признаку большое внимание [12].

Средняя озерненность метелки Талисмана в опыте составила 33 шт. при варьировании в диапазоне 28–38 шт. Современный сорт Отрада характеризовался более высокими значениями: количество зерен в главной метелке доходило до 35–42 шт. при среднем значении 39 шт. Максимальная озерненность метелки среди местных сортов зафиксирована у Фомы – 43 шт. при разбросе значений от 38 до 47 шт., что достоверно выше Отрады (HCP₀₅ = 3 шт.).

Сорта иностранной селекции в условиях лесостепи Зауралья не имели преимуществ перед местными генотипами по озерненности метелки. Минимальное количество зерна отмечено у Ensiler и Sang – 34 и 32 шт. соответственно. Данные сорта также выделяются большим размахом по количеству зерна в метелке – 8 и 12 шт. соответственно. Сорт Solidor по озерненности находился на уровне Отрады как по среднему значению, так и по диапазону варьирования.

По признаку «озерненность главной метелки» более чем у половины гибридов наблюдали сверхдоминирование ($h_p > 1$). Максимальная степень фенотипического доминирования отмечена у комбинаций 2 × 6; 3 × 4 и 6 × 3 (см. рис. 3). Количество зерен в главной метелке у данных гибридов варьировало от 44 до 57 шт. Наиболее интересной оказалась гибридная популяция, полученная при скрещивании Ensiler и Фомы, так как в ней удалось сохранить количество зерна в метелке на уровне местного сорта. Степень фенотипического доминирования была равна 1,0 ед.

Гибриды первого поколения комбинаций 5 × 1; 3 × 5; 2 × 5; 5 × 3 и 4 × 3 характеризовались отрицательным сверхдоминированием ($h_p < 1,0$). Максимальный эффект генетической депрессии зафиксирован у гибридов Талисман × Ensiler, Solidor × Талисман, Sang ×

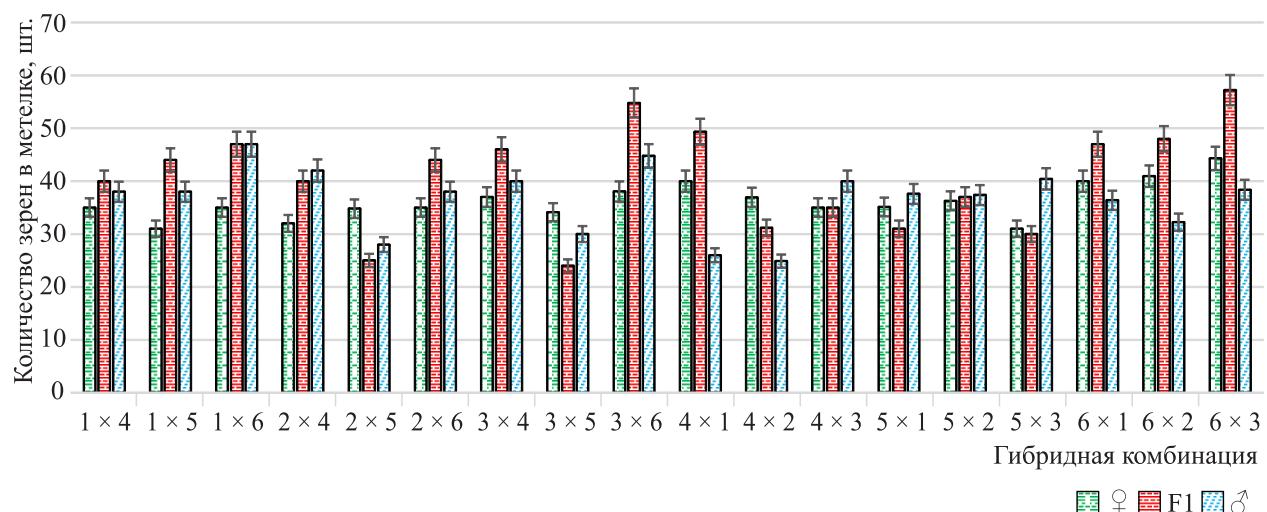


Рис. 3. Озерненность главной метелки у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности

Fig. 3. Grain content of the main panicle of parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

Талисман: h_p составил $-4,31$ и $-3,91$ ед. Необходимо отметить комбинацию 4×3 , где в качестве родительских форм были взяты Отрада и Solidor: в данном случае количество зерна в метелке оставалось на уровне местного сорта.

Гибриды первого поколения, полученные от скрещивания Отрады и иностранного сорта Sang (4×2 ; 2×4), характеризовались положительным доминированием ($0,5 < h_p < 1,0$) и промежуточным наследованием признака ($-0,5 < h_p < 0,5$), что позволяет включить их в селекционный процесс со второго поколения [13].

Аналогично проявила себя комбинация 5×2 , где в качестве материнской формы был взят сорт Талисман. Гибриды, полученные при таком скрещивании, обладали той же озерненностью, что и родительские формы.

Масса зерна с метелки – показатель, напрямую коррелирующий с продуктивностью. Поэтому его всегда учитывают при разработке модели сортов зерновых и зернобобовых культур [14, 15]. Среди изучаемых сортов овса минимальная масса зерна с метелки была у Талисмана (1,0 г) при достаточно хорошей выравненности значений (см. рис. 4).

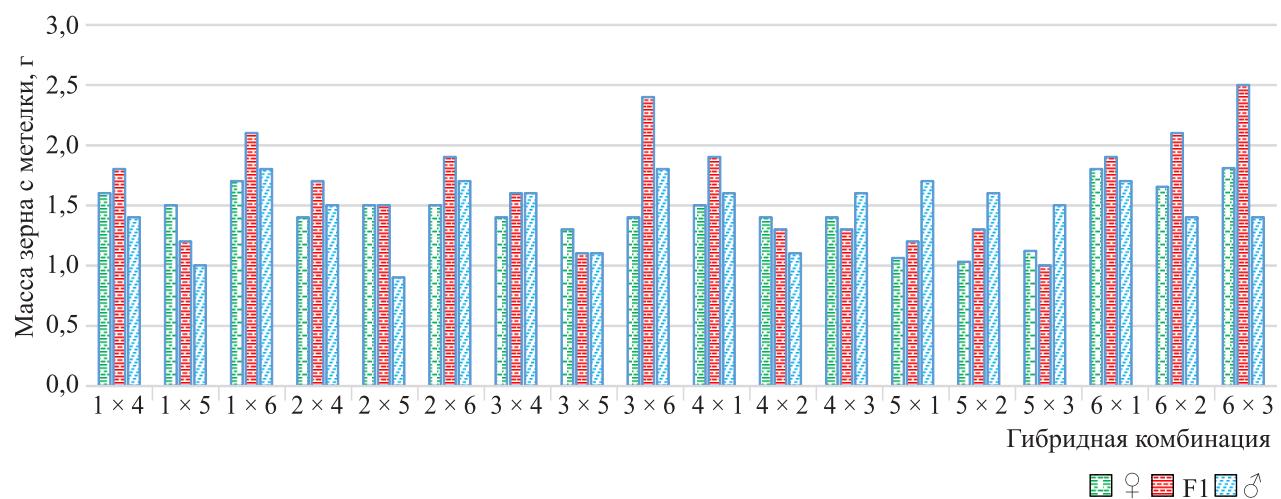


Рис. 4. Средняя масса зерна с метелки у родительских форм и гибридов первого поколения

Fig. 4. Average grain weight per panicle in parental forms and hybrids of the first generation

Разница между минимумом и максимумом составила 0,2 г. Отрада и Фома характеризовались более высокими значениями – 1,5 и 1,8 г соответственно ($HCP_{05} = 0,2$). Средние показатели массы зерна в метелке у иностранных сортов варьировали незначительно – от 1,4 (Sang) до 1,6 г (Ensiler). Они же отличались большим разбросом значений – размах вариации составил 0,5 г.

Наследование признака «масса зерна с главной метелки» у 11 из 18 гибридных популяций F1 проходило по типу сверхдоминирования – h_p варьировал от 1,0 ($2 \times 5; 3 \times 4$) до 7,0 (1×6). Необходимо отметить, что истинный гетерозис проявлялся при скрещивании любого иностранного сорта с Фомой: степень фенотипического доминирования варьировала от 3,0 до 7,0 ед.

Кроме того, были выделены три гибридные комбинации ($4 \times 3; 5 \times 3; 3 \times 5$) с эффектом отрицательного доминирования, у которых h_p находился в диапазоне от -1,00 до -2,12 ед. В этих комбинациях в качестве одной из родительских форм использовали сорт Solidor. Также отрицательное доминирование проявилось у гибридов из комбинаций $5 \times 1; 1 \times 5$ и 5×2 , в которых в качестве

одной из родительских форм выступал местный сорт Талисман.

В селекции овса актуально использование генотипов с крупным зерном. По данным ряда ученых⁷ [16, 17], размеры зерна и его геометрическая характеристика на 70–75% зависят от генотипа. Масса 1000 зерен определяет не только кормовое достоинство сорта, но и его пищевую ценность для человека. К тому же выращивание крупнозерных сортов овса значительно уменьшает потери урожая при уборке и сортировке [18]. В условиях рискованного земледелия посев овса с массой 1000 зерен более 35 г обеспечивает дружные и равномерные всходы, что позволяет снизить негативное влияние абиотических факторов [19, 20]. Особенно это актуально для Уральского федерального округа, где площади овса постепенно увеличиваются.

Используемый в опыте сорт Талисман характеризовался низкой массой 1000 зерен (см. рис. 5). В среднем по опыту данный показатель составил 29,1 г при варьировании от 27,3 до 30,4 г. Талисман по массе 1000 зерен показал себя как достаточно выравненный сорт, тогда как Отрада, несмотря на большую массу (35,3 г), имела достаточно широкий диапазон между минимумом и максимумом.

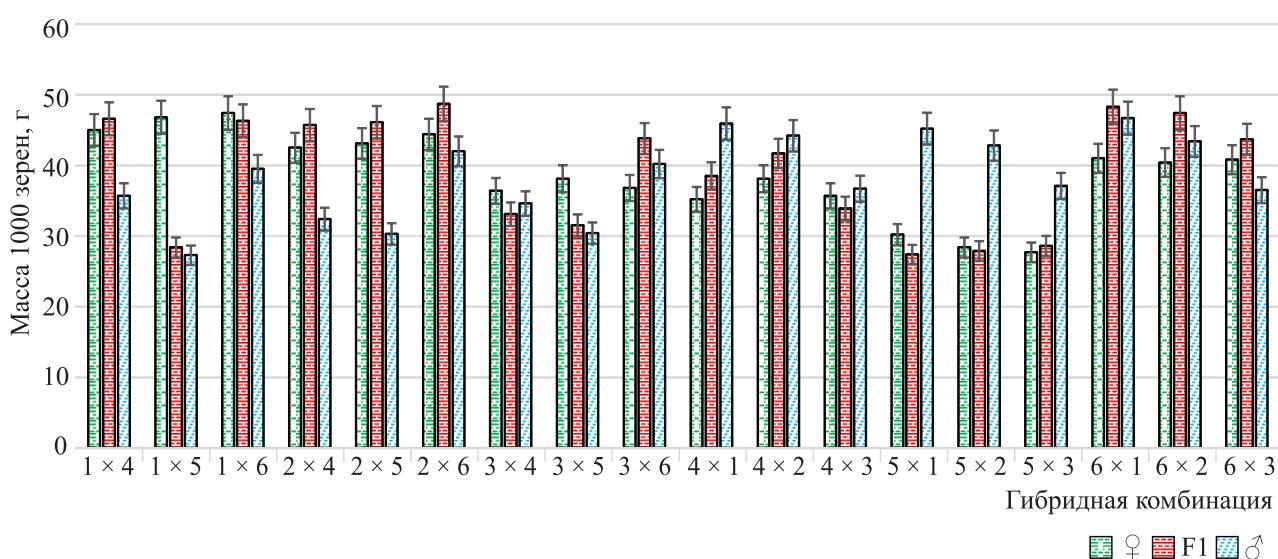


Рис. 5. Масса 1000 зерен у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности
Fig. 5. Thousand kernel weight of the parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

⁷Иванова Ю.С., Фомина М.Н., Лоскутов И.Г. Исходный материал для создания высокобелковых сортов овса в зоне Северного Зауралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178. № 2. С. 38–47.

Среди местных сортов Фома был самым крупнозерным – средняя масса 1000 зерен составила 40,7 г при незначительном варьировании (39,5–42,0 г). Столь выдающиеся показатели характеризуют Фому как сорт интенсивного типа.

Зерно иностранных сортов было крупнее, чем у местных генотипов. В условиях лесостепи Зауралья у сорта Solidor масса 1000 зерен была равна в среднем 36,9 г при варьировании от 36,9 до 38,1 г. Sang и Ensiler относятся к крупнозерным сортам овса: в их случае масса 1000 зерен в среднем составила 43,4 и 46,2 г. Выявленная вариабельность значений считается низкой, поэтому эти сорта можно отнести к интенсивному типу.

Гибриды первого поколения, имевшие явные признаки гетерозиса и высокую степень фенотипического доминирования ($h_p > 1,0$), отличались очень большой массой 1000 зерен – от 43,7 (6 × 3; 3 × 6) до 48,7 г (6 × 2; 2 × 6). В данных гибридных комбинациях участвовал местный сорт Фома и два иностранных сорта – Sang и Solidor.

В ходе гибридизации были получены популяции (4 × 3; 3 × 4; 5 × 1; 5 × 2), в кото-

рых проявляется эффект отрицательного сверхдоминирования ($h_p < -1$). У них масса 1000 зерен изначально была ниже значений родительских форм – от 27,4 до 33,9 г. Максимальная депрессия отмечена у потомства сортов Отрада и Solidor. В ходе гибридизации Отрады (♀) с сортами Solidor и Sang (♂) получены гибриды с промежуточным наследованием, вызванным аддитивным эффектом генов: h_p составил –0,4 и 0,18 ед. соответственно. Гибридные комбинации 1 × 5; 5 × 3; 3 × 5 характеризовались отрицательным доминированием – масса 1000 зерен гибридов первого поколения была близка к отцовским родительским формам (Талисман и Solidor).

Проведенные исследования показали, что наиболее ценными комбинациями в селекции овса являются те, у которых у гибридов первого поколения доминируют признаки, связанные с продуктивностью и высотой растений.

Согласно корреляционному анализу степени фенотипического доминирования, основные показатели продуктивности овса (масса 1000 зерен, озерненность, масса зерна в метелке) не имеют тесной зависимости от высоты растений – $r = 0,19 \dots 0,33$ (см. табл. 3).

Табл. 3. Степень фенотипического доминирования по некоторым показателям продуктивности у гибридов овса первого поколения

Table 3. The degree of phenotypic dominance for some indicators of productivity in the hybrids of the first-generation oats

Каталог скрещиваний	Гибридная комбинация	Высота растений, см	Длина метелки, см	Количество зерен в метелке, шт.	Масса зерна с метелки, г	Масса 1000 зерен, г
1 × 6	Ensiler × Отрада	–0,4	1,0	2,3	3,0	11,0
1 × 5	Ensiler × Талисман	–5,0	–0,3	2,7	–0,2	–0,3
1 × 4	Ensiler × Фома	8,2	7,0	1,0	7,0	8,8
2 × 4	Sang × Отрада	–0,2	1,8	0,6	5,0	2,0
2 × 5	Sang × Талисман	–3,5	–0,3	–1,9	1,0	–10,3
2 × 6	Sang × Фома	7,4	6,0	5,0	3,0	11,7
3 × 4	Solidor × Отрада	0,6	1,3	5,0	1,0	2,5
3 × 5	Solidor × Талисман	–2,5	–7,0	–3,9	–1,0	–8,7
3 × 6	Solidor × Фома	4,6	2,2	4,0	4,0	2,9
4 × 1	Отрада × Ensiler	3,0	2,0	2,3	6,1	3,7
4 × 2	Отрада × Sang	–1,4	0,2	0,0	0,3	–0,4
4 × 3	Отрада × Solidor	3,4	0,1	–1,0	–2,1	1,9
5 × 1	Талисман × Ensiler	–1,3	–7,0	–4,3	–0,6	–3,0
5 × 2	Талисман × Sang	–1,7	–6,0	0,3	–0,1	–4,6
5 × 3	Талисман × Solidor	7,8	–3,7	–1,2	–1,6	–0,1
6 × 1	Фома × Ensiler	4,4	5,7	4,9	3,0	2,1
6 × 2	Фома × Sang	–1,4	2,6	2,6	4,5	8,2
6 × 3	Фома × Solidor	2,4	–1,0	5,3	4,4	3,7

Поэтому отбор гибридологического материала можно вести по элементам продуктивности с учетом их потенциальной короткостебельности. По комплексу свойств были выделены гибриды первого поколения, полученные путем скрещивания иностранных и местных сортов овса. Перспективными для селекционного процесса оказались: *Ensiler* × *Отрада* (1 × 6), *Sang* × *Отрада* (2 × 4), *Фома* × *Sang* (6 × 2). Данные гибридные комбинации обладали меньшей высотой по сравнению с родительскими формами и преимущественно гетерозисным эффектом по элементам продуктивности. Гибридные популяции от скрещиваний *Solidor* × *Фома* (3 × 6), *Фома* × *Ensiler* (6 × 1), *Фома* × *Solidor* (6 × 3), *Solidor* × *Фома* (3 × 6) и *Sang* × *Фома* (2 × 6) были достоверно выше родительских форм, но также характеризовались положительным сверхдоминированием элементов структуры урожая, что делает их перспективными для селекции в условиях лесостепи Зауралья.

Остальные гибриды первого поколения, полученные в ходе исследования, можно рассматривать как источники отдельных хозяйствственно ценных признаков. Наименее ценными оказались гибриды, полученные путем скрещивания *Отрады* (♀) с сортом *Solidor* (♂), а также *Талисмана* со всеми иностранными сортами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что используемые в исследовании иностранные и местные сорта достаточно хорошо скрещиваются и дают жизнеспособные семена. Процент удачи по опыту в целом составил 45–65%. Наиболее удачные скрещивания происходят при использовании сортов *Ensiler* и *Отрада* в качестве материнской формы – 65 и 60% соответственно. Минимальный процент удачи отмечен, когда в качестве материнского сорта применяли *Solidor* и *Фому* – 45 и 49% соответственно. В результате были выделены наиболее перспективные для дальнейшей селекционной работы гибридные комбинации: *Ensiler* × *Отрада*, *Sang* × *Отрада*, *Фома* × *Sang*, в которых отбор высокопродуктивных геноти-

пов можно проводить со второго поколения. Степень фенотипического доминирования данных гибридов варьировала в диапазоне от 3,0 до 5,0, что соответствует положительно-му сверхдоминированию. Количество зерна с главной метелки составило 40–48 шт. при массе 1000 зерен 45,7–47,4 г. В комбинациях *Ensiler* × *Фома*, *Фома* × *Ensiler*, *Solidor* × *Фома*, *Sang* × *Фома* отбор будет эффективнее в более поздних поколениях. Полученные гибриды характеризовались ярко выраженным гетерозисным эффектом лишь по отдельным элементам структуры урожая. Масса зерна с главной метелки у данных гибридов варьировала от 1,9 до 2,4 г, озерненность – от 44 до 55 шт. Скрещивание *Талисмана* с иностранными сортами (*Ensiler*, *Sang*, *Solidor*) не является перспективным, так как полученные при этом гибриды F1 не обладают эффектом улучшения хозяйствственно ценных свойств в первом поколении. В гибридных комбинациях, где в качестве одной из родительских форм выступал сорт *Талисман*, отмечалось отрицательное сверхдоминирование по основным показателям продуктивности: количество зерен, масса зерна с растения, масса 1000 зерен. Остальные гибридные комбинации овса можно использовать только в селекции по отдельным признакам и свойствам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность и адаптивность сортов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Северного Зауралья // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (64). С. 67–75. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.
2. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского плато // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2022. Т. 15. № 4. С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399.
3. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Гумусовое состояние темно-серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. № 10 (187). С. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.

4. Ахадова Э.Т., Баташева Б.А., Блинова Е.В., Лоскутов И.Г. Каталог мировой коллекции ВИР. СПб., 2019. Вып. 897: Овес: агробиотехнологическая характеристика образцов в условиях Дагестанского филиала ВИР. 36 с. DOI: 10.30901/978-5-907145-27-6.
5. Любимова А.В., Ерёмин Д.И., Мамаева В.С., Брагин Н.А., Белоусов С.А., Брагина М.В., Кочнева Д.А., Таутекенова А.К. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (182). С. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
6. Любимова А.В., Иваненко А.С. Овес в Тюменской области: монография. Тюмень, 2021. 172 с.
7. Наумов И.В., Полковская М.Н. Анализ сортопрототипов ярового овса в Иркутской области // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 102. С. 35–44. DOI: 10.51215/1999-765-2021-102-35-44.
8. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Влияние систем обработки на агрофизические параметры темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье // Земледелие. 2023. № 1. С. 27–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.
9. Мoiseева М.Н., Ерёмин Д.И. Проблема полегания и урожайности овса при различном уровне минерального питания в лесостепи Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 46–50.
10. Loskutov I.G. Advances in cereal crops breeding // Plants. 2021. Vol. 10. N 8. P. 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
11. Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагин Н.А., Брагина М.В. Качество зерна перспективных линий овса на заключительном этапе селекционного процесса в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 3. С. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_34.
12. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В., Зюте С.А. Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 1. С. 57–75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
13. Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I., Loskutov I.G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. N 2. P. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
14. Таутекенова А.К., Мамаева В.С., Ерёмин Д.И. Модель сорта как основа маркерной селекции овса посевного для Западной Сибири (аналитический обзор) // Эпоха науки. 2022. № 31. С. 188–194. DOI: 10.24412/2409-3203-2022-31-188-194.
15. Казак А.А., Логинов Ю.П. Научные основы разработки модели сорта яровой мягкой пшеницы для Западной Сибири // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (31). С. 9–12.
16. Ерёмин Д.И., Любимова А.В., Таутекенова А.К., Кочнева Д.А. Элементы продуктивности и характер их наследования гибридами F1 овса ярового (*Avena sativa* L.) в Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 7. С. 25–30. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_25.
17. 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. Спецвыпуск. С. 29.
18. Тулякова М.В., Баталова Г.А., Пермякова С.В. Адаптивный потенциал генофонда овса пленчатого по массе 1000 зерен // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5 (77). С. 3–8. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-3-8.
19. Снигирева О.М., Ведерников Ю.Е. Влияние сроков сева и уборки на урожайность и посевные качества семян ярового овса Сапсан // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 3. С. 230–237. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.3.230-237.
20. Ерёмин Д.И., Мoiseева М.Н., Любимова А.В. Генетические и агрохимические особенности формирования посевных качеств овса при различном уровне минерального питания // Аграрный вестник Урала. 2022. № 8 (223). С. 27–38. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-27-38.

REFERENCES

1. Sapega V.A., Tursumbekova G.Sh. Yield and adaptability of spring wheat varieties of different maturity groups under forest-steppe conditions of the Northern Trans-Urals.

- Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU*, 2022, no. 3 (64), pp. 67–75. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.
2. Kayugina S.M., Eremin D.I. Physicochemical properties of gray forest soils on the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya = Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 471–490. (In Russian). DOI: 10.17516/1997-1389-0399.
3. Kayugina S.M., Eremin D.I. Dark gray forest soils humus state of the Northern Trans-Urals. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KrasSAU*, 2022, no. 10 (187), pp. 35–42. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.
4. Akhadova E.T., Batasheva B.A., Blinova E.V., Loskutov I.G. *Catalogue of the VIR global collection*. St. Petersburg, 2019, Is. 897: Oats: agrobiological characteristics of accessions for the environments of the Dagestan branch of VIR, 36 p. (In Russian). DOI: 10.30901/978-5-907145-27-6.
5. Lyubimova A.V., Eremin D.I., Mamaeva V.S., Bragin N.A., Belousov S.A., Bragina M.V., Kochneva D.A., Tautokenova A.K. Siberian oat varieties' biochemical passports catalog. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KrasSAU*, 2022, no. 5 (182), pp. 73–83. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
6. Lyubimova A.V., Ivanenko A.S. *Oats in the Tyumen region*. Tyumen, 2021, 172 p. (In Russian).
7. Naumov I.V., Polkovskaya M.N. Analysis of variety testing of spring oats in the Irkutsk region. *Vestnik IrGSKhA = Vestnik IrGSHA*, 2021, no. 102, pp. 35–44. (In Russian). DOI: 10.51215/1999-765-2021-102-35-44.
8. Perfil'ev N.V., V'yushina O.A. Influence of tillage systems on agrophysical parameters of dark grey forest soil in the Northern Trans-Urals. *Zemledelie = Zemledelie*, 2023, no. 1, pp. 27–31. (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.
9. Moiseeva M.N., Eremin D.I. The problem of lodging and productivity of oats at different levels of mineral nutrition in the forest-steppe of the Trans-Urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2022, no. 4 (96), pp. 46–50. (In Russian).
10. Loskutov I.G. Advances in cereal crops breeding. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 8, P. 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
11. Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragin N.A., Bragina M.V. Grain quality of promising oat lines at the final stage of the breeding process in the conditions of the northern Trans-Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2023, vol. 37, no. 3, pp. 34–38. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_34.
12. Polonskiy V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V., Zute S.A. Adaptive potential of oat accessions in the context of their chemical and physical grain characteristics. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2022, vol. 183, no. 1, pp. 57–75. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
13. Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I., Loskutov I.G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
14. Tautokenova A.K., Mamaeva V.S., Eremin D.I. The model of the variety as the basis of marker selection of oats for Western Siberia (analytical review). *Epokha nauki = Era of Science*, 2022, no. 31, pp. 188–194. (In Russian). DOI: 10.24412/2409-3203-2022-31-188-194.
15. Kazak A.A., Loginov Yu.P. Scientific areas of spring soft wheat for Western Siberia. *Vestnik Kurganskoi GSKhA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, 2019, no. 3 (31), pp. 9–12. (In Russian).
16. Eremin D.I., Lyubimova A.V., Tautokenova A.K., Kochneva D.A. Elements of productivity and the nature of their inheritance by F1 hybrids of spring oat (*Avena sativa L.*) in Western Siberia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2022, vol. 36, no. 7, pp. 25–30. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_25.
17. Ivanova Yu.S., Fomina M.N., Pai O.A. Morphological features and geometric characteristics of grain of naked oat samples. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya = Molecular genetics, microbiology and virology*, 2019, vol. 37, special edition, p. 29. (In Russian).

18. Tulyakova M.V., Batalova G.A., Permyakova S.V. Adaptive potential of the hulled oats gene pool according to 1000-grain weight. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2021, no. 5 (77), pp. 3–8. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-3-8.
19. Snigireva O.M., Vedernikov Yu.E. Influence of sowing and harvesting time on productivity and sowing qualities of spring oat Sapsan seeds. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 230–237. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.3.230-237.
20. Eremin D.I., Moiseeva M.N., Lyubimova A.V. Genetic and agrotechnological features of the formation of sowing qualities of oats at different levels of mineral nutrition. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2022, no. 8 (223), pp. 27–38. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-27-38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

(✉) **Любимова А.В.**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 625501, Тюменская область, п. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Ерёмина Д.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

AUTHOR INFORMATION

(✉) **Anna V. Lyubimova**, Candidate of Science in Biology, Laboratory Head; **address:** 2, Burlaki St., Moskovsky, Tyumen Region, 625501, Russia; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Diana V. Eremina, Candidate of Science in Agriculture, Associate Professor

Дата поступления статьи / Received by the editors 08.08.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.09.2023

Дата публикации / Published 15.12.2023