

ФОРМИРОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНА ОВСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНОТИПА И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ

А. В. Любимова, кандидат биологических наук, Д. И. Еремин, доктор биологических наук

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья –
филиал Федерального исследовательского центра Тюменский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук,
625501, Тюменская обл., пос. Московский, ул. Бурлаки, 2
E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Исследования проводили с целью оценки зависимости биохимических показателей зерна овса (сырой протеин, крахмал, масло и β -глюканы) от генотипа и погодных условий, а также выявления перспективных образцов для использования в селекционном процессе. В лесостепи Зауралья в 2021–2023 гг. оценивали 21 образец голозерного и 64 образца плёчатого овса, которые наиболее активно используют в селекции Западной Сибири. В качестве стандарта для голозерных сортов выбран Тюменский голозерный, для плёчатых – Отрада. На накопление сырого протеина и β -глюканов в зерне овса наибольшее влияние оказывал генотип (78...80 %); меньшее – погодные условия – 12...15 %, при минимальном взаимодействии этих факторов – 4...7 % ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$). Содержание масла и крахмала на 85...86 % определяли сортовые особенности, на условия года приходилось – 3...6 % при ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$). Влияние взаимодействия генотипа и погодных условий на содержание масла достигало 11 %. Установлена тесная положительная корреляция между содержанием протеина и масла в голозерном овсе ($r=0,96$; $p=0,05$), в плёчатых образцах она была средней ($r=0,25$; $p=0,05$). Содержание β -глюканов имело обратную среднюю корреляцию с протеином в зерне плёчатых генотипов ($r=-0,38$), у голозерных она отсутствовала. Между содержанием β -глюканов и масла наблюдали отрицательную корреляцию ($r=-0,32$; $p=0,05$) в плёчатых образцах. Для введения в селекционный процесс с целью повышения содержания крахмала (60,1...62,3 %) можно рекомендовать сорта Вятский (14960), MF 9521–281 (15096), MF9714–32 (15227), Прогресс (15339), Королёк (15461); β -глюканов (6,1...6,3 %) – Ровесник (14365), Аргамак (14648), Neklan (14936), Konkur (15068); Озон (15473); протеина (16,1...17,5 %) – Ровесник (14365), Першерон (15275), Помор (15117), Тайдон (15183); масла (6,1...7,4 %) – Саспан (15444), Пегас (15114), Петрович (15691).

FORMATION OF BIOCHEMICAL PARAMETERS OF OAT GRAIN DEPENDING ON THE GENOTYPE AND WEATHER CONDITIONS

A. V. Lyubimova, D. I. Eremin

Research Agricultural Institute of the Northern Trans-Urals,
branch of the Federal Research Center of Tyumen Scientific Center,
Siberian branch, Russian Academy of Sciences,
625501, Tyumenskaya obl., pos. Moskovskii, ul. Burlaki, 2
E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

The studies were conducted to assess the dependence of the biochemical parameters of oat grains (crude protein, starch, oil and β -glucans) on the genotype and weather conditions to determine the prospects for their use in the breeding process. In the forest-steppe of the Trans-Urals in 2021–2023, 21 samples of naked and 64 samples of covered oats were studied, which are most actively used in breeding in Western Siberia. Tyumen nudibranch was taken as the standard for naked cultivars, and for covered cultivars it was Otrada. It was found that the genotype played a significant role in the content of crude protein and β -glucans in oat grain (78...80 %); weather conditions – 12...15 %, with minimal interaction of these factors – 4 and 7 % ($F_{\text{fact.}} > F_{\text{theor.}}$) respectively. Retention of oil and seaweed at 85...86 % exceeds the permissible values, and now to a minimum extent – 3 and 6 %, respectively ($F_{\text{fact.}} > F_{\text{theor.}}$). The effect of the genotype and the subsequent level on the oil content is 11 %. A close relationship between content and consumption has been established. Protein and oil in naked oats ($r=0.96$; $p=5\%$), in frequent cases it was the average ($r=0.25$; $p=5\%$). The content of β -glucans had an inverse average correlation with protein in the grain of filmy genotypes ($P=-0.38$), it was absent in nudibranchs. A negative correlation was established between the content of β -glucans and oil ($g=-0.32$; $p=5\%$) in covered samples. The analysis of variance and correlation showed the possibility of targeted selection in terms of protein and oil content. It is recommended to introduce the following genotypes into the breeding process to increase the content: starch (60.1...62.3 %) – Vyatsky (14960), MF 9521–281 (15096), MF9714–32 (15227), Progress (15339), Korolek (15461); β -glucans (6.1...6.3 %) – Rovesnik (14365), Argamak (14648), Neklan (14936), Konkur (15068); Ozone (15473); protein (16.1...17.5 %) – Rovesnik (14365), Percheron (15275), Pomor (15117), Taidon (15183); oils (6.1...7.4 %) – Sapsan (15444), Pegasus (15114), Petrovich (15691).

Ключевые слова: направленная селекция, протеин, крахмал, β -глюканы, масло, голозерный и плёчатый овёс, генотип.

Key words: directed selection, protein, starch, β -glucans, oil, naked and covered oats, genotype.

Создание новых сортов овса для пищевого или кормового использования в России традиционно не имеет каких-то принципиальных отличий. Многие годы овёс считали зернофуражной культурой, поэтому, главным образом, все внимание селекционеров было сосредоточено на продуктивности сорта и питательности его продукции [1]. Только в последние годы начал возрас-

тать интерес к овсу как к продовольственной культуре. Однако, как показала практика, зернофуражные сорта не подходят для перерабатывающей промышленности, в частности крупяной, по комплексу биохимических показателей. При этом часть необходимых показателей все-таки соответствует требованиям, предъявляемым к зерну пищевого направления, например, крупность,

низкая плёчатость, содержание сырого протеина. Однако по таким показателям, как содержание и состав углеводов, жирно-кислотный состав, соотношение аминокислот и антиоксидантов, витаминов и микроэлементов, информации крайне мало или она вообще отсутствует. Еще меньше сведений о характере наследования биохимических показателей при селекции овса. Поэтому возникает необходимость изучения генетических коллекций и выявления характера передачи таких свойств новым сортам. Необходимо признать, что современная селекция зерновых культур, в том числе овса, должна учитывать принципы функционального питания и четко-го разделения на сорта продовольственного и кормового направления [2, 3].

Помимо общепринятых биохимических показателей, к которым относится содержание протеина, крахмала и масла, в продукции овса достаточно много ценных веществ, которые учитывают при селекции зерновых культур для функционального питания. К числу таких веществ принадлежат β -глюканы, которые входят в группу сложных полисахаридов [4]. Они оказывают влияние на функционирование организма человека, предотвращая нарушение обмена веществ [5]. Результаты последних зоотехнических и ветеринарных исследований показали актуальность регулярного поступления β -глюканов в организмы сельскохозяйственных животных и птицы [6]. По этой причине ведущие селекционеры зернофуражных культур стали уделять повышенное внимание содержанию этих полисахаридов при создании современных сортов. Анализ современных литературных источников показал, что поиск путей решения этой проблемы уже ведется. Появились исследования по определению содержания β -глюканов, аминокислотного и жирно-кислотного состава [7]. Установлено, что помимо влияния генотипа, на качественные показатели зерна существенное воздействие оказывают почвенно-климатические условия и агротехника [8]. Поэтому крайне важен анализ коллекций овса в региональных селекционных центрах и введение выделившихся сортов в селекционный процесс.

Цель исследования – определение зависимости биохимических показателей зерна овса (сырой протеин, крахмал, масло и β -глюканы) от генотипа и погодных условий, а также выявление перспективных образцов для использования в селекционном процессе.

Методика. Работу проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья, которое расположено в северной лесостепи Тюменской области, вблизи пос. Московский Тюменского района. Почва опытного участка – темно-серая лесная оподзоленная (по классификации WRB от 2022 г. – Luvic Retic Greyzemic Phaeozems) [9]. Она характеризовалась тяжелосуглинистым, иловато-пылеватым гранулометрическим составом и следующей агрохимической характеристикой: обеспеченность нитратным азотом (ГОСТ Р 53219–2008) – очень низкая (до 5,0 мг/кг); подвижными формами фосфора и калия (ГОСТ 26204–91) – соответственно средняя (51...100 мг/кг) и повышенная (81...120 мг/кг). Содержание органического углерода (ГОСТ 23740–2016) – 4,35 %, что соответствовало 7,5 % гумуса. Соотношение углерода к азоту 10...12 ед.

Для изучения биохимического состава зерна отобрали 85 генотипов, которые были разделены по типу зерна (плёчатые – 64 шт.; голозерные – 21 шт.), а также по стране происхождения (табл. 1). В качестве стандарта для группы голозерных образцов выбран местный сорт Тюменский голозерный (к-14784 – номер каталога,

Табл. 1. Перечень сортов плёчатого и голозерного овса в изучаемой коллекции

Тип зерна	Страна происхождения, № сорта по каталогу ВИР*
Голозерные	Россия – 14784, 14960, 15063, 15067, 15117, 15183, 15275, 15339, 15439, 15553, 15757; США – 7774, 14440, 15090, 15096, 15227; Австралия – 14851; Белоруссия – 15461; Германия – 14809; Канада – 2299; Чехия – 14935.
Плёчатые	Россия – 11717, 13780, 13924, 14029, 14033, 14043, 14231, 14365, 14373, 14422, 14505, 14506, 14570, 14648, 14778, 14779, 14780, 14783, 14785, 14788, 14857, 14859, 15008, 15013, 15065, 15068, 15113, 15114, 15176, 15181, 15187, 15213, 15277, 15239, 15335, 15340, 15451, 15380, 15443, 15444, 15494, 15497, 15498, 15617, 15691, 15695, 15760, 15818; Чехия – 14292, 14400, 14931, 14932, 14936; Австралия – 15413; Белоруссия – 15462; Бразилия – 15033; Германия – 11840, 15473; Греция – 14836; Канада – 14915; США – 14732, 14801; Швеция – 11907; Япония – 14877.

*названия сортов отмечены в каталоге ВИР [10].

присвоенный ФИЦ Всероссийским институтом генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова), включенный в Госреестр и используемый в ГСИ и производстве. Остальные (64 шт.) были представлены плёчатыми образцами, в том числе 48 из России с максимально возможным охватом территории нашей страны, 5 из Чехии, 2 из США, 2 из Германии. При оценке плёчатых генотипов в качестве стандарта использовали сорт Отрада (к-15380) тюменской селекции, который также включен в Госреестр.

Метеоусловия 2021 и 2023 гг. характеризовались аномально жаркой и сухой погодой. В период цветения и цветения запасы продуктивной влаги в метровом слое составляли 80...100 мм при среднемноголетних значениях 186 мм. Отмечали почвенную и атмосферную засуху.

Табл. 2. Погодные условия в межфазные периоды развития овса

Критерий	Посев- всходы	Всходы- кущение	Куше- ние-вы- ход в трубку	Выход в труб- ку-вы- мётыва- ние	Вы- мётыва- ние-мо- лочная спелость	Молоч- ная спе- лость- полная спелость
Среднемноголетнее						
Темпе- ратура воздуха, °C	12	16	18	19	17	15
Сумма осадков, мм	15	31	45	64	37	17
ГТК	1,13	1,11	1,09	1,58	1,24	1,64
2021 г.						
Темпе- ратура воздуха, °C	20	20	21	26	21	20
Сумма осадков, мм	1	14	33	26	13	7
ГТК	0,06	0,09	0,7	0,84	0,3	0,56
2022 г.						
Темпе- ратура воздуха, °C	13	16	16	21	18	19
Сумма осадков, мм	20	43	25	56	54	2
ГТК	5,21	1,23	1,76	1,78	1,22	0,76
2023 г.						
Темпе- ратура воздуха, °C	15	22	14	24	12	12
Сумма осадков, мм	2	3	56	0	16	6
ГТК	0,07	0,13	4,1	0	1,27	0,5

В период прорастания овса сумма осадков не превышала 2 мм, а гидротермический коэффициент составил 0,06...0,07 ед. при среднемноголетнем значении 1,13. В 2021 г. на протяжении вегетации овса ГТК Селянинова не поднимался выше 0,84 ед., что соответствовало засушливой погоде. В 2023 г. обильные осадки выпали в периоды кущение–выход в трубку (56 мм) и выметывание–молочная спелость (16 мм), гидротермический коэффициент составил соответственно 4,10 и 1,27 ед. Это предотвратило гибель посевов от засухи. В 2022 г. метеоусловия вегетационного периода были оптимальны для развития зерновых культур. В период от посева до кущения выпало 63 мм осадков, при норме 46 мм, что обеспечило дружные всходы и пополнило запасы продуктивной влаги в почве. Во время созревания овса установилась жаркая и сухая погода – среднесуточная температура составляла 19 °С, сумма осадков – 2 мм, что положительное повлияло на дозревание зерна и уборочные работы. Год характеризовался как теплый и умеренно влажный.

Каждый образец высевали вручную на глубину 6...7 см на 1 м² (5 рядков с междурядьем 20 см). Между образцами оставляли расстояние 30 см. В течение вегетации проводили полевые наблюдения согласно действующим методикам [11, 12]. Уборку урожая осуществляли вручную с обмолотом снопа со всей делянки. Содержание в зерне сырого протеина определяли методом мокрого озоления с последующим фотометрированием по реактиву Неслера (ГОСТ 13496.4-2019); крахмала – по ГОСТ 10845-98; масла (жира) – по ГОСТ 29033-91, β -глюканов – гравиметрическим методом, предложенным В. С. Поповым [13]. Вклад факторов в проявление признаков оценивали методом дисперсионного анализа в Microsoft Excel. Для оценки достоверности результатов исследований использовали критерий Фишера при 5%-ном уровне значимости. Каждый изучаемый показатель подвергали ранжированию с последующей квартильной группировкой для выявления групп с максимальным, средним и минимальным проявлением признака [14].

Результаты и обсуждение. Между содержанием протеина и масла в зерне голозерного овса существует очень тесная положительная корреляция ($r=0,96$; $p=0,05$). У плёчатых сортов для этой пары признаков была характерна средняя (по шкале Чеддока) положительная связь ($r=0,25$; $p=0,05$). Аналогичную закономерность наблюдали и другие исследователи [15, 16, 17].

В зерне плёчатых сортов отмечена средняя отрицательная корреляция между содержанием β -глюканов и протеина ($r=-0,38$; $p=0,05$), тогда как у голозерных генотипов какая-либо связь отсутствовала. Возможно, это объясняется незначительной выборкой голозерных сортов, взятых для исследований. Их количество было в 3 раза меньше, чем плёчатых. Анализ научных публикаций по этой теме не дал однозначных ответов [18, 19, 20]. У голозерных сортов отмеченная зависимость сохраняла направленность, но сопряженность была менее выражена.

Кроме того, у плёчатых сортов установлена отрицательная корреляция между содержанием β -глюканов и масла в зерне ($r=-0,32$; $p=0,05$), у голозерных такая связь отсутствовала.

Содержание сырого протеина в зерне голозерных сортов овса было значительно больше, чем у плёчатых, в среднем по группе разница составляла 3,5%. В среднем за три года содержание протеина в продукции голозерных сортов варьировало от 13,2 $\pm$ 1,5 (Гаврош, 15439) до 17,7 $\pm$ 1,2% (Тюменский голозерный, 14784). У трех

сортообразцов этой группы из разных стран – Гаврош (15439, Россия), Jzau (14935, Чехия) и Large hullless $\times$ Red rustproof (7774, США) – содержание протеина составляло от 12,1 до 14,0%. К высокобелковым (>16%) относились сорта Голец (15067), Королек (15461), Першерон (15275), Помор (15117), Прогресс (15339), Самсон 57 (15757), Сибирский голозерный (15063), Тайдон (15183) и Тюменский голозерный (14784). Высокое содержание сырого протеина в их продукции отмечали и другие исследователи [21].

Среди 64 плёчатых генотипов выявлены 3 сорта, содержание протеина в зерне которых превышало 16%: Ровесник (14365, Россия) – 16,1 $\pm$ 0,1%; Palini (14836, Греция) – 16,2 $\pm$ 0,6% и Bortus (11840, Германия) – 17,1 $\pm$ 0,4%. Необходимо отметить, что минимальная в опыте вариабельность содержания протеина по годам отмечена только у отечественного сорта Ровесник – $CV=3\%$, у иностранных Palini и Bortus она достигала 12 и 9% соответственно. В группе с содержанием сырого протеина от 14,1 до 16,0% также было 3 сорта – Факир (14373), Hondai 8473 (14877) и PJ 244467 (1503). Основная часть коллекции плёчатых сортов (58% от общего количества) разделилась на две группы: 10,1...12,0% и 12,1...14,0% – в первой были отечественные сорта. Иностранные генотипы отнесены к группе с повышенным содержанием сырого протеина в зерне (12,1...14,0%).

Сорт Отрада, который был взят за стандарт среди голозерных, выделялся низким содержанием протеина в зерне – 9,9 $\pm$ 0,2%. Кроме того, в группу с низкой величиной этого показателя вошли Эклипс (15187), СИГ (15335), Тулунский 19, Талисман (14785), Фома (15451), Стайер (15181), Уралец (15498) и единственный иностранный образец – Effektiv (15413) австрийской селекции. При этом известно, что столь низкое содержание сырого протеина можно изменить путем оптимизации минерального питания [22].

Зерно овса по биохимическим свойствам существенно отличается от продукции пшеницы или ячменя прежде всего наличием большого количества масла. Как отмечают исследователи, его содержание варьирует в диапазоне – от 4,6 до 6,7% [23]. В ходе трехлетнего изучения в условиях лесостепи Зауралья содержание масла в зерне овса варьировало от 2,9 (Маршал, 15695) до 10,4% (Тайдон, 15183). Необходимо отметить, что у сорта Тайдон оно варьировало в широком диапазоне – от 6,6 (2023 г.) до 10,1% (2021 г.), что указывает на определенную связь между содержанием масла и погодными условиями.

Для голозерного овса характерно высокое содержание масла [24], что подтверждают результаты наших исследований. В изучаемой коллекции величина этого показателя у всех сортов превышала 4,0%. Среди плёчатых содержание масла до 4,0% отмечали у 12 сортов, в том числе 2 иностранного происхождения – Effektiv (15413) и R0 ABDH (14400). К этой же группе отнесен местный сорт – Фома (15451), в зерне которого содержание масла в среднем за три года находилось на уровне 3,5% при коэффициенте вариабельности 8%.

Группу генотипов с содержанием масла в зерне от 4,1 до 5,0% составляли 13 сортов, в том числе – Талисман (14785). В группе с аналогичным содержанием масла оказались 7 голозерных сортов, в том числе отечественные Сибирский голозерный (14935) и Помор (15096), которые характеризовались максимальной вариабельностью величины этого показателя по годам – от 3,9 до 5,6% ($CV=12\%$). Такая же реакция на изменение погоды отмечена у американского генотипа Large hullless $\times$ Red rustproof (15439). К генотипам с содержанием масла

Табл. 3. Группировка образцов овса в зависимости от содержания сырого протеина и масла в зерне (среднее за 2021–2023 гг.), %

Диапазон проявления признака, %	Голозерные	Плечатые
Содержание сырого протеина		
<10,0	-	14783, 14785, 15181, 15187, 15335, 15380, 15413, 15451, 15498
10,1...12,0	-	13780, 14033, 14422, 14506, 14778, 14779, 14780, 14859, 15013, 15065, 15213, 15277, 15340, 15443, 15462, 15497, 15617, 15695, 15760, 15818
12,1...14,0	7774, 14935, 15439	11717, 13924, 14029, 14043, 14231, 14292, 14400, 14505, 14570, 14648, 14732, 14788, 14801, 14857, 14915, 14931, 14932, 14936, 15008, 15113, 15114, 15176, 15239, 15473, 15068, 11907, 15444, 15494, 15691
14,1...16,0	2299, 14440, 14809, 14851, 14960, 15090, 15096, 15227, 15553	14373, 14877, 15033
>16,0	14784, 15063, 15067, 15117, 15183, 15275, 15339, 15461, 15757	11840, 14365, 14836
Содержание масла		
<4,0	-	14400, 14505, 14778, 14783, 14859, 15181, 15187, 15239, 15413, 15451, 15498, 15695
4,1...5,0	15439, 14935, 7774, 15090, 15096, 15227, 14851	11840, 13780, 14043, 14365, 14780, 14785, 14931, 14932, 15065, 15213, 15340, 15462, 15497
5,1...6,0	2299, 14440, 14809, 15553	11717, 11907, 13924, 14029, 14033, 14292, 14373, 14422, 14506, 14570, 14648, 14732, 14779, 14788, 14801, 14836, 14857, 14877, 14936, 15008, 15013, 15033, 15068, 15113, 15176, 15277, 15335, 15380, 15443, 15473, 15494, 15617, 15760, 15818
>6,0	14784, 14960, 15063, 15067, 15117, 15183, 15275, 15339, 15461, 15757	14231, 14915, 15114, 15444, 15691

4,1...6,0% были отнесены 75 % сортов плёчатого овса.

В ходе исследований были выделены генотипы с содержанием масла в зерне более 6%. В нее вошли отечественные сорта Сапсан (15444); Пегас (15114) и Петрович (15691). В среднем за три года величина этого показателя у сорта Сапсан составляла 6,1 % с варьированием от 4,5 (2023 г.) до 7,1 % (2022 г.). Варибельность признака была очень высокой и зависела от погодных условий вегетационного периода – $CV=20\%$.

В зерне сорта Пегас среднее содержание масла было достоверно выше, чем у сорта Сапсан ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ при $p=0,05$) – 7,1 %, что в 1,5 раза выше среднего у плечатых сортов. В 2021 и 2022 гг. величина этого показателя у Пегаса достигала $7,9 \pm 0,3\%$, но в 2023 г. она уменьшилась до 5,8 %. Коэффициент варибельности признака у сорта Пегас составил 12 %, что соответствует среднему уровню изменчивости. Этот факт указывает на меньшую степень влияния погодных условий на содержание масла в зерне сорта Пегас.

Наибольшее содержание масла в группе плёчатых генотипов в среднем за три года исследований зафиксировано у сортов Петрович (15691) – $7,4 \pm 0,3\%$. В отличие от Сапсана и Пегаса, он характеризовался стабильно высокой величиной этого показателя. Варибельность признака была очень низкой ($CV=2\%$), что делает его наиболее перспективным для направленного селекционного процесса. Такого мнения придерживаются и другие ученые, исследующие масличность овса [25].

Содержание крахмала – один из главных показателей качества зерна. Для овса он не менее важен, чем для пшеницы, поскольку зерно этой культуры активно используют и в мукомольной промышленности, и как источник легкоусвояемых углеводов в кормах для животных и птиц [26, 27].

Среди голозерных форм овса не оказалось ни одного генотипа, в зерне которого было менее 45 % крахмала (табл. 3). Основная часть сортов отнесена к группе с содержанием крахмала 55,1...60,0 %. Было выделено 5 генотипов голозерного овса, в зерне которых оно превышало 60 %, в том числе по 2 сорта из России и США и 1 – из Белоруссии.

Голозерные и плёчатые формы овса характеризуются разным содержанием β -глюканов. К группе с диапазоном до 4,0 % отнесены 5 генотипов голозерного овса: Азиль (15553), Вятский (14960), Large hullless $\times$ Red rustproof (7774), Голец (15067) и Polard (2299). В эту же группу вошли 37 плёчатых сортов. Содержание β -глюканов в диапазоне 4,1...5,0 % отмечено у 7 голозерных и 18 плёчатых сортов.

Кроме того, выделены генотипы, в зерна которых содержание β -глюканов превышало 6,0 %. В этой группе было 8 голозерных сортов, из которых только 2 были российской селекции: Помор (15117) и Тюменский голозерный (14784). Содержание β -глюкана в их зерне составляло $6,9 \pm 0,1\%$ при коэффициенте вариации по годам менее 10 %. У 4 сортов из США величина этого показателя варьировала от 6,2 до 6,9 % при меньшей варибельности по годам ($CV=4\ldots6\%$).

В группе плёчатых сортов овса с содержанием β -глюканов более 6,0 % выделены 3 генотипа из России – Ровесник (14365), Аргамак (14648), Конкур (15068), также иностранные – Ozon (15473) и Neklan (14936). Средняя величина рассматриваемого признака варьировала от 6,1 до 6,3 %.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о достоверности ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ при $p=0,05$) влияния генотипа и погодных условий на биохимические показатели зерна (табл. 4). Содержание протеина в зерне овса на 80 % зависело от генотипа и на 15 % – от погодных условий. Еще более высокой сортовой специфичностью характеризовались содержание масла (85 %) и крахмала (86 %), что сопоставимо с данными других исследователей [6]. Влияние погодных условий на варибельность содержания масла и крахмала минимальна – 3 и 6 % ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ при $p=0,05$). Исследования, проведенные ранее на фоне различных условий минерального питания на 3 сортах тюменской селекции, выявили, что роль генотипа уменьшается только в отношении содержания протеина в зерне, а по крахмалу и маслу она остается неизменно высокой по годам [21].

В отношении влияния генотипа и погодных условий на содержание β -глюканов мнения отечественных и зарубежных исследователей неоднозначны [28, 29]. В условиях Северного Зауралья было установлено, что их доля в формировании варибельности содержания

Табл. 4. Результаты дисперсионного анализа, определяющие степень влияния факторов варибельности на биохимические показатели овса (2020–2023 гг.), %

Источник варьирования признака	Протеин	Масло	Крахмал	β -глюканы
Фактор А (генотип)	80*	85*	86*	78*
Фактор В (погода)	15*	3*	6*	12*
Взаимодействие А $\times$ В	4*	11*	5*	7*
НСР ₀₅	0,5	0,2	1,8	1,4

* $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$

β-глюканов составляет 78 и 12 % соответственно, при этом на взаимодействие факторов приходится 7 %.

Выводы. Исследование 85 генотипов овса отечественной и зарубежной селекции в условиях лесостепной зоны Зауралья показало сортовые особенности по содержанию протеина, крахмала, масла и β-глюканов в зерне голозерного и плёчатого овса. Выделены наиболее перспективные для селекции генотипы с высоким содержанием протеина (> 13 %) – к-15439, Гаврош; к-14935, Jzau; к-7774, Large hullless × Red rustproof; к-15063, Сибирский голозерный; к-15183, Тайдон; к-14784, Тюменский голозерный. Также выделены плёчатые сорта, в зерне которых содержание протеина составляло не менее 16 % – к-14365, Ровесник; к-14836, Palini; к-11840, Bortus.

Между содержанием протеина и масла в зерне голозерного овса отмечена очень высокая положительная связь ($r=0,96$; $p=0,05$), у плёчатых – она значительно меньше ($r=0,25$; $p=0,05$). Это позволяет вести направленную селекцию на одновременное повышение протеина и масла. Выявлена средняя отрицательная связь между содержанием протеина и β-глюканов у плёчатых сортов ($r=-0,38$; $p=0,05$), у голозерных она не установлена. Стабильно высокое содержание β-глюканов (более 6,0 %) отмечали у 8 сортов голозерного овса (к-14935, Jzau; к-15461, Королёк; к-15090, MF 9224–164; к-15096, MF 9521–281; к-14440, RA 8098–9033; к-15117, Помор; к-15227, MF9714–32; к-14784, Тюменский голозерный), а также у 5 плёчатых сортов (к-14365, Ровесник; к-14648, Аргмак; к-15473, Ozon; к-15068, Конкур; к-14936, Neklan). Для селекции овса целевого назначения были выделены плёчатые генотипы с минимальным содержанием масла $3,3\pm0,3\ldots3,6\pm0,4\%$ (к-15695, Маршал; к-15451, Фома; к-15239, Премьер; к-15187, Эклипс), а также с максимальной величиной этого показателя (более 8,0 %) – голозерные сорта (к-15063, Азиль; к-15183, Тайдон; к-14784, Вятский). В группе плёчатых сортов были выделены генотипы (к-15444, Сапсан; к-15114, Пегас; к-15691, Петрович) с содержанием масла в зерне от 6,1 до 7,4 %.

Весь выделенный по биохимическим показателям материал рекомендуется использовать в селекционных программах по созданию сортов овса целевого назначения в Западной Сибири.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет государственного задания FWRZ-2024–0004 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТАХ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Любимова А. В., Еремина 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. doi: 10.26898/0370-8799-2023-11-4.
2. Остапенко А. В., Тоболова Г. В. Применение метода электрофореза проламинов овса для определения

- гибридной природы зёрен F1 // *Вестник КрасГА У*. 2017. № 2 (125). С. 14–21.
3. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов / О. А. Юсова, П. Н. Николаев, И. В. Сафонова и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 2. С. 42–49. doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
4. Singh R.P., Bhardwaj A. β-glucans: a potential source for maintaining gut microbiota and the immune system // *Front. Nutr.* 2023. Vol. 10. Article 1143682. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2023.1143682/full> (дата обращения: 12.01.2024). doi: 10.3389/fnut.2023.1143682.
5. Karunaratne N., Classen H. Beta-glucans and beta-glucanase in animal nutrition, do we understand their full effects? // *The value of fibre Engaging the second brain for animal nutrition*. 2019. Chapter 10. URL: https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/978-90-8686-893-3_10 (дата обращения: 12.01.2024). doi: 10.3920/978-90-8686-893-3_10.
6. Мудрых Н. М., Бессонова Л. В., Вяткина Р. И. Оценка качества зерна плёчатых и голозерных сортов овса // *Пермский аграрный вестник*. 2020. № 2 (30). С. 56–62. doi: 10.24411/2307-2873-2020-10028.
7. Orr W., Molnar S. J. Development of PCR-based SCAR and CAPS markers linked to β-glucan and protein content QTL regions in oat // *Genome*. 2008. No 6. P. 8–26. doi: 10.1139/G08-026.
8. Lyubimova A. V., Moiseeva M. N. Genetic resistance of oat of West Siberian breeding to contrasting weather conditions and mineral nutrition level // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference «Environmental Problems of Food Security»*. Voronezh: IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2022. Article 012026. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1043/1/012026> (дата обращения: 12.01.2024). doi: 10.1088/1755-1315/1043/1/012026.
9. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2022 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria. 236 p. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf (дата обращения: 12.01.2024).
10. Паспортная база данных генетических ресурсов растений. URL: <http://db.vir.nw.ru/virdb/maindb> (дата обращения: 11.01.2024).
11. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. / сост. И. Г. Лоскутов, О. Н. Ковалева, Е. В. Блинова. СПб.: Гос. науч. учреждение Всероссийский науч.-исслед. ин-т растениеводства им. Н. И. Вавилова, 2012. 63 с.
12. Международный классификатор СЭВ рода Avena L. / Науч.-техн. совет стран-членов СЭВ по коллекциям диких и культ. видов растений и др. Л.: ВИР, 1983. 41 с.
13. Попов В. С., Перчук И. Н., Хорева В. И. Гравиметрический метод количественного определения растворимых β-глюканов в зерне овса // *Биотехнология и селекция растений*. 2021. № 4 (1). С. 5–12. doi: 10.30901/2658-6266-2021-1-o1.
14. Попов А. М. Квантили, квартили, децили и центили в статистических расчетах // *Передача, приём, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах*. Сочи: Издательский Дом «Академия Жуковского», 2023. С. 429–43.
15. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зер-

- на и продуктивности / В. И. Полонский, Н. А. Сурин, С. А. Герасимов и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23 (6). С. 683–690. doi: 10.18699/VJ19.541.
16. Mut Z., Erbaş K., Özge A. Grain Yield and Some Quality Traits of Different Oat (*Avena sativa* L.) Genotypes // *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)*. 2016. No. 2. P. 83–88.
17. Estimation of genetic variability, heritability and genetic advance for seed yield and its components in Oat (*Avena sativa* L.) / M. Jaiswal, Shweta, R. Kumar et al. // *The Pharma Innovation Journal*. 2022. No. 11 (9). P. 1192–1196. URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue9/PartN/11-8-281-901.pdf> (дата обращения: 12.01.2024).
18. Nutritional and yield potential of oat (*Avena sativa* L.) genotypes in dual-purpose crop system / K. Harmanpreet, G. Meenakshi, K. Aanchaldeep, et al. // *Cereal Research Communications*. 2023. No. 51. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42976-022-00348-0> (дата обращения: 12.01.2024). doi: 10.1007/s42976-022-00348-0.
19. Абуғалиева А. И., Савин Т. В. Содержание β-глюкана в зерне овса // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2013. № 4 (233). С. 76–83.
20. 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.
21. 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.
22. Breeding of naked oats having high-quality grain / G. A. Batalova, S. N. Shevchenko, M. V. Tulyakova, et al. // *Russian Agricultural Sciences*. 2016. Vol. 42. No. 5. P. 407–410. doi: 10.3103/S1068367416060045.
23. Кузнецова Т. Е., Левитанов С. А., Серкин Н. В. Селекция овса на Кубани // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017. Т. 178. № 1. С. 41–47. doi: 10.30901/2227-8834-2017-1-41-47.
24. Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна / В. И. Полонский, С. А. Герасимов, А. В. Сумина и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183. № 1. С. 57–75. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
25. Кардашина В. Е., Николаева Л. С. Агроэкологическая оценка сортов и перспективных линий овса универсального использования // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 5. С. 56–60. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10511.
26. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н. Результаты изучения реологических и хлебопекарных показателей теста, полученного из смесей пшеничной муки и продуктов переработки зерна овса голозерного // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020. № 4 (36). С. 148–155. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11218.
27. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production / N. A. Shvachko, I. G. Loskutov, T. V. Semilet, et al. // *Molecules*. 2021. Vol. 26. No. 8. Article 2260. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/8/2260> (дата обращения: 12.01.2024). doi: 10.3390/molecules26082260.
28. Лоскутов И. Г., Полонский В. И. Селекция на содержание β-глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 4. С. 646–657. doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus.
29. Thro A-M., Robertson L. Dedication: Kenneth J. Frey: Oat Breeder, Educator, and Champion of Plant Breeding // *Plant Breeding Reviews New Jersey*, 2011. Vol. 34. 36 p. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470880579.ch1> (дата обращения: 12.01.2024). doi: 10.1002/9780470880579.ch1.

Поступила в редакцию 16.01.2024
После доработки 27.02.2024
Принята к публикации 19.03.2024