

# КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья  
УДК 633.13:581.192  
DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-02



## Биохимические особенности основных разновидностей культурного овса из коллекции ВИР

В. И. Хорева, Т. В. Шеленга, В. С. Попов, Э. Э. Сафонова, Е. В. Блинова, Л. Л. Малышев, И. Г. Лоскутов

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виталий Сергеевич Попов, [popovitaly@yandex.ru](mailto:popovitaly@yandex.ru)

**Актуальность.** Направление использования овса, одной из важнейших зерновых культур, определяется качеством зерна. Цель исследований – изучить особенности химического состава *Avena sativa* L. var. *inermis* Koern., *A. sativa* var. *aurea* Koern. и *A. sativa* var. *mutica* Alef. из коллекции ВИР, выделить образцы – источники высокого содержания белка, крахмала, масла, с высоким и низким содержанием β-глюканов, оптимальным жирнокислотным составом для пищевого и кормового направлений использования, рассмотреть метаболомные профили исследуемых разновидностей овса.

**Материал и методы.** Материалом для изучения послужили три разновидности овса *A. sativa* различного географического происхождения, репродуцированные в 2021–2023 гг. в условиях Северо-Западного региона РФ. Биохимические показатели определяли по методикам, принятым в ВИР.

**Результаты.** Изучен химический состав (содержание белка, крахмала, масла, β-глюканов, антиоксидантов, фенольных веществ, жирных кислот, метаболитов) зерна трех разновидностей овса, определяющий его пищевую и кормовую ценность. Установлена изменчивость и взаимосвязь изученных признаков между собой.

**Заключение.** Образцы голозерного овса достоверно отличались высокими значениями всех изученных показателей по сравнению с пленчатыми. Найдены достоверные различия в химическом составе зерновок разновидностей овса посевного. Образцы овса посевного, различающиеся по наличию пленки и окраске цветковой чешуи (белой и желтой), достоверно отличаются по интенсивности основных физиолого-биохимических процессов. Выявлены потенциальные возможности использования отдельных генотипов *A. sativa* и выделены образцы пищевого и кормового назначения – источники ценных признаков для различных направлений селекции.

**Ключевые слова:** *Avena sativa* L., пленчатый овес, голозерный овес, var. *aurea*, var. *mutica*, var. *inermis*, зерно, белок, крахмал, масло, β-глюканы, антиоксиданты, фенольные вещества, жирные кислоты, неспецифическое метаболомное профилирование

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-00005, <https://rscf.ru/project/23-76-00005/>.

**Для цитирования:** Хорева В.И., Шеленга Т.В., Попов В.С., Сафонова Э.Э., Блинова Е.В., Малышев Л.Л., Лоскутов И.Г. Биохимические особенности основных разновидностей культурного овса коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026;187(1):165-179. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-02

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

## COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-o2

### Biochemical characteristics of the main botanical varieties of cultivated oats from the VIR collection

Valentina I. Khoreva, Tatiana V. Shelenga, Vitaliy S. Popov, Elvira E. Safonova, Elena V. Blinova, Leonid L. Malyshev, Igor G. Loskutov

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Vitaliy S. Popov, [popovitaly@yandex.ru](mailto:popovitaly@yandex.ru)

**Background.** The uses of oat, one of the most important cereal crops, are predetermined by the quality of its grain. The objective was to study the chemical composition features in *Avena sativa* L. var. *inermis* Koern., *A. sativa* var. *aurea* Koern., and *A. sativa* var. *mutica* Alef. in order to identify accessions from the VIR collection that could serve as sources of high protein, starch, oil, high and low beta-glucan content, and optimal fatty acid composition for food and feed purposes, and to analyze the metabolic profiles of the studied oat varieties.

**Materials and methods.** The studied material represented three botanical varieties of *A. sativa* of different geographic origin, reproduced in 2021–2023 in Northwest Russia. Biochemical parameters were assessed according to the guidelines adopted by VIR.

**Results.** The chemical composition (the content of protein, starch, oil, beta-glucans, antioxidants, phenolic compounds, fatty acids, and metabolites) in the grain of three oat varieties was analyzed, and its nutritional food and feed value was established. The variability and interrelations among the studied features were identified.

**Conclusion.** The naked oat accessions significantly differed from the covered ones in higher values of all the studied parameters. Statistically significant differences were found in the chemical composition of the grain in the three oat varieties. *A. sativa* accessions, differing in the presence/absence of the hull and the color of the flower glumes (white or yellow), also manifested significant differences in the intensity of major physiological and biochemical processes. Potential possibilities of using individual genotypes of cultivated oats were revealed, and accessions were identified as sources of valuable traits for various areas of breeding for food and feed purposes.

**Keywords:** *Avena sativa* L., covered oat, naked oat, var. *aurea*, var. *mutica*, var. *inermis*, grain, protein, starch, oil,  $\beta$ -glucans, antioxidants, phenolic compounds, fatty acids, untargeted metabolomic profiling

**Acknowledgments:** the study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 23-76-00005, <https://rscf.ru/project/23-76-00005/>.

**For citation:** Khoreva V.I., Shelenga T.V., Popov V.S., Safonova E.E., Blinova E.V., Malyshev L.L., Loskutov I.G. Biochemical characteristics of the main botanical varieties of cultivated oats from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(1):165-179. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-o2

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors or their employers.

## Введение

Овес посевной (*Avena sativa* L.) – одна из наиболее важных зерновых культур в мировом производстве зерна, возделывается в основном в умеренной зоне Европы, Азии и Северной Америки (Skryabin et al., 2020). *A. sativa* включает 29 разновидностей, среди которых наиболее распространенными являются три: *A. sativa* var. *aurea* Koern., как правило, встречается в Азии и Западной Европе; *A. sativa* var. *mutica* Alef. распространена на всех континентах; *A. sativa* var. *inermis* Koern. встречается почти повсеместно, кроме Австралии и Африки (Rodionova et al., 1994). Широкое использование овса в пищевой и кормовой промышленности определяется ценным химическим составом зерна (Heneen et al., 2009; Urubkov et al., 2018). Овес является безопасным дополнением к безглютеновой диете. С 2009 (ЕС 41/2009 – European Commission) и 2013 г. (FDA – Food and Drug Administration) овсяные продукты могут применяться как безглютеновые при содержании клейковины в зерне ниже 20 ppm (20 мг глютена на 1 кг зерна) (Loskutov, Polonskiy, 2017). В зависимости от генотипа и условий выращивания химический состав зерна отличается большой изменчивостью (Wang, Frei, 2011). Мировая коллекция овса в ВИР насчитывает около 14 000 образцов. Всестороннее изучение коллекции позволит выделить образцы – источники для более эффективного использования в пищевой, кормовой промышленности и селекции.

*Цель исследования* – проследить за изменчивостью химического состава зерна образцов трех разновидностей овса посевного (*A. sativa* var. *mutica*, *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *inermis*) из коллекции ВИР, выращенных в условиях Северо-Западного региона РФ (г. Пушкин) за период с 2021 по 2023 г.; выделить образцы – источники высокого содержания белка, крахмала, масла, антиоксидантов, фенольных веществ (ФВ), отдельных жирных кислот (ЖК), повышенного и низкого содержания  $\beta$ -глюканов.

## Материалы и методы

Материалом для изучения послужили 37 образцов культурного овса, вновь поступивших в коллекцию ВИР, различного географического происхождения из 9 стран мира, выращенные в течение 2021–2023 гг. в условиях Северо-Западного региона РФ. В нашем исследовании представлены две пленчатые разновидности подвидов *A. sativa* subsp. *sativa* – var. *aurea* (окраска цветковых чешуй желтая) – 16 образцов; var. *mutica* (окраска цветковых чешуй белая) – 13 образцов; одна голозерная разновидность подвида *A. sativa* subsp. *nudisativa* (Husnot.) Rod. et Sold.) – var. *inermis* – 8 образцов (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1)<sup>1</sup>.

Посев, наблюдения и уборку выполняли в соответствии с методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (Loskutov et al., 2012) в условиях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в 2021–2023 гг. Стандартом послужил районированный в регионе сорт 'Привет' (к-14787, Московская обл.), одобренный для крупномасштабного сельскохозяйственного производства в Северо-Западном регионе. Перед прове-

<sup>1</sup> Приложение 1 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 1. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

дением биохимических анализов неочищенное от пленок зерно измельчали до размера частиц менее 10 мкм. Исследования проводили в соответствии с ранее опубликованными методами и по методам, принятым в ВИР (Popov et al., 2022). Значения пересчитывали на сухое вещество.

По данным за три года (2021–2023 гг.), в г. Пушкине средняя температура воздуха в июне составила 15,3°C, количество осадков – 26,1 мм; в июле – 18,6°C и 30,6 мм; в августе – 16,6°C и 35,8 мм (<https://pogoda.365c.ru/russia/pushkin>). Значения гидротермического коэффициента (ГТК) для климата с избыточным увлажнением, или зоны дренажа: > 1,3; обеспеченного увлажнения: 1,0–1,3; засушливого: 0,7–1,0; сухого земледелия: 0,5–0,7; ирригации: < 0,5. Погодные условия в годы изучения были различными (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 2, Suppl. 3)<sup>2,3</sup>: в период налива и созревания зерна в 2021 г. ГТК составил 0,79; в 2022 г. – 1,52; в 2023 г. – 0,85; то есть 2022 характеризуется как более влажный год.

Статистическая обработка проводилась с использованием программных пакетов Statistica 7.0 и Microsoft Excel 7.0 для Windows и включала в себя однофакторный дисперсионный анализ ANOVA (Analysis of Variance), факторный анализ по методу главных компонент, дискриминантный и корреляционный анализы.

## Результаты и обсуждение

### Оценка содержания белка

Содержание и качество белка в зерне являются одними из основных показателей, с которым связаны питательные и кормовые достоинства культуры. Общеизвестна закономерность: содержание белка у зерновых культур, выращенных в северных районах, увеличивается при продвижении посевов на юг и с запада на восток (Pleshkov, 1987). Отмечается, что у сортов различного происхождения, выращенных на территории РФ, содержание белка у пленчатых форм колеблется от 7,8% до 19,8%. В зерне овса посевного *A. sativa* репродукции Московской обл. у голозерных разновидностей var. *chinensis* (Fisch. ex Roem. & Schult.) Doell., *inermis*, *maculata* Mordv. ex Rod. et Sold. содержание белка варьирует от 15,46% до 18,2%. У пленчатых образцов этого же вида вариативность значительно ниже – 9,48–13,3% (Horeva et al., 2018). У пленчатого овса казахстанских сортов межсортовая изменчивость по содержанию белка составила 10,4–21,0%. Также прослеживается более высокое содержание белка у сортов голозерного овса, выращенных в условиях юго-востока Казахстана, по сравнению с условиями севера (Abugaliev et al., 2021). В зерне овса, выращенного в Красноярском крае (Восточная Сибирь), у голозерных сортов содержание белка находилось в диапазоне 14,86–16,88%, у пленчатых сортов – 11,69–15,10% (Polonskiy et al., 2019). В Западной Сибири районированные пленчатые сорта овса характеризуются более низким содержанием белка, в среднем 10,7–12,0% (Kozlova, Akimova, 2009).

Изученные нами образцы характеризуются значительной вариабельностью по содержанию белка. У плен-

<sup>2</sup> Приложение 2 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 2. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>3</sup> Приложение 3 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 3. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

чатых сортов *A. sativa* var. *aurea* сортовая изменчивость составила от 2,99% (12,04–15,03%, 2021 г.) до 4,12% (12,36–15,84%, 2023 г.); сортовые различия у *A. sativa* var. *mutica* более выражены в зерне урожая 2021 г. – 3,57% (12,06–15,63%), а у сортов голозерного овса *A. sativa* var. *inermis* различия составили от 3,35% (зерно урожая 2022 г.) до 4,02% (зерно урожая 2023 г.). Более низкое содержание белка у большинства сортов отмечено в зерне урожая 2022 г. Как выше упоминалось выше, 2022 г. характеризуется как более влажный и, значит, менее благоприятный для формирования зерновок и синтеза в них белка (Novikov, 2012). По результатам исследования различий между разновидностями *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* не выявлено. В наших исследованиях просматривается влияние генотипа на накопление белка. Устойчиво повышенное содержание белка в разные годы выращивания в Северо-Западном регионе РФ сохраняли образцы *A. sativa* var. *aurea*: к-15770 (Россия) – 13,43–14,01%, к-15781 (Чехия) – 13,58–14,97%, к-15805 (Бразилия) – 14,90–15,03%; образцы *A. sativa* var. *mutica*: к-15765 (Россия) – 14,34–15,25%, к-15784 (Чехия) – 14,32–15,63%; образцы *A. sativa* var. *inermis*: к-15759 (Россия) – 18,30–19,19%, к-15719 (Китай) – 18,24–21,09%, а также сорт-стандарт – 12,00–13,72% (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4)<sup>4</sup>.

#### Оценка содержания крахмала

Важным источником энергии в пищевом рационе человека являются полисахариды, большая часть которых состоит из крахмала. При этом положительным для здоровья человека фактором является то, что крахмал зерновых культур в желудочно-кишечном тракте ферментируется и усваивается медленно, тем самым не вызывая резкого скачка сахара в крови. В зависимости от вида и сорта овса содержание крахмала в зерне составляет 23,7–69,5% (Horeva et al., 2018). По своей структуре крахмал овса стоит ближе к наиболее крахмалистой культуре – рису и значительно отличается от крахмала пшеницы. По данным Г. Я. Козловой и О. В. Акимовой, содержание крахмала – относительно стабильный показатель, который в меньшей степени (по сравнению с содержанием белка) зависит от условий выращивания (Kozlova, Akimova, 2009). Однако для образования углеводов требуется больше влаги, чем для синтеза белков, поэтому при влажной погоде и в условиях прохладного климата в растениях происходит повышенное накопление простых и сложных углеводов. При этом по содержанию крахмала пленчатые сорта уступают голозерным (48% против 57%) (Novikov, 2012). Устойчивых различий между *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* нами не выявлено, но сортовая изменчивость по содержанию крахмала в зависимости от условий выращивания довольно велика. В среднем за три года диапазон изменчивости по содержанию крахмала составил для сортов *A. sativa* var. *aurea* 40,25–48,24%, для сортов *A. sativa* var. *mutica* – 36,85–49,88%, и для *A. sativa* var. *inermis* – 54,37–63,02%; для стандарта – 40,25–45,70%. Наибольшая изменчивость по содержанию крахмала наблюдается в зерне в 2021 г. у образцов *A. sativa* var. *mutica*, у которых эти различия составили 13,03%; наименьшая – 3,03% – в 2023 г. у сортов *A. sativa* var. *inermis* (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4).

Данные показывают различную реакцию генотипов на условия выращивания (температурного режима и количества осадков). Такое варьирование признака можно объяснить различной интенсивностью притока углеводов в зерновку, скоростью синтеза крахмала, происходящего при созревании зерновок, и реакцией сортов на условия выращивания. Так, в пределах одной разновидности *A. sativa* var. *aurea* количество крахмала в зерне в 2021 г. в среднем на 2,23% меньше, чем в 2022 г., и на 1,76% меньше, чем в 2023 г.; у сортов *A. sativa* var. *mutica* – крахмала в 2021 г. меньше на 3,35% по сравнению с 2022 г. и на 1,79% меньше, чем в 2023 г. *A. sativa* var. *inermis* характеризуется наибольшей изменчивостью в 2021 г.; сортовые различия составили 1,62–4,23%. На фоне значительных сортовых различий по содержанию крахмала нами выделены образцы с наиболее высоким его содержанием в зерне: *A. sativa* var. *aurea* – к-15705 (Словакия) – 46,21–47,39%, к-15774 (Германия) – 45,65–47,92%, к-15779 (Польша) – 45,88–47,86%; *A. sativa* var. *mutica* – к-15762 (Россия) – 45,12–46,97%, к-15784 (Чехия) – 44,81–49,88%; *A. sativa* var. *inermis* – к-15754 (Россия) – 57,97–61,90%, к-15776 (Польша) – 59,06–63,02%; стандарт – 40,24–45,83% (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4).

#### Оценка содержания масла

Питательная и биологическая ценность овса также определяется содержанием масла и его жирнокислотным составом. Большая часть масла содержится в субалейроновых клетках и в клетках эндосперма зерна овса, в непосредственной близости от щитка и зародыша (Peterson et al., 2005). Таким образом, основная часть масла находится вблизи тканей зародыша – участков синтеза ферментов, что связано с выполнением физиологических функций, активирующихся во время прорастания. Если селекция по созданию высоколипидного овса будет успешна, это позволит в будущем отнестись к масличным культурам, которые могут быть использованы в химической и медицинской промышленности (Heneen et al., 2009).

Согласно литературным данным, содержание масла в зерне пленчатых сортов различного происхождения колеблется в пределах от 3,5% до 6,2%; голозерных – от 7,1% до 9,0%. Исследование голозерных линий овса, выращенных в Волго-Вятском регионе, показало изменчивость масла от 5,91% до 7,87%. В то же время в образцах голозерного овса из Восточной Сибири содержание масла выше и составляет 7,28–9,01% (Polonskiy et al., 2019). По данным наших исследований, сортовая изменчивость по содержанию масла в зависимости от условий выращивания значительна. В среднем за три года диапазон изменчивости составил для сортов *A. sativa* var. *aurea* 3,27–5,38%, для сортов *A. sativa* var. *mutica* – 4,07–6,20%, и для *A. sativa* var. *inermis* – 4,70–8,52%; для стандарта – 4,62–5,36%.

В изученных нами образцах овса максимальная сортовая изменчивость в зависимости от условий выращивания по содержанию масла – в зерне образцов *A. sativa* var. *inermis* урожая 2022 г., у которых эти различия составили 3,82%, наименьшая – 1,61% в зерне сортов *A. sativa* var. *aurea* урожая 2021 г. По результатам исследования за годы изучения меньшее содержание масла выявлено у образцов разновидности *A. sativa* var. *aurea*, по сравнению с *A. sativa* var. *mutica* и *A. sativa* var. *inermis*. На фоне небольшой изменчивости нами выделены 6 источников повышенного содержания масла: *A. sativa* var. *aurea* –

<sup>4</sup> Приложение 4 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

к-15778 (Польша) – 5,05–5,38%; *A. sativa* var. *mutica* – к-15762 (Россия) – 5,78–6,15% и к-15763 (Россия) – 5,63–5,85%; *A. sativa* var. *inermis* – к-15713 (Латвия) – 5,87–7,89%, к-15755 (Россия) – 6,0–8,31% и к-15776 (Польша) – 7,71–8,05%; при сравнении со стандартом – 4,62–5,36% (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4).

#### Оценка жирнокислотного состава масла

Анализ литературных данных показал, что жирнокислотный состав масла в зерне овса представлен пальмитиновой (C16:0), стеариновой (C18:0), олеиновой (C18:1), линолевой (C18:2) и линоленовой (C18:3) кислотами. Содержание пальмитиновой кислоты в масле овса составляет 15,8–17,6%, олеиновой – 36,6–43,8%, линолевой – 37,7–42,9%. Олеиновая и линолевая кислоты преобладают в составе масла. На долю линоленовой (18:3) кислоты, быстро окисляющейся, приходится низкий процент – 0,7–2,48%, поэтому масло из зерна овса достаточно стойкое к окислению. Суммарное количество линолевой, олеиновой и пальмитиновой кислот достигает 90–95%, стеариновой и линоленовой – по 1–4%, что указывает на высокие пищевые достоинства масла (Batalova, 2014). У образцов овса южных регионов содержание пальмитиновой кислоты в зависимости от сорта изменяется от 10,8% до 22,4%, олеиновой – от 19,6% до 37,9%, линолевой – от 18,9% до 54,0%; содержание насыщенных жирных кислот в образцах масла определяется между 15,6% и 34,4%, содержание ненасыщенных жирных кислот – между 65,6% и 84,2% (Ahmet et al., 2019). По данным В. Н. Красильникова и др., в масле голозерного овса в условиях северо-востока РФ содержание пальмитиновой кислоты составляет 15,3–17,8%, олеиновой – 33,5–36,7%, линолевой – 36,2–38,7% (Krasilnikov et al., 2018). В наших исследованиях показана значительная сортовая изменчивость по содержанию пальмитиновой – от 11,65% (var. *aurea*, 2023) до 25,87% (var. *inermis*, 2022), олеиновой – от 13,91% (var. *inermis*, 2022) до 54,50% (var. *aurea*, 2023) и линолевой – от 28,59% (var. *aurea*, 2023) до 63,08% (var. *inermis*, 2022) кислот.

Биологическая активность масла определяется соотношением линолевой кислоты к олеиновой, которое должно приближаться к единице. В образцах голозерного овса из Казахстана соотношение линолевой / олеиновой кислот варьировало от 0,4–0,6 до 1,5–1,7. Количество ненасыщенных жирных кислот – от 58,9% до 79,7% (Abugaliya et al., 2021). Для масла изученных нами пленчатых разновидностей овса соотношение линолевой к олеиновой кислоте было наиболее близким к оптимальному и находилось в диапазоне от 0,6 до 1,3; для образцов *A. sativa* var. *inermis* выше – от 1,3 до 2,6 за счет пониженного содержания олеиновой кислоты и повышенного линолевой. В среднем за три года диапазон изменчивости по содержанию основных жирных кислот составил для изученных нами сортов *A. sativa* var. *aurea* 11,65–18,32% (пальмитиновая), 29,16–54,50% (олеиновая), 28,59–52,76% (линолевая); для сортов *A. sativa* var. *mutica* – 13,46–18,86% (пальмитиновая), 37,13–51,39% (олеиновая), 31,60–44,77% (линолевая); для сортов *A. sativa* var. *inermis* – 18,04–25,87% (пальмитиновая), 13,91–42,27% (олеиновая), 33,94–63,08% (линолевая); для стандарта – 14,22–18,09% (пальмитиновая), 38,13–50,11% (олеиновая), 32,44–41,98% (линолевая). Количество стеариновой и линоленовой кислоты не превышало 3% и 1% соответственно. Разновидность *inermis* отличалась более высоким содержанием насыщенных

(19,11–27,02%) жирных кислот, а пленчатые разновидности овса – ненасыщенных (79,64–86,45%). Наиболее стабильным признаком практически для всех разновидностей овса за весь период изучения оказалось содержание пальмитиновой, олеиновой и линолевой, насыщенных и ненасыщенных жирных кислот и отношение ненасыщенных жирных кислот к насыщенным. Показатель CV (коэффициент вариации) для этих кислот не превышал 10%. Самым изменчивым было содержание стеариновой кислоты в масле пленчатых разновидностей овса и линоленовой в масле практически всех изученных образцов. Остальные характеристики жирнокислотного состава имели среднюю степень изменчивости (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 5)<sup>5</sup>.

#### Оценка содержания β-глюканов

Овес представляет собой потенциально наименее дорогой источник β-глюканов; кроме того, не зарегистрированы никакие побочные эффекты после употребления диеты, богатой β-глюканами, из овсяной муки. В то же время в кормопроизводстве актуальна проблема снижения количества пищевых волокон, проявляющих антипитательные свойства, у фуражного зерна (Loskutov, Polonskiy, 2017). Литературные данные о количестве β-глюканов в зерне *A. sativa*, представленные в различных источниках, противоречивы. Так, по данным В. И. Полонского и др., не обнаружено заметного преимущества по содержанию β-глюканов у голозерных образцов по сравнению с пленчатыми. В образцах голозерного овса Красноярского края содержание β-глюканов – 3,73–4,77%, у пленчатых – 2,90–5,17% (Polonskiy et al., 2019). В популяции из 1700 линий шведского сорта овса 'Belinda', полученных с помощью мутагенеза, обнаружены образцы с содержанием β-глюканов в зерновке от 1,8% до 7,5% (Loskutov, Polonskiy, 2017). В условиях юго-востока Казахстана содержание β-глюканов находилось в диапазоне 4,1–5,4%. На севере Казахстана содержание β-глюканов было выше – 6,9% (Abugaliya et al., 2021). Содержание β-глюканов в образцах овса, выращенного в Вигляш-Пструше (Словацкая Республика) в 2003 г., варьировало от 3,1% до 4,7% (для пленчатых) и от 5,8% до 6,8% (для голозерных образцов) (Brindzova et al., 2008). Немного более низкое содержание β-глюканов наблюдалось среди греческих образцов овса (2,1–3,9%) (Parageorgiou et al., 2005).

В нашем исследовании проведено определение β-глюканов с целью выделения сортов овса с высоким и низким содержанием для различных направлений селекции, а также для пищевого и кормового использования. Выявлена сортовая изменчивость и реакция сортов на условия выращивания. Амплитуда межсортовой изменчивости β-глюканов составила в среднем за три года для сортов *A. sativa* var. *aurea* 2,80–3,68%, для сортов *A. sativa* var. *mutica* – 2,68–3,67%, для *A. sativa* var. *inermis* – 3,29–3,90%; для стандарта – 3,31–3,52%. В изученных образцах овса максимальные сортовые различия по содержанию β-глюканов (1,67%) наблюдали в зерне урожая 2021 г. в образцах *A. sativa* var. *inermis*, минимальные (0,58%) – в зерне урожая 2022 г. у сортов *A. sativa* var. *aurea* (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4). При сравнении данных за годы изучения не отмечается определенной зависимости от погодных условий и от

<sup>5</sup> Приложение 5 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 5. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

разновидностей по содержанию  $\beta$ -глюканов, но сортовые различия сохраняются. В литературе также отмечается, что высокая температура воздуха во время стадии роста и значительные осадки приводят к снижению содержания  $\beta$ -глюканов в зерне (Samchenko, Merkucheva, 2015). На фоне такой изменчивости нами выделены образцы с повышенным содержанием  $\beta$ -глюканов: *A. sativa* var. *aurea* – к-15779 (Польша) – 3,39–3,60%, к-15783 (Чехия) – 3,23–3,68%; *A. sativa* var. *mutica* – к-15784 (Чехия) – 3,35–3,67%; *A. sativa* var. *inermis* – к-15755 (Россия) – 4,14–5,03% и пониженным их содержанием: *A. sativa* var. *mutica* – к-15763 (Россия) – 2,68–2,96%; стандартный сорт – 3,31–3,52% (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4).

#### Оценка содержания фенольных веществ (ФВ)

Биологическая ценность овса определяется также содержанием ФВ. Согласно литературным данным, общее их количество в образцах овса, выращенного в Вигляш-Пструше (Словацкая Республика) в 2003 г., значительно различалось между сортами (23,9–66,2 мг%) (Brindzova et al., 2008). Более низкая изменчивость по содержанию ФВ отмечается у образцов из региона Среднего Запада США – от 23,8 мг% до 27,8 мг% (Emmons, Peterson, 1999). Особенно высокая концентрация ФВ обнаружена у южноазиатского овса, выращенного в Пакистане (124,2–203,6 мг%) (Manzooq et al., 2020). По данным наших исследований, сортовые различия по содержанию фенолов в разные годы выращивания довольно значительны. В среднем за три года диапазон их изменчивости составил для сортов *A. sativa* var. *aurea* 63,41–117,0 мг%, для сортов *A. sativa* var. *mutica* – 59,83–114,05 мг% и для *A. sativa* var. *inermis* – 109,03–124,86 мг%; для стандарта – 81,64–108,7 мг%. В изученных образцах овса максимальная сортовая изменчивость в зависимости от условий выращивания по содержанию ФВ наблюдалась в зерне образцов *A. sativa* var. *mutica* урожая 2022 г., у которых эти различия составили 49,24 мг%, минимальная – 8,62 мг% в зерне урожая 2023 г. у сортов *A. sativa* var. *inermis*. В среднем, общее содержание ФВ выше у *A. sativa* var. *aurea* и особенно у *A. sativa* var. *inermis* по сравнению с *A. sativa* var. *mutica*. Нами выделены образцы с повышенным содержанием ФВ: *A. sativa* var. *aurea* – к-15707 (Словакия) – 83,22–111,87 мг%; *A. sativa* var. *mutica* – к-15761 (Россия) – 77,57–114,05 мг%; *A. sativa* var. *inermis* – к-15719 (Китай) – 120,25–124,86 мг%; стандарт – 81,64–108,70 мг% (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4).

#### Оценка антиоксидантной активности (АОА)

Высокое содержание антиоксидантов и их биологическая активность характерны для овощей и фруктов, однако исследований, посвященных определению АОА, у зерновых культур недостаточно, хотя они считаются одним из основных продуктов питания (Yashin et al., 2012). Овес характеризуется наличием целого ряда компонентов с повышенной АОА. Образцы овса посевого, выращенные в 2012 г. на поле в Научно-исследовательском институте растениеводства в Пьештянах (Словацкая Республика), по содержанию антиоксидантов варьировали от 0,06 до 22,8 мг% (в единицах Тролакса) и различались в зависимости от сорта. Наиболее высокая АОА обнаружена у голозерных овсов (30,26 мг%) (Chmelová et al., 2015).

По данным наших исследований, сортовые различия по АОА в разные годы выращивания довольно значи-

тельны. В среднем за три года диапазон изменчивости составил для сортов *A. sativa* var. *aurea* 7,58–12,49 мг%, для сортов *A. sativa* var. *mutica* – 7,18–11,65 мг%, для *A. sativa* var. *inermis* – 9,17–21,88 мг%; для стандарта – 11,38–11,68 мг%. Аналогичные результаты представлены в литературе: наибольшее содержание антиоксидантов обнаружено в голозерных образцах *A. sativa* var. *inermis*, затем в желтых *A. sativa* var. *aurea* и меньше всего – в белых образцах овса *A. sativa* var. *mutica* (Chmelová et al., 2015). В изученных образцах овса максимальная сортовая изменчивость АОА в зависимости от условий выращивания наблюдается в зерне урожая 2022 г. образцов *A. sativa* var. *inermis*, у которых эти различия составили 12,57 мг%, минимальная – 2,99 мг% в зерне урожая 2023 г. у сортов *A. sativa* var. *mutica*. По результатам наших исследований выделены образцы с повышенной АОА: *A. sativa* var. *aurea* – к-15756 (Россия) – 10,71–11,03 мг%; *A. sativa* var. *mutica* – к-15693 (Россия) – 10,61–11,34 мг%; *A. sativa* var. *inermis* – к-15713 (Латвия) – 14,42–18,31 мг% и к-15754 (Россия) – 17,81–21,88 мг%; стандарт – 11,23–11,68 мг% (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 4). Активность овса по удалению радикалов не зависела от разновидности, но голозерные формы зерна показали более высокую способность к удалению радикалов. Выделенные сорта овса показывают более высокую способность поглощать активные радикалы, по сравнению с остальными сортами.

#### Статистическая обработка

##### Оценка корреляционных зависимостей

Помимо выявления источников повышенного содержания признаков качества зерна – белка, крахмала, масла,  $\beta$ -глюканов, для успешного развития селекционных работ важное значение имеет выявление корреляционных связей между биохимическими признаками качества зерна. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице.

По шкале Чеддока коэффициенты корреляции соответствуют: от 0 до 0,3 – очень слабая; от 0,3 до 0,5 – слабая; от 0,5 до 0,7 – средняя; от 0,7 до 0,9 – высокая; от 0,9 до 1 – очень высокая. Между содержанием белка и крахмала отмечается слабая отрицательная корреляция у всех образцов *A. sativa* var. *aurea* ( $r = -0,15$  в 2021 г.,  $r = -0,27$  в 2022 г. и  $r = 0,24$  в 2023 г.), но более высокие отрицательные значения выявлены у голозерного овса *A. sativa* var. *inermis* ( $r = -0,83$ ;  $r = -0,67$ ;  $r = -0,28$  соответственно), и только у *A. sativa* var. *mutica* в основном положительная корреляционная связь ( $r = 0,32$  в 2021 г. и  $r = 0,73$  в 2022 г.). Между содержанием крахмала и масла наблюдается положительная связь во все годы изучения у пленчатых *A. sativa* var. *aurea*, *A. sativa* var. *mutica* и голозерных форм *A. sativa* var. *inermis*, но более высокий коэффициент корреляции ( $r = 0,51$ ) обнаружен у *A. sativa* var. *aurea* в 2022 г. и у *A. sativa* var. *mutica* ( $r = 0,64$ ) в 2023 г. В литературе отмечается, что при усиленном синтезе белков уменьшается количество углеводов, из которых образуются жиры, поэтому между содержанием белков и жиров часто бывает обратная зависимость. Этим можно объяснить различные значения корреляционных связей между содержанием белка и крахмала (Seryakova, 1971).

Между содержанием белка и  $\beta$ -глюканами показана как небольшая отрицательная связь в 2021 г. у *A. sativa* var. *aurea* ( $r = -0,16$ ) и в 2022 и 2023 г. у *A. sativa* var. *inermis* ( $r = -0,30$  и  $r = -0,28$  соответственно), так и положительная – у *A. sativa* var. *mutica* ( $r = 0,17$  в 2021 г. и  $r = 0,12$

**Таблица. Значения коэффициентов корреляции между изучаемыми признаками у разновидностей овса**  
**Table. Values of the correlation coefficients among the studied characters in cultivated oat varieties**

Признак / Character	Белок / Protein			Крахмал / Starch			Масло / Oil		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
<i>Avena sativa var. aurea</i>									
Крахмал / Starch	-0,15	-0,27	-0,24	1,00	1,00	1,00	—	—	—
Масло / Oil	-0,28	-0,09	-0,28	0,42	0,51	0,36	1,00	1,00	1,00
$\beta$ -глюканы / $\beta$ -glucans	-0,16	0,03	0,02	0,29	-0,26	0,31	0,59	-0,30	0,01
<i>A. sativa var. mutica</i>									
Крахмал / Starch	0,32	0,73	-0,08	1,00	1,00	1,00	—	—	—
Масло / Oil	-0,07	0,18	-0,57	0,42	0,35	0,64	1,00	1,00	1,00
$\beta$ -глюканы / $\beta$ -glucans	0,17	0,12	0,60	0,10	-0,25	-0,48	-0,26	0,22	-0,80
<i>A. sativa var. inermis</i>									
Крахмал / Starch	-0,83	-0,67	-0,28	1,00	1,00	1,00	—	—	—
Масло / Oil	-0,29	-0,26	0,07	0,29	0,39	0,09	1,00	1,00	1,00
$\beta$ -глюканы / $\beta$ -glucans	0,06	-0,30	-0,28	0,37	0,55	-0,18	-0,04	-0,37	-0,26

в 2022 г.), причем в 2023 г. – более значительная ( $r = 0,60$ ). Противоречивые результаты по взаимосвязи содержания белка и  $\beta$ -глюканов сообщаются в публикациях (Loskutov, Polonskiy, 2017).

Между содержанием крахмала и  $\beta$ -глюканами установлена отрицательная связь в 2021 г. у *A. sativa var. aurea* ( $r = -0,26$ ), у *A. sativa var. mutica* – в 2022 г. и в 2023 г. ( $r = -0,25$  и  $r = -0,48$  соответственно); у голозерных форм *A. sativa var. inermis* положительная корреляция отмечена в 2021 г. ( $r = 0,37$ ) и в 2023 г. ( $r = 0,55$ ). Ряд авторов отмечают, что высокое содержание крахмала сопровождается низким содержанием глюканов (Parageorgiou et al., 2005).

В литературе отмечается высокая положительная связь между содержанием масла и  $\beta$ -глюканов в зерне пленчатых сортов в разные годы выращивания (Polonskiy et al., 2019). По результатам наших исследований положительная корреляция ( $r = 0,59$ ) выявлена у образцов *A. sativa var. aurea* в 2021 г. и незначительная положительная ( $r = 0,22$ ) – у образцов *A. sativa var. mutica* в 2022 г., тогда как в остальные годы изучения характерна отрицательная корреляция между этими признаками; у *A. sativa var. mutica* в 2023 г. коэффициент обратной корреляции более значимый ( $r = -0,80$ ).

Такие неоднозначные уровни корреляционных связей между изученными признаками у пленчатых и голозерных разновидностей *A. sativa* обусловлены особенностью генотипов и их реакцией на условия выращивания.

#### Оценка достоверности различий

Изученные нами разновидности овса различались по основным показателям хозяйственной ценности зерна. Образцы голозерного овса достоверно отличались высокими значениями масла, крахмала,  $\beta$ -глюканов, АОА, суммы ФВ и белка за весь период изучения (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 6, Suppl. 7, Suppl. 8, Suppl. 9,

Suppl. 10, Suppl. 11)<sup>6,7,8,9,10,11</sup>. Данные, полученные для зерновок пленчатых разновидностей овса, были значительно ниже. Жирнокислотный состав масла образцов изученных разновидностей овса также имел существенные отличия. У зерновок голозерного овса он характеризовался самыми высокими значениями пальмитиновой кислоты (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 12)<sup>12</sup>, хотя у пленчатых образцов в 2023 г. содержание стеариновой кислоты было больше (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 13)<sup>13</sup>. Сумма насыщенных жирных кислот

<sup>6</sup> Приложение 6 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 6. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>7</sup> Приложение 7 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 7. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>8</sup> Приложение 8 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 8. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>9</sup> Приложение 9 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 9. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>10</sup> Приложение 10 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 10. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>11</sup> Приложение 11 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 11. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>12</sup> Приложение 12 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 12. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>13</sup> Приложение 13 представлено в онлайн-формате. Электронная

за все годы изучения была достоверно выше у голозерного овса var. *inermis* (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 14)<sup>14</sup>. Ненасыщенные жирные кислоты: олеиновая, и линоленовая (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 15, Suppl. 16)<sup>15, 16</sup> лучше представлены в жирнокислотном составе масла пленчатых зерновок, масло которых достоверно отличалось суммой ненасыщенных жирных кислот (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 17)<sup>17</sup>. Однако за все годы изучения для масла голозерных образцов характерны значительные количества линолевой кислоты (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 18)<sup>18</sup>. Особенности жирнокислотного состава влияют на соотношение ненасыщенных и насыщенных жирных кислот (жирнокислотный индекс), которое было достоверно выше у пленчатых образцов (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 19)<sup>19</sup>, что делает эти разновидности овса перспективными для расширения ассортимента продуктов функционального питания, в том числе купажированного масла.

**Динамика изменчивости** биохимических показателей у разновидностей овса за годы изучения была разной, что, видимо, связано как с генетическими особенностями разновидностей овса, так и климатическими особенностями года репродукции. Благоприятным оказался 2021 г. для накопления белка и линоленовой кислоты у образцов *A. sativa* var. *inermis* и *A. sativa* var. *mutica*; масла – у образцов *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *inermis*; глюканов, фенольных соединений, пальмитиновой кислоты, олеиновой – у голозерных образцов; линолевой кислоты и суммы ненасыщенных жирных кислот – у пленчатых образцов; суммы насыщенных жирных кислот и пальмитиновой кислоты – у всех изученных образцов; 2022 г. – для накопления масла, олеиновой кислоты – у *A. sativa* var. *mutica*; глюканов – у *A. sativa* var. *aurea*; ФВ, суммы ненасыщенных жирных кислот – у пленчатых образцов; крахмала у всех изученных образцов; 2023 г. – для накопления стеариновой кислоты – у пленчатых образцов; олеиновой, линоленовой – у *A. sativa* var. *aurea*; линолевой кислоты и суммы ненасыщенных жирных кислот – у голозерных образцов. Индекс ЖК отражал изменчивость жирнокислотного состава в масле образ-

цов овса; самые высокие значения установлены в 2022 г. для пленчатых образцов, в 2023 г. – для голозерных. Величина АОА связана с присутствием веществ, способных нейтрализовать свободные радикалы. В 2022 г. максимальная АОА была отмечена у голозерных образцов, в 2023 г. – у пленчатых (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 9).

По результатам статистической обработки (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 20)<sup>20</sup> установлено, что образцы отдельных разновидностей овса, образцы репродукции разных лет, образцы одной разновидности и одного года репродукции имеют между собой достоверные различия по качественному составу зерновок. По источнику изменчивости «разновидность» достоверность отличий выявлена для всей совокупности биохимических признаков. По источнику «год репродукции» различия недостоверны по показателям АОА и линолевой кислоты. Специфическая реакция «разновидность – год репродукции» недостоверна по содержанию крахмала, масла и АОА.

#### Дискриминантный анализ

Построенные в ходе анализа дискриминантные функции в 2021 г. обеспечивали 97,5%, в 2022 г. – 98,9% и в 2023 г. – 97,2% правильных решений. Для 2021–2023 гг. изучения наиболее информативными показателями для различения разновидностей оказались содержание белка, крахмала, масла, β-глюканов, стеариновой и олеиновой жирных кислот, суммы ФВ и жирнокислотный индекс. В 2021 г. установлено влияние суммы ненасыщенных жирных кислот, в 2022 и 2023 г. – АОА. Влияние линоленовой кислоты в 2022 г. заменяется на линолеву, что, очевидно, связано с особенностями их биосинтеза. Структура канонических переменных отражена в приложении 21 (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 21)<sup>21</sup>. По собственным значениям переменных каждая операционная единица (образец зерновок овса) занимает определенное место в пространстве канонических осей.

В 2021 г. по величине переменных Root 1 и Root 2 все образцы, взятые в исследование, разделились на отдельные группы в соответствии с принадлежностью к разновидностям овса (рис. 1, А). Левую среднюю часть графика занимают образцы *A. sativa* var. *inermis*, левую и правую нижнюю – *A. sativa* var. *aurea*, правую верхнюю – *A. sativa* var. *mutica*. В 2022 г. голозерные образцы var. *inermis* продолжают формировать отдельную группу, между *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* образуются «перешеек», где образец к-15701 (Kungs, Швеция, var. *mutica*) перешел в группу *A. sativa* var. *aurea*, а к-15805 (UFRGS 987015-2, Бразилия, var. *aurea*) – к *A. sativa* var. *mutica* (рис. 1, Б). В 2023 г. разделение разновидностей между собой становится более четким, кроме к-15777 (Elegant, Польша, var. *aurea*) и к-15705 (Прокор, Словакия, var. *aurea*), имеющих сходные биохимические показатели и создающих соприсхождение границ групп пленчатых образцов (рис. 1, В).

По величине двух канонических переменных в течение 2021–2023 гг. четко дифференцировалась только группа голозерных образцов, а пленчатые образцы груп-

версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 13. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>14</sup> Приложение 14 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 14. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>15</sup> Приложение 15 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 15. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>16</sup> Приложение 16 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 16. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

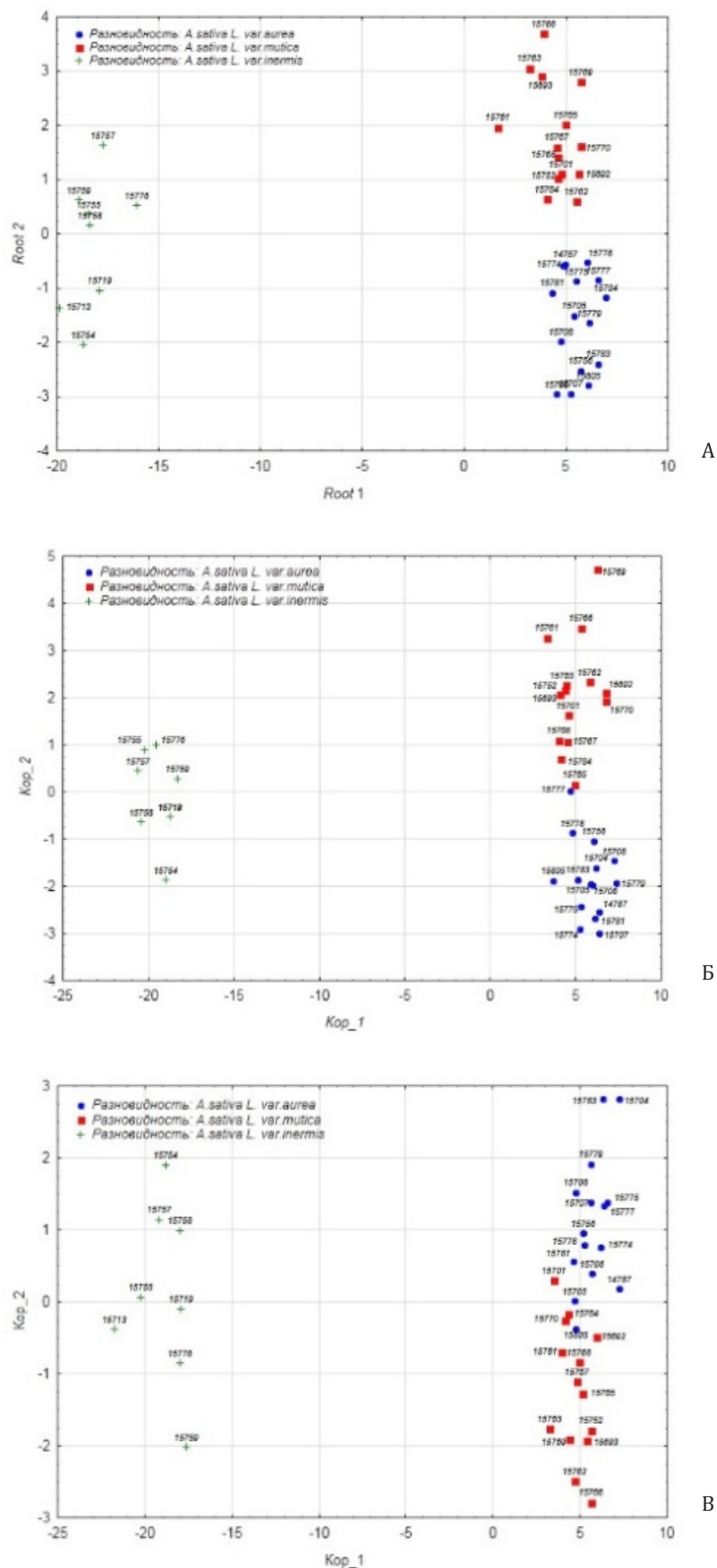
<sup>17</sup> Приложение 17 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 17. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>18</sup> Приложение 18 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 18. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>19</sup> Приложение 19 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 19. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>20</sup> Приложение 20 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 20. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>21</sup> Приложение 21 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 21. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>



**Рис. 1.** Распределение образцов зерна разновидностей *Avena sativa* L. из коллекции VIR в пространстве двух канонических осей в 2021 г. (А), 2022 г. (Б) и 2023 г. (В)

**Fig. 1.** Distribution of the grain of *Avena sativa* L. varieties from the VIR collection in the space of two canonical axes in 2021 (A), 2022 (B), and 2023 (B)

пировались только в 2021 г. (100% верных решений,  $\rho = 0,00$ ). В 2022 г. 2 образца: к-15705 (Prokor, Словакия, var. *aurea*,  $\rho = 0,417$ ) и к-15805 (UFRGS 987015-2, Бразилия, var. *aurea*,  $\rho = 0,241$ ) вошли в состав *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* соответственно (86,7% правильных решений). В 2023 г. к-15777 (Elegant, Польша, var. *aurea*,  $\rho = 0,468$ ) вошел в состав группы *A. sativa* var. *mutica* (93,3% правильных решений) (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 21).

**Факторный анализ** выявил различие в факторной структуре варьирования в разные годы изучения. В 2021 г. выделились два фактора, в 2022 и 2023 гг. – по три фактора. Доля общей дисперсии факторов изменялась от 84,3% в 2021 г., 85,0% в 2022 г. до 87,0% в 2023 г. (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 22<sup>22</sup>, рис. 2). Влияние первого фактора было самым сильным в 2021 г., второго – в 2022 г., третьего – в 2023 г.

В 2021 г. первый фактор оказывал максимальное влияние на дисперсию образцов (59,0%). Он был положительно связан с накоплением белка (0,885), крахмала (0,929), масла (0,841),  $\beta$ -глюканов (0,800), суммы ФВ (0,823), АОА (0,725), пальмитиновой кислоты (0,803), линолевой кислоты (0,710), суммы насыщенных жирных кислот (0,743) и отрицательно – с накоплением олеиновой кислоты (–0,755), линоленовой кислоты (–0,875), суммы ненасыщенных жирных кислот (–0,743). В 2022 г. его влияние снизилось до 37,9%, а в составе осталось три признака – положительно связанные параметры масла (0,726) и глюканов (0,851) и отрицательно связанные параметры линоленовой кислоты (–0,910). В 2023 г. влияние первого фактора возросло (48,6), состав увеличился до восьми признаков: положительно связанные – масло (0,839), пальмитиновая кислота (0,863), линолевая кислота (0,766), сумма насыщенных жирных кислот (0,892); отрицательно связанные – олеиновая кислота (–0,814), линоленовая кислота (–0,818), сумма ненасыщенных жирных кислот (–0,892) и индекс жирных кислот (–0,903).

В 2021 г. на долю второго фактора приходилось 25,3% влияния на распределение образцов овса. Второй фактор отрицательно связан только с одним признаком – линоленовой жирной кислотой (–0,910). В 2022 г. его влияние усилилось (39,5%). В его состав вошло 5 положительно связанных с ним признаков: белок (0,730), глюканы (0,851), ФВ (0,833), пальмитиновая кислота (0,863), сумма насыщенных жирных кислот (0,748), а также 2 отрицательно связанных – сумма ненасыщенных жирных кислот (–0,748) и индекс жирных кислот (–0,737). В 2023 г. влияние второго фактора снизилось до 26,2%, в составе осталось три положительно связанных с ним признака – белок (0,756), глюканы (0,860), ФВ (0,794).

С 2022 г. факторная структура расширилась до трех, влияние третьего фактора в этом году было 7,6% и в 2023 г. выросло до 12,2%.

Третий фактор был отрицательно связан только со стеариновой кислотой (–0,958 в 2022 г. и –0,941 в 2023 г.) (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 22).

На рисунке 2 (А–В) наглядно видно влияние первого фактора на четкое разделение голозерных образцов от *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica*. Под влиянием второго и третьего фактора изменялась внутренняя струк-

<sup>22</sup> Приложение 22 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 22. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

тура группы голозерных образцов: более компактная в 2021 г. и «рыхлая» в 2022–2023 гг. Образцы *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* лучше всего были разделены между собой в 2021 г., хотя ряд образцов *A. sativa* var. *aurea* перешел в группу *A. sativa* var. *mutica*, факторные оси почти параллельны друг другу (рис. 2, А). В 2022 г. *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* представляют практически одну группу (факторные оси пересекаются) (см. рис. 2, Б). В 2023 г. скопление образцов *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *mutica* стало более «рыхлым», но их разделение между собой стало более четким несмотря на то, что факторные оси продолжают пересекаться (см. рис. 2, В).

Проведенный статистический анализ полученных данных показал, что голозерные образцы овса значительно отличаются от групп пленчатых разновидностей образцов. Группы пленчатых разновидностей имеют в целом достоверные различия между собой, но по результатам дискриминантного и факторного анализа часто образуют смешанную группу. Очевидно, это связано с тем, что var. *inermis* относится к голозерному подвиду овса посевного, а var. *aurea* и var. *mutica* – к пленчатому. Также было показано влияние года репродукции на качественный состав образцов зерновок разновидностей овса, что подтверждает зависимость качественного состава зерновок от погодных условий.

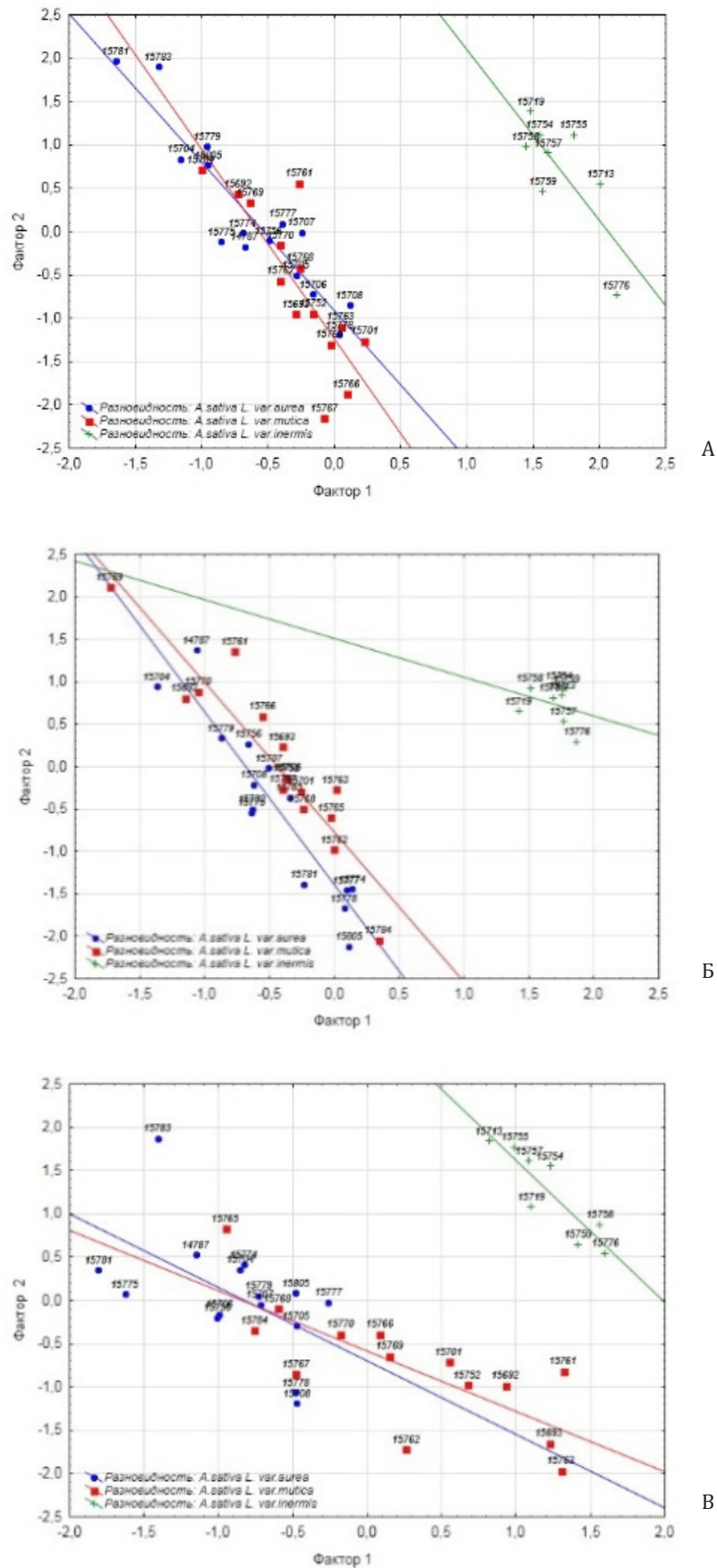
По результатам **неспецифического метаболомного профилирования** у всех изученных разновидностей выявлено 330 компонентов, из которых идентифицировано 146. Ряд веществ представлен несколькими пиками, в связи с особенностями взаимодействия бис(триметилсилил)ацетамида (N,O-Bis(trimethylsilyl)acetamide) (БСА) с молекулами анализируемой смеси веществ (Halket, Zaikin, 2003). Концентрация таких соединений определяется суммой всех пиков, имеющих одинаковую идентификацию. В результате количество соединений уменьшилось до 97, которые были объединены в 13 групп. В метаболомных профилях (МП) зерновок *A. sativa* var. *aurea* преобладали свободные аминокислоты (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 23)<sup>23</sup>, в том числе непротеиногенные, амины и амиды (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 24)<sup>24</sup>, олигосахара (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 25)<sup>25</sup>, производные сахаров (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 23), парафины (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 26)<sup>26</sup>, фитостеролы (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 23); у зерновок *A. sativa* var. *inermis* – свободные жирные кислоты (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 24), спирты, кислоты; у зерновок *A. sativa* var. *mutica* – ацилглицеролы (Electronic Supplementary Materials,

<sup>23</sup> Приложение 23 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 23. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>24</sup> Приложение 24 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 24. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>25</sup> Приложение 25 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 25. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>26</sup> Приложение 26 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 26. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>



**Рис. 2.** Распределение образцов изученных разновидностей овса из коллекции ВИР в факторном пространстве признаков в 2021 г. (А), 2022 г. (Б) и 2023 г. (В)

**Fig. 2.** Distribution of the accessions of the studied oat varieties from the VIR collection in the factor space of characters in 2021 (А), 2022 (Б), and 2023 (В)

Suppl. 27)<sup>27</sup>, моносахара (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 23), фенолсодержащие соединения (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 26, Electronic Supplementary Materials, Suppl. 28<sup>28</sup>). Достоверность отличий была подтверждена только для группы парафинов и моносахаров МП *A. sativa* var. *aurea* и *A. sativa* var. *inermis* соответственно (см. Electronic Supplementary Materials, Suppl. 26, Suppl. 28).

**Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA)** выявил группу метаболитов, содержание которых достоверно различается в МП, у всех изученных разновидностей овса. С высокой степенью достоверности ( $p < 0,05$ ) МП отличаются по способности накапливать молочную, никотиновую, янтарную, кофейную, глутаминовую кислоты,  $\alpha$ -аланин, триптофан, этаноламин, эйкозан; средней ( $p < 0,1$ ) – валин, треонин, серин, миоинозитол и сумму парафинов (Electronic Supplementary Materials, Suppl. 29)<sup>29</sup>. Таким образом, зерновки разновидностей овса, различающиеся по наличию пленки и окраске цветковой чешуи (белой и желтой), также отличаются по интенсивности фотосинтеза, гликолиза, реакций цикла Кребса, синтеза молекул сигнальной системы растения и фитогормонов, метаболизму никотината и никотинамида, биосинтезу вторичных метаболитов, включая фенолпропаноиды, синтезу протеинов с определенным набором аминокислот, метаболизму глицерофосфолипидов, что влияет на возможность их адаптации к различным стрессам среды.

### Заключение

Комплексное изучение образцов разновидностей овса посевного способствовало получению новых сведений об их химическом составе и влиянии абиотических факторов, выявлению закономерностей изменчивости признаков, отличий на уровне обменных процессов (накоплении отдельных и групп метаболитов). Исследование позволило выявить потенциальные возможности различных генотипов культурного овса, проследить за их биохимическими особенностями, выделить источники высокого содержания ценных для человека химических веществ.

Установлено, что образцы голозерного овса достоверно отличались высокими значениями белка, крахмала, масла,  $\beta$ -глюканов, АОА и суммы ФВ за весь период изучения. Данные, полученные для зерновок пленчатых разновидностей овса, были значительно ниже.

Факторный анализ показал достоверные различия в химическом составе зерновок, которые подтверждают морфологическую дифференциацию между пленчатым подвидом посевного овса (*A. sativa* subsp. *sativa*) и голозерным (*A. sativa* subsp. *nudisativa*).

Образцы изученных разновидностей, различающихся по наличию пленки и окраске цветковой чешуи (белой

и желтой), согласно однофакторному дисперсионному анализу, показали достоверное отличие по интенсивности прохождения основных физиолого-биохимических процессов в зерновках овса посевного, что, по всей видимости, оказывает влияние на адаптацию к различным биотическим и абиотическим стрессорам.

Исследование позволило выявить потенциальные возможности различных генотипов культурного овса, проследить за их биохимическими особенностями, выделить источники высокого содержания:

– белка: var. *aurea* – к-15770 (13,43–14,01%), к-15781 (13,58–14,97%), к-15805 (14,90–15,03%); var. *mutica* – к-15765 (14,34–15,25%), к-15784 (14,32–15,63%); var. *inermis* – к-15759 (18,30–19,19%), к-15719 (18,24–21,09%); сорт-стандарт – 12,00–13,72%;

– крахмала: var. *aurea* – к-15705 (46,21–47,39%), к-15774 (45,65–47,92%), к-15779 (45,88–47,86%); var. *mutica* – к-15762 (45,12–46,97%), к-15784 (44,81–49,88%); var. *inermis* – к-15754 (57,97–61,90%), к-15776 (59,06–63,02%); стандарт – 40,24–45,83%;

– масла: var. *aurea* – к-15778 (5,05–5,38%); var. *mutica* – к-15762 (5,78–6,15%), к-15763 (5,63–5,85%); var. *inermis* – к-15713 (5,87–7,89%), к-15755 (6,0–8,31%), к-15776 (7,71–8,05%); стандарт – 4,62–5,36%;

– антиоксидантов: var. *aurea* – к-15756 (10,71–11,03 мг%); var. *mutica* – к-15693 (10,61–11,34 мг%); var. *inermis* – к-15713 (14,42–18,31 мг%), к-15754 (17,81–21,88 мг%); стандарт – 11,23–11,68 мг%;

– фенольных веществ: var. *aurea* – к-15707 (83,22–111,87 мг%); var. *mutica* – к-15761 (77,57–114,05 мг%); var. *inermis* – к-15719 (120,25–124,86 мг%); стандарт – 81,64–108,70 мг%;

– оптимального жирнокислотного состава масла: по соотношению линолевой кислоты к олеиновой к единице не приближается ни один образец. Наиболее близкие значения: var. *aurea* – к-15779 (1,3–1,7) и var. *mutica* – к-15784 (1,1–1,7);

– повышенного содержания  $\beta$ -глюканов: var. *aurea* – к-15779 (3,39–3,60%), к-15783 (3,23–3,68%); var. *mutica* – к-15784 (3,35–3,67%); var. *inermis* – к-15755 (4,14–5,03%);

– низкого содержания  $\beta$ -глюканов: var. *mutica* – к-15763 (2,68–2,96%); стандарт – 3,31–3,52%.

Данные образцы являются ценным исходным материалом для селекции современных районированных сортов овса и потенциальным сырьем для развития отечественного производства высококачественных кормов и продуктов питания разного направления.

### References / Литература

- 365 Celsius. Exact forecasting and history. Weather in Pushkin (365 по Tselisyu. Tochny prognoz i istoriya. Pogoda v Pushkine): [website]. [in Russian] (365 по Цельсию. Точный прогноз и история. Погода в Пушкине: [сайт]). URL: <https://pogoda.365c.ru/russia/pushkin> [дата обращения: 20.05.2025].
- Abugalieva A.I., Loskutov I.G., Savin T.V., Chudinov V.A. Evaluation of naked oat accessions from the VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):9-21. [in Russian] (Абугалиева А.И., Лоскутов И.Г., Савин Т.В., Чудинов В.А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):9-21). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21

<sup>27</sup> Приложение 27 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 27. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>28</sup> Приложение 28 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 28. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

<sup>29</sup> Приложение 29 представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2> / Electronic Supplementary Materials, Suppl. 29. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2026-1-o2>

- Ahmet B., Ümit G., Musa Ö.M., Ziya D., Nurhan U. Oil contents and fatty acid composition of oat (*Avena sativa* L.) seed and oils. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2019;25(4):182-186.
- Batalova G.A. Perspectives and results of naked oats breeding. *Legumes and Groat Crops*. 2014;2(10):64-69. [in Russian] (Баталова Г.А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;2(10):64-69).
- Brindzova L., Čertik M., Rapta P., Zalibera M., Mikulajová A., Takacsova M. Antioxidant activity,  $\beta$ -glucan and lipid contents of oat varieties. *Czech Journal of Food Sciences*. 2008;26(3):163-173. DOI: 10.17221/2564-CJFS
- Chmelová D., Ondrejovič M., Havrlentova M., Hozlar P. Antioxidant activity in naked and hulled oat (*Avena sativa* L.) varieties. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2015;4(3):63-65. DOI: 10.15414/jmbfs.2015.4.special3.63-65
- Emmons C.L., Peterson D.M. Antioxidant activity and phenolic content of oat as affected by cultivar and location. *Crop Science*. 2001;41(6):1676-1681. DOI: 10.2135/cropsci2001.1676
- Halket J.M., Zaikin V.G. Derivatization in mass spectrometry – 1. Silylation. *European Journal of Mass Spectrometry*. 2003;9(1):1-21. DOI: 10.1255/ejms.527
- Heneen W.K., Banas A., Leonova S., Carlsson A.S., Marttila S., Debski H. et al. The distribution of oil in the oat grain. *Plant Signaling and Behavior*. 2009;4(1):55-56. DOI: 10.4161/psb.4.1.7313
- Horeva V.I., Shelenga T.V., Blinova E.V., Konarev A.V., Loskutov I.G. Catalogue of the VIR global collection. Issue 876. Oats: biochemical characteristics of the accessions. St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Хорева В.И., Шеленга Т.В., Блинова Е.В., Конарев А.В., Лоскутов И.Г. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 876. Овес: биохимическая характеристика образцов. Санкт-Петербург: ВИР; 2018).
- Kozlova G.Ya., Akimova O.V. Comparative assessment of the bare-grained and filmy oats varieties on main parameters of corn quality. *Agricultural Biology*. 2009;44(5):87-89. [in Russian] (Козлова Г.Я., Акимова О.В. Сравнительная оценка голозерных и пленчатых сортов овса по основным показателям качества зерна. *Сельскохозяйственная биология*. 2009;44(5):87-89).
- Krasilnikov V.N., Batalova G.A., Popov V.S., Sergeeva S.S. Fatty acid composition of lipids in naked oat grain of domestic varieties. *Russian Agricultural Sciences*. 2018;44(5):406-408. DOI: 10.3103/S1068367418050117
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. (comp.). Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektzii yachmenya i ovsya). I.G. Loskutov (ed.). 4th ed. St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса / сост. И.Г. Лоскутов, О.Н. Ковалева, Е.В. Блинова; под ред. И.Г. Лоскутова. 4-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Loskutov I.G., Polonskiy V.I. Content of  $\beta$ -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus
- Manzoor M.S., Pasha I., Shehzad A., Zia M.A., Zhu M.J. Antioxidant profiling of indigenous oat cultivars with special reference to avenanthramides. *International Food Research Journal*. 2020;27(2):261-269.
- Novikov N.N. Plant biochemistry (Biokhimiya rasteniy). Moscow; 2012. [in Russian] (Новиков Н. Н. Биохимия растений. Москва; 2012).
- Parageorgiou M., Lakhara N., Lazaridou A., Biliaderis C.G., Izydorczyk M.S. Water extractable (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans from barley and oats: An intervarietal study on their structural features and rheological behaviour. *Journal of Cereal Science*. 2005;42(2):213-224. DOI: 10.1016/j.jcs.2005.03.002
- Peterson D.M., Wesenberg D.M., Burrup D.E., Erickson C.A. Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Science*. 2005;45(4):1249-1255. DOI: 10.2135/cropsci2004.0063
- Pleshkov B.P. Biochemistry of agricultural plants (Biokhimiya selskokhozyaystvennykh rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Плешков Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. Москва: Агропромиздат; 1987).
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):683-690. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Popov V.S., Khoreva V.I., Konarev A.V., Shelenga T.V., Blinova E.V., Malyshev L.L. et al. Evaluating germplasm of cultivated oat species from the VIR collection under the Russian northwest conditions. *Plants (Basel)*. 2022;11(23):3280. DOI: 10.3390/plants11233280
- Puzanskiy R., Tarakhovskaya E.R., Shavarda A., Shishova M. Metabolomic and physiological changes of *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyceae, Chlorophyta) during batch culture development. *Journal of Applied Phycology*. 2018;30(2):803-818. DOI: 10.1007/s10811-017-1326-9
- Rodionova N.F., Soldatov V.N., Merezko V.E., Yarosh N.P., Kobylyansky V.D. Flora of cultivated plants. Vol. 2, Pt. 3. Oat (Oves). V.D. Kobylyansky, V.N. Soldatov (eds). Moscow: Kolos; 1994. [in Russian] (Родионова Н.Ф., Солдатов В.Н., Мережко В.Е., Ярош Н.П., Кобылянский В.Д. Культурная флора. Т. 2, ч. 3. Овес / под ред. В.Д. Кобылянского, В.Н. Солдатов. Москва: Колос; 1994).
- Samchenko O.N., Merkucheva M.A. Germinated seed – perspective raw material to develop new types of products. *Novy universitet. Seriya: tekhnicheskiye nauki = New University. Series: Engineering Sciences*. 2015;7-8(41-42):27-32. [in Russian] (Самченко О.Н. Меркучева М.А. Пророщенное зерно – перспективное сырье для разработки новых видов изделий. *Новый университет. Серия: технические науки*. 2015;7-8(41-42):27-32).
- Seryakova L.P. Meteorological conditions and plants. A manual on agricultural meteorology (Meteorologicheskiye usloviya i rasteniya. Uchebnoye posobiye po agrometeorologii). Leningrad; 1971. [in Russian] (Серякова Л.П. Метеорологические условия и растения. Учебное пособие по агрометеорологии. Ленинград; 1971).
- Shtark O.Y., Puzanskiy R.K., Avdeeva G.S., Yurkov A.P., Smolkova G.N., Yemelyanov V.V. et al. Metabolic alterations in

- pea leaves during arbuscular mycorrhiza development. *PeerJ*. 2019;7:e7495. DOI: 10.7717/peerj.7495
- Skryabin A.A., Froltsova I.N., Antipina A.A. Cultivated oat – a valuable cereal crop (Oves posevnoy – tsennaya zlakovaya kultura). *E-Scio*. 2020;8(47):282-290. [in Russian] (Скрябин А. А., Фрольцова И. Н., Антипина А. А. Овес посевной – ценная злаковая культура. *E-Scio*. 2020;8(47):282-290).
- Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Dremina N.V., Smirnov S.O. Analysis of the chemical composition and nutritional value of grain raw materials for the production of baby foods. *Food Industry*. 2018;(8):16-20. [in Russian] (Урубков С.А., Хованская С.С., Дрёмина Н.В., Смирнов С.О. Анализ химического состава и пищевой ценности зернового сырья для производства продуктов детского питания. *Пищевая промышленность*. 2018;(8):16-20).
- Wang Y., Frei M. Stressed food – the impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011;141(3-4):271-286. DOI: 10.1016/j.agee.2011.03.017
- Yashin A., Yashin Y., Fedina P., Chernousova N. Determination of natural antioxidants in cereal grains and bean cultures. *Analytics*. 2012;1(2):32-36. [in Russian] (Яшин А., Яшин Я., Федина П., Черноусова Н. Определение природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах. *Аналитика*. 2012;1(2):32-36).

### Информация об авторах

**Валентина Ивановна Хорева**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

**Татьяна Васильевна Шеленга**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

**Виталий Сергеевич Попов**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

**Эльвира Эмильевна Сафонова**, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.safonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2199-3115>

**Елена Владимировна Блинова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.blinova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8898-4926>

**Леонид Леонидович Малышев**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.malyshv@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

**Игорь Градиславович Лоскутов**, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

### Information about the authors

**Valentina I. Khoreva**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

**Tatiana V. Shelenga**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

**Vitaliy S. Popov**, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

**Elvira E. Safonova**, Cand. Sci. (Pedagogy), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.safonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2199-3115>

**Elena V. Blinova**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.blinova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8898-4926>

**Leonid L. Malyshev**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.malyshv@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

**Igor G. Loskutov**, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Chief Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.06.2025; одобрена после рецензирования 15.09.2025; принята к публикации 20.10.2025.

The article was submitted on 20.06.2025; approved after reviewing on 15.09.2025; accepted for publication on 20.10.2025.