

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
**ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ**  
**Т. 18, № 2. 2026 год**

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Аграрный научный центр «Донской»,  
член Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ).  
Издается с января 2009 г.

**Пахомов В.И.** – главный редактор, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор (Зерноград, Россия);  
**Калинина Н.В.** – зам. главного редактора (Зерноград, Россия);  
**Шарова С.Ю.** – тех. секретарь (Зерноград, Россия).

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Баталова Г. А.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (Киров, Россия);  
**Беспалова Л.А.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);  
**Волкова Г.В.** – чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, ФГБНУ «ФНЦБЗР» (Краснодар, Россия);  
**Гончаренко А.А.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);  
**Давлетов Ф.А.** – д-р с.-х. наук, Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия);  
**Долженко В.И.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);  
**Дубина Е.В.** – д-р биол. наук, проф. РАН, ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодар, Россия);  
**Зезин Н.Н.** – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);  
**Клыков А.Г.** – академик РАН, д-р биол. наук, проф. РАН,  
ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (Уссурийск, Россия);  
**Костылев П.И.** – д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);  
**Лобачевский Я.П.** – академик РАН, д-р техн. наук, проф. РАН (Москва, Россия);  
**Лукомец В.М.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);  
**Медведев А.М.** – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);  
**Паштетский В.С.** – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «НИИСХ Крыма» (Симферополь, Россия);  
**Плугатарь Ю.В.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «НБС-ННЦ» (Ялта, Россия);  
**Сотченко В.С.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);  
**Упадышев М.Т.** – чл. корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Москва, Россия);  
**Шевченко С.Н.** – академик РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «Самарский ФИЦ РАН» (Самара, Россия).

**ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

**Урбан Э.П.** – член-корр. НАН Беларуси, д-р с.-х. наук, профессор,  
РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (Жодино, Республика Беларусь);  
**Усенбеков Б.Н.** – канд. биол. наук, проф., РГП «Институт биологии и биотехнологии растений»  
(Алматы, Республика Казахстан);  
**Халил Сурек** – д-р наук, Тракийский аграрный НИИ (Эдирне, Турция);  
**Юсупов Г.Ю.** – канд. с.-х. наук, Министерство сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана  
(Ашхабад, Туркменистан).

*Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС 77-81134 от 17 мая 2021 г.*

Журнал включен в Перечень ВАК Минобрнауки России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (категория К1), выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (по научным специальностям: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки), 4.1.3. Агробиология, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки). Журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ), Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Белый список (Уровень 1). Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбекина О.Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.  
Тел.: 8(863)594-36-89; E-mail: zhros.don@yandex.ru  
Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.04.2026. Свободная цена  
Дата выхода 28.04.2026. Формат 60x84/8. Тираж 200. Заказ №552  
Отпечатано в ООО «Сулинполиграфсервис», г. Красный Сулин, ул. Ленина, 9.

THEORETICAL AND SCIENCE-PRACTICAL JOURNAL  
**GRAIN ECONOMY OF RUSSIA**  
**Vol. 18, № 2. 2026**

The founder and publisher is Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural Research Center "Donskoy",  
a member of the Association of Science Editors and Publishers (ASEP)  
The journal has been published since January, 2009.

**Pakhomov V.I.** – chief editor, Dr. Sci. (Technology), professor, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);  
**Kalinina N. V.** – deputy chief editor (Zernograd, Russia);  
**Sharova S. Yu.** – technical secretary (Zernograd, Russia).

**EDITORIAL BOARD:**

**Batalova G.A.**, Federal Agricultural Research Center of the East named N. V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture),  
professor, academician of RAS (Kirov, Russia);  
**Bespalova L.A.**, "P. P. Lukiyanenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);  
**Volkova G. V.**, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology), corresponding member of RAS (Krasnodar, Russia);  
**Gontcharenko A. A.**, Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);  
**Davletov F. A.**, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia);  
**Dolzhenko V. I.**, All-Russian Research Institute of Plant Protection – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (St. Petersburg, Russia);  
**Dubina E.V.**, Federal Scientific Rice Centre – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);  
**Zein N. N.**, Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Ekaterinburg, Russia);  
**Klykov A.G.**, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika - Dr. Sci. (Biology),  
professor of RAS, academician of RAS (Ussuriysk, Russia);  
**Kostylev P. I.**, Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Agriculture), professor (Zernograd, Russia);  
**Lobachevsky Ya. P.**, Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor of RAS, academician of RAS  
(Moscow, Russia);  
**Lukomets V. M.**, Federal Scientific Center "V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture),  
professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);  
**Medvedev A. M.**, Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);  
**Pashtetskiy V. S.** – "Research Institute of Agriculture of Crimea" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Simferopol, Russia);  
**Plugatar Yu. V.** – FSBSI " NBG-NSC" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Yalta, Russia);  
**Sotchenko V. S.**, All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);  
**Upadyshev M. T.**, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture),  
professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);  
**Shevchenko S. N.**, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture),  
academician of RAS (Samara, Russia).

**FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:**

**Urban E.P.**, RUE "The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming" –  
Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of NAS (Zhodino, The Republic of Belarus);  
**Usenbekov B. N.**, Institute of Plant biology and biotechnology– Cand. Sci. (Biology), professor,  
(Almaty, The Republic of Kazakhstan);  
**Khalil Surek**, Trakia Agricultural Research Institute – PhD (Edirne, Turkey);  
**Yusupov G. Yu.**, Ministry of Agriculture and Water Management of Turkmenistan – Cand. Sci. (Agriculture) (Ashkhabad, Russia).

*The journal has been registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology  
and Mass Media (Roskomnadzor). Registration number is PI No. FS 77-81134 dated May 17, 2021*

The science-practical journal is registered in the List of the leading reviewed scientific journals and publications (category K1) issued in the country approved by the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, where basic scientific results of thesis on Ph.D. and Doctor of Sciences are to be published (scientific specialties: 4.1.1. General agriculture and plant production (agricultural science), 4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (agricultural science), 4.1.3. Agrochemistry, agricultural soil science, plant protection and quarantine (agricultural science). The journal is included into Russian Science Citation Index (RSCI) on the platform Web of Science (RSCI core), Russian Science Citation Index (RSCI), and in the "Whitelist" (Level 1). The journal is included in the international Directory of Open Access Journals (DOAJ).

English version is of Olga N. Skuybedina.

The official address of the editorial board is 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3.  
Tel.: 8(863)594-36-89; E-mail: zhros.don@yandex.ru

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.04.2026  
The date of the issue is 28.04.2026. Format 60x84/8. Circulation 200. Order №552. Free price  
Printed in Ltd «Sulinpoligrafservis», Krasny Sulin, Lenina Str., 9.

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

- Е.В. Гуреева, А.В. Солодягина** Показатели адаптивности перспективных сортообразцов сои по признакам «урожайность» и «сбор масла» с единицы площади в условиях Рязанской области 5
- А.А. Донцова, Р.Н. Брагин, Д.П. Донцов, Э.С. Дорошенко, И.М. Засыпкина** Использование селекционных индексов и показателей адаптивности при оценке перспективного селекционного материала ярового ячменя 11
- Д.И. Еремин, А.В. Любимова, А.А. Ахтямова, Ю.В. Савельева** Реализация протеинового потенциала плёнчатых генотипов овса Российской селекции в Зауралье 20
- Н.Ю. Волчанский, Н.А. Лемешев, А.И. Супрунов, И.Н. Сергиенко** Оценка и отбор инбредных линий кукурузы с высокой общей комбинационной способностью по урожайности зерна по результатам трёхлетнего тесткросс-анализа 30
- Е. А. Пирогова, Л. А. Горлова, С. Г. Ефименко** Биохимические и посевные характеристики семян рапса озимого, полученных при опылении в условиях группового сетчатого изолятора 36
- Г.А. Филенко, Ю.Г. Скворцова, Н.В. Калинина** Урожайность и семенные качества сортов озимой мягкой пшеницы в первичных звеньях семеноводства 43
- Е. Ю. Черпакова** Оценка устойчивости коллекционных образцов ярового ячменя в условиях моделированной засухи на показатели фотосинтетической активности растений и урожайность 50
- Е.В. Чугунова, А.А. Новиков** Оценка адаптивности новых гибридов кукурузы селекции Всероссийского НИИ орошаемого земледелия 57
- Ж.Н. Мухатова, А.Г. Субботин, Н.В. Степанова** Биоэнергетическая оценка сортообразцов нута (*cicer arietinum* L.) в условиях Нижнего Поволжья 63

**ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО**

- О. И. Бундина, С. Н. Коломиец, А. Ю. Герасина, В. В. Бумба** Влияние твердозёрности на технологические показатели пшеницы (обзор) 71
- П.А. Иванов, А.П. Юрков, А.И. Беляева, Ю.В. Лактионов, Ю.В. Косульников, К.Н. Бердышева, С.А. Васильченко, О.Г. Цирульник, А.А. Крюков** Перспективы использования микробных препаратов на основе грибов арбускулярной микоризы и грибов рода *trichoderma* для сельского хозяйства Российской Федерации в условиях дефицита влаги 77
- В. И. Пахомов, Д. В. Рудой, Т. А. Мальцева, Е. Н. Косолапова** Исследование влияния экстрозионной обработки зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости на показатели качества 85
- С.В. Косенко, А.А. Ермаков** Анализ влияния препаратов «Агромаксимум 5» и «Агроверм мастер» на хозяйственно ценные признаки озимой пшеницы, культивируемой в Пензенской области 91
- Н. А. Галушко, Н. И. Соколенко, Р. Г. Гаджиумаров** Реакция новых сортов озимой мягкой пшеницы на азотную подкормку в колошение 97

**ПАМЯТИ УЧЕНОГО**

104

**CONTENTS**

**PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS**

- E.V. Gureeva, A.V. Solodyagina** Adaptability indicators of promising soybean varieties according to the traits 'productivity' and 'oil yield' per an area unit in the Ryazan region 5
- A.A. Dontsova, R.N. Bragin, D.P. Dontsov, E.S. Doroshenko, I.M. Zasypkina** The use of selection indices and adaptability indicators in the evaluation of promising spring barley breeding material 11
- D.I. Eremin, A.V. Lyubimova, A.A. Akhtyamova, Yu.V. Savelieva** The use of protein potential of Russian hulled oat genotypes in the Trans-Urals 20
- N.Yu. Volchansky, N.A. Lemeshev, A.I. Suprunov, I.N. Sergienko** Evaluation and selection of inbred maize lines with high overall combining ability according to grain productivity based on the three-year test-cross analysis results 30
- E.A. Pirogova, L.A. Gorlova, S.G. Efimenko** Biochemical and sowing characteristics of winter rapeseed developed by pollination in a group net isolator 36
- G.A. Filenko, Yu.G. Skvortsova, N.V. Kalinina** Productivity and seed quality of winter common wheat varieties in the primary stages of seed production 43
- E.Yu. Cherpakova** Estimation of collection spring barley samples' resistance on the indicators of photosynthetic activity of plants and productivity at simulated drought 50
- E.V. Chugunova, A.A. Novikov** Estimation of adaptability of the new maize hybrids bred by the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture 57
- Zh.N. Mukhatova, A.G. Subbotin, N.V. Stepanova** Bioenergetic assessment of chickpea varieties (*Cicer arietinum* L.) in the Lower Volga region 63

**GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING**

- O.I. Bundina, S.N. Kolomiets, A.Yu. Gerasina, V.V. Bumba** The influence of grain hardness on technological indicators of wheat (review) 71
- P.A. Ivanov, A.P. Yurkov, A.I. Belyaeva, Yu.V. Laktionov, Yu.V. Kosulnikov, K.N. Berdysheva, S.A. Vasilchenko, O.G. Tsurulnik, A.A. Kryukov** Prospects for the use of microbial products with arbuscular mycorrhiza fungi and *Trichoderma* fungi for the Russian agriculture under moisture deficiency 77
- V.I. Pakhomov, D.V. Rudoy, T.A. Maltseva, E.N. Kosolapova** The study of extrusive processing effect of grain heap of wheat of early maturity stages on quality indicators 85
- S.V. Kosenko, A.A. Ermakov** Analysis of the effect of the products "Agromaximum 5" and "Agroverm master" on the economically valuable traits of winter wheat cultivated in the Penza region 91
- N.A. Galushko, N.I. Sokolenko, R.G. Gadzhumarov** Response of new winter common wheat varieties to nitrogen top dressing during the heading growth stage 97

**IN MEMORY OF THE SCIENTIST**

104

## СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.34:631.527

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-5-10

### ПОКАЗАТЕЛИ АДАПТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТООБРАЗЦОВ СОИ ПО ПРИЗНАКАМ «УРОЖАЙНОСТЬ» И «СБОР МАСЛА» С ЕДИНИЦЫ ПЛОЩАДИ В УСЛОВИЯХ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Е.В. Гуреева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, elenagureeva@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-1740-7937;

**А.В. Солодягина**, младший научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, ORCID ID: 0009-0005-6087-2411,

*Институт семеноводства и агротехнологий - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
390502, Рязанская обл., с. Подвьязь, ул. Парковая, д. 1; e-mail podvyaze@bk.ru*

Соя (*Glycine hispida*) – интересная и значимая культура в растениеводстве, так как соя высококоротельна и перспективна с точки зрения ряда ценных хозяйственных признаков. Исследования проведены в 2020-2024 гг. в Институте семеноводства и агротехнологий (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), расположенном в Рязанской области. Целью исследований являлось изучение параметров адаптивности сортообразцов сои по признакам «урожайность» и «сбор масла» с единицы площади и определение перспектив использования линий в селекционной работе. Опытный участок представлен темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвой, с содержанием органического вещества – 4,95 %, подвижного фосфора – 213 мг/кг почвы, подвижного калия – 155 мг/кг почвы, общего азота – 0,23 %; рН<sub>сол.</sub> – 4,91 ед. Уровень адаптивных свойств перспективных сортообразцов сои оценивали в питомнике конкурсного сортоиспытания. Для расчета параметров адаптивности использовали следующие показатели: размах показателя (d, %), стандартное отклонение (σ), коэффициент вариации (Cv, %), фактор фенотипической стабильности (SF); коэффициент адаптивности (КА); гомеостатичность (Hom), стрессоустойчивость (Y<sub>min</sub>-Y<sub>max</sub>) по соответствующим методикам. Выявлено, что существенное влияние на формирование показателя «урожайность» оказали метеорологические условия года – температура вегетационного периода ( $r=+0,893\pm 0,04$ ) и количество осадков в фазу налива семян ( $r=+0,919\pm 0,03$ ).

Комплексный рейтинг по совокупности признаков адаптивности выявил лучшие сортообразцы (Л 4146 x Brawal-la) x Касатка и отбор Касатка, характеризующиеся устойчивостью к изменению погодных условий и способные формировать высокую продуктивность и сбор масла с единицы площади в условиях Рязанской области.

**Ключевые слова:** соя, генотип, Рязанская область, урожайность, сбор масла, адаптивность.

**Для цитирования:** Гуреева Е.В., Солодягина А.В. Показатели адаптивности перспективных сортообразцов сои по признакам «урожайность» и «сбор масла» с единицы площади в условиях Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №.2. С.5-10 DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-5-10



### ADAPTABILITY INDICATORS OF PROMISING SOYBEAN VARIETIES ACCORDING TO THE TRAITS 'PRODUCTIVITY' AND 'OIL YIELD' PER AN AREA UNIT IN THE RYAZAN REGION

**E.V. Gureeva**, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of breeding and primary seed production, elenagureeva@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-1740-7937;

**A.V. Solodyagina**, junior researcher of the department of breeding and primary seed production, ORCID ID: 0009-0005-6087-2411,

*Institute of Seed Production and Agricultural Technologies - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (ISPA - branch of FSAC VIM),  
390502, Ryazan Region, Ryazan district, v. of Podvyazie, Parkovaya Str., 1; e-mail: podvyaze@bk.ru*

Soybean (*Glycine hispida*) is an interesting and significant crop in plant production, as it is highly profitable and promising due to a number of valuable economic traits. The current study was conducted at the Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISPA - branch of FSAC VIM), located in the Ryazan Region from 2020 to 2024. The purpose of the current work was to study the adaptability of soybean variety samples according to the traits 'productivity' and 'oil yield' per an area unit and to establish the potential for using these lines in breeding. The experimental plot was of dark gray, heavy loamy forest soil with 4.95% of organic matter, 213 mg of available phosphorus per a kg of soil, 155 mg of available potassium per a kg of soil, and 0.23% of total nitrogen, pH<sub>salt</sub> = 4.91 units. The adaptive properties of promising soybean

varieties were assessed in the nursery of the Competitive Variety Testing. To calculate adaptability parameters there have been used such indicators as an indicator range ( $d$ , %), a standard deviation ( $\sigma$ ), a coefficient of variation ( $Cv$ , %), a phenotypic stability factor ( $SF$ ), an adaptability coefficient ( $AC$ ), homeostasis ( $Hom$ ), and stress resistance ( $Y_{min}-Y_{max}$ ) using the appropriate methods. There has been revealed that the meteorological conditions of the year such as the temperature of the vegetation period ( $r=+0.893+0.04$ ) and the precipitations during the seed filling stage ( $r=+0.919+0.03$ ) had a significant impact on the formation of the trait 'productivity'. A comprehensive rating based on a combination of adaptability traits has identified the best variety samples (L 4146 x Brawalla) x Kasatka and the variety Kasatka, characterized by resistance to changing weather conditions and capable to form large productivity and oil yield per an area unit in the conditions of the Ryazan region.

**Keywords:** soybean, genotype, Ryazan region, productivity, oil yield, adaptability.

**Введение.** Соя (*Glycine hispida*) – распространенная зернобобовая и масличная культура нашей планеты. Соя является ценной в питательном отношении культурой, хотя по использованию её относят к техническим культурам. В зерне сои содержится до 50 % белка, 20-23 % масла, продукты производства сои используются в пищевой промышленности для изготовления «белого лепестка», в качестве наполнителей в различных изделиях. Велика роль культуры в производстве концентрированных и комбинированных кормов (Зотиков, 2020).

Площади посева сои в стране, согласно официальной статистике, ежегодно увеличиваются на 5–6 %, и только в 2022 году данной культурой было засеяно 3,45 млн га сельхозугодий. География выращивания расширяется за счет продвижения сои в северные регионы РФ, чему способствует проводимая селекционная работа. Наблюдается заметное увеличение площадей, отведенных под сою, и на территории Рязанской области. В 2023 году в Рязанской области сою высевали на площади 96 тыс. га, а в 2024 году – посевная площадь под культурой в регионе превысила 100 тыс. га (<https://www.ryazagro.ru/news/16924/>).

Для успешного возделывания сои необходимо знать особенности формирования урожайности, качества зерна в зависимости от климатических условий возделывания (Бутовец и др., 2023). Для регионов с неравномерным характером увлажнения, каким является и Рязанская область, селекция сои должна иметь ярко выраженную адаптивную направленность (Гуреева и Солодягина, 2024). Адаптивный сорт обладает экологической пластичностью, сочетает стабильно высокую продуктивность с качеством зерна, устойчив к различным биотическим и абиотическим стрессорам, и важнейшая задача селекции как науки на ближайшую перспективу – создание таких агроэкологических сортов (Юсова и др., 2020).

Особенностью сои является уникальность химического состава: комбинация в семенах важнейших естественных соединений – белка и жира.

Соевое масло является одним из наиболее распространенных в мире видов растительного масла, имеющих высокую пищевую ценность. Соевое масло имеет нейтральный вкус, гладкую текстуру, благодаря чему получило универсальное применение, прежде всего, как ингредиент различных пищевых продуктов и рецептов. Пищевая ценность соевого масла заключается в том, что в его состав входят полиненасыщенные и мононенасыщенные жиры, витамины и минералы. Возделывание сои во многих регионах мира, различающихся сортами, технологиями возделывания, климатом, способами переработки, обуславливает различия в соевом масле (Векленко и Дадашев, 2024).

По питательности и переваримости организмом соевое масло приближается к подсолнечному и почти не уступает коровьему сливочному маслу (Арькова и др., 2017).

Следовательно, анализ селекционного материала сои по показателям адаптивности и стабильности позволит выделить сортообразцы по ряду ценных признаков.

Цель исследований – выявить адаптивные способности сортообразцов сои по признакам «урожайность» и «сбор масла» с единицы площади и определить перспективы использования линий в селекционной работе.

#### **Материалы и методы исследований.**

Исследования проведены в Институте семеноводства и агротехнологий (Рязанская область) в 2020-2024 гг. Уровень адаптивных свойств перспективных линий сои оценивали по признакам «урожайность» и «сбор масла» с единицы площади в питомнике конкурсного сортоиспытания, объектом исследования служили 9 сортообразцов. Сортообразцы высевали на делянках площадью 12,8 м<sup>2</sup> сеялкой СН-16, посев широкорядный с шириной междурядий 45 см, повторность 4-х кратная. В качестве стандарта использовали сорт сои Сибириада, районированный по Центральному региону РФ. Почва опытного участка темно-серая лесная тяжелосуглинистая, pH<sub>сол.</sub> – 4,91 ед., содержание органического вещества – 4,95 %.

Фенологические наблюдения и учет урожая проводили согласно методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1983). Математическая обработка данных, коэффициент вариации, стандартное отклонение, ранжирование линий по параметрам экологической адаптивности – по Б.А. Доспехову (2014). Анализ адаптивного потенциала сортообразцов проводили по соответствующим методикам: коэффициент адаптивности ( $KA$ ) по Л.А. Животкову с соавт. (1994), размах показателя ( $d$ ) по В.А. Зыкину с соавт. (1984), показатель гомеостатичности по В.В. Хангильдину (1977), показатель стрессоустойчивости по А.А. Rosielle, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко (2005), фактор фенотипической стабильности ( $SF$ ) по D. Lewis (1954).

Погодные условия вегетационных периодов в годы исследований были контрастными и по влагообеспеченности отличались от среднемноголетних показателей. Период вегетации 2020 г. характеризовался достаточным увлажнением – гидротермический коэффициент (далее ГТК) составил 1,34; 2021-2024 годы характеризовались сухой и жаркой погодой. В 2021 году ГТК=0,68, 2022 г. - ГТК составил 0,35; за вегетационный период 2023 г. - ГТК - 0,50; ГТК сезона 2024 года равен 0,54.

**Результаты и их обсуждение.** За период

исследований выделены перспективные сортообразцы сои по ряду хозяйственно-ценных признаков для использования в дальнейшей селекционной работе. Урожайность сорта – главный параметр, определяющий ценность генотипа. Средняя сортовая урожайность

выбранных для исследования образцов составила 2,03 т/га с вариацией от 1,86 т/га у сортообразца Н 25/16 до 2,29 т/га у Н 9/17 (табл. 1). Превышение по урожайности над стандартом Сибириада отмечено у 8 образцов и составило 5,1-18,7 %.

**Таблица 1. Урожайность линий сои в питомнике конкурсного сортоиспытания в 2020-2024 гг, т/га**  
**Table 1. Productivity of the soybean line in the nursery of the Competitive Variety Testing in 2020-2024, t/ha**

Сортообразец	Урожайность, т/га					
	2020	2021	2022	2023	2024	Y**
Сибириада, st.	2,06	1,66	1,53	2,06	2,01	1,86
Н-8/16	2,60	2,05	1,95	2,14	2,06	2,16
Н-15/16	2,44	2,18	2,21	1,98	2,26	2,21
Н-25/16	1,93	1,89	1,66	1,90	1,93	1,86
Н-29/16	2,25	2,15	1,98	2,04	2,21	2,13
Н-7/17	2,52	2,13	2,02	2,17	2,17	2,20
Н-9/17	2,67	2,41	1,89	2,17	2,35	2,29
Н-19/17	2,52	2,19	2,18	2,01	2,09	2,19
Н-23/17	2,53	1,93	1,77	2,03	2,06	2,06
Н-32/17	2,25	1,99	1,63	1,83	2,11	1,96
Y*	2,38	2,06	1,88	2,03	2,13	
НСР <sub>05</sub>	0,12	0,14	0,19	0,13	0,16	

Примечания. Y\* - средний показатель урожайности по годам; Y\*\* - средний показатель урожайности по сортообразцам

Отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью сортообразца к максимальной урожайности, выраженной в процентах, показывает размах урожайности (d). Только 3 образца сои имели низкий показатель размаха урожайности: это линии Н-29/16 и Н-25/16 и Н-15/16 (табл. 2).

Критерием гомеостатичности сортов можно считать их способность поддерживать низкую вариабельность продуктивности. Таким образом, связь гомеостатичности (Ном) с коэффициентом вариации (Cv, %) характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды.

В наших исследованиях наиболее стабильными на изменения условий выращивания оказались сортообразцы Н-15/16, Н-25/16 и Н-7/17. Об этом свидетельствуют низкое значение коэффициента вариации ( $c_v = 4,98\%$ ,  $5,91\%$  и  $8,64\%$ ) и высокая гомеостатичность (Ном = 34,9, 43,3 и 48,4 соответственно). Большая вариабельность и низкая гомеостатичность отмечены у сортообразца Н-23/17 ( $Cv = 13,59\%$ ; Ном=11,9), что говорит о низкой адаптивности к условиям лесостепной зоны Рязанской области.

**Таблица 2. Адаптивные свойства линий сои по признаку «урожайность» в питомнике конкурсного сортоиспытания, 2020-2024 гг.**

**Table 2. Adaptive properties of the soybean lines according to the trait 'productivity' in the nursery of the Competitive Variety Testing, 2020-2024**

Сортообразец	Урожайность, т/га min-max	d, %	$c_v$ , %	$\sigma$	Ymin-Ymax	SF	KA	Ном	Рейтинг/ сумма рангов
Сибириада, st.	1,53-2,06	25,7	13,98	0,26	-0,53	1,34	0,89	28,8	7/39
Н-8/16	1,95-2,60	25,0	7,87	0,17	-0,65	1,33	1,03	24,6	5/36
Н-15/16	1,98-2,44	18,9	4,98	0,11	-0,46	1,23	1,06	34,9	1/20
Н-25/16	1,66-1,93	13,9	5,91	0,11	-0,27	1,16	0,89	43,3	2/21
Н-29/16	1,98-2,25	12,0	5,16	0,11	-0,27	1,14	1,02	32,4	3/25
Н-7/17	2,02-2,52	19,8	8,64	0,19	-0,50	1,25	1,05	48,4	2/21
Н-9/17	1,89-2,67	29,2	12,61	0,29	-0,78	1,41	1,10	11,1	8/41
Н-19/17	2,01-2,52	20,2	8,68	0,19	-0,51	1,25	1,05	8,90	4/32
Н-23/17	1,77-2,53	30,0	13,59	0,28	-0,76	1,43	0,99	11,9	9/44
Н-32/17	1,63-2,25	27,5	12,24	0,24	-0,62	1,38	0,94	9,10	6/38

Корреляция с урожайностью, $r$		+0,06	+ 0,39	+0,52	-0,31	+0,45	+0,99	-0,03	
* - статистически значим при уровне вероятности $P \geq 0,95$									

Примечания. \* - размах урожайности ( $d$ , %), коэффициент вариации ( $Cv$ , %), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), стрессоустойчивость ( $Y_{min}-Y_{max}$ ), фактор фенотипической стабильности ( $SF$ ); коэффициент адаптивности ( $KA$ ); гомеостатичность ( $Hom$ )

Все исследуемые образцы имеют фактор фенотипической стабильности  $SF > 1,0$ , т.е. генотипы устойчивы по фенотипу к выращиванию в различных вегетационных условиях.

Комплексный рейтинг адаптивности по признаку «урожайность» позволил выделить линии, превысившие стандарт по сумме рангов, рассчитанных по показателям экологической адаптивности. Сумма рангов составила 20 и 21 у сортообразцов Н 15/16 и Н 7/17. Эти сортообразцы отличаются устойчивостью к изменению погодных условий и способны формировать стабильную продуктивность в условиях Рязанской области (табл. 2).

Так как исследуемые показатели рассчитывались по признаку «урожайность», то выявлена статистически значимая связь данного признака

( $r = +0,99$ ) и коэффициента адаптивности ( $KA$ ). За период исследований у 6 отобранных генотипов выявлена высокая степень выраженности реакции на неблагоприятные условия среды ( $KA \geq 1,0$ ). В результате корреляционного анализа выявлено, что существенное влияние на формирование показателя «урожайность» оказывали метеорологические условия года – температура вегетационного периода ( $r = +0,893 + 0,04$ ) и количество осадков в фазу налива семян ( $r = +0,919 + 0,03$ ).

В результате исследований установлено, что содержание масла в семенах по годам варьировало от 18,1 % у сортообразца Н 23/17 в 2020 году до 24,2 % у Н 25/16 в 2023 году, у стандарта показатель составил в среднем 21,1 % (табл. 3).

Таблица 3. Содержание масла в семенах сои в 2020-2024 гг., %  
Table 3. Oil percentage in soybean seeds, 2020-2024, %

Сортообразец	Содержание масла (на сухое вещество), %					
	2020	2021	2022	2023	2024	$X^{**}$
Сибириада, st.	18,8	21,2	21,6	21,1	22,8	21,1
Н-8/16	19,9	18,5	24,0	23,6	22,8	21,8
Н-15/16	18,8	22,2	20,1	19,7	19,2	20,0
Н-25/16	19,3	19,9	23,8	24,2	20,8	21,6
Н-29/16	20,1	22,1	22,9	21,8	22,5	21,9
Н-7/17	17,9	24,0	20,8	21,5	22,0	21,2
Н-9/17	18,9	19,4	19,7	21,3	22,0	20,3
Н-19/17	20,4	20,9	20,1	20,2	19,8	20,3
Н-23/17	18,1	22,0	22,9	20,8	20,4	20,8
Н-32/17	19,2	22,2	23,7	21,1	22,0	21,6
$X^*$	19,1	21,2	22,0	21,5	21,4	
НСР05	0,41	0,52	0,35	0,98	1,24	

Примечания.  $X^*$  - средний показатель по годам;  $X^{**}$  - средний показатель по сортообразцам

Основное влияние на содержание масла в семенах сои оказывали погодные условия – доля влияния года составила 82,4 % от общей фенотипической изменчивости признака. Доля генотипа значительно

ниже – 15,1 %. В наших исследованиях вариабельность показателя «сбор масла с единицы площади» у изучаемых сортообразцов незначительна и составила 4,6% - 11,5 % (табл. 4).

Таблица 4. Адаптивность сортообразцов сои по признаку «сбор масла с гектара», 2020-2024 гг, кг/га  
Table 4. Adaptability of the soybean variety samples according to the trait 'oil yield per hectare', 2020-2024, kg/ha

Сорто-образец	Сбор масла с единицы площади			Cv, %	d, %	Y min-Ymax	Hom	KA	σ	SF
	min	max	Yi							
Сиби-риада, st	231,3	320,8	274,8	13,8	27,9	-89,5	19,9	0,89	37,7	1,39
H-8/16	265,5	362,2	327,5	11,5	26,7	-96,7	28,5	1,07	37,8	1,36
H-15/16	273,0	321,1	303,1	6,0	15,0	-48,1	50,5	0,99	18,1	1,18
H-25/16	260,7	321,9	280,7	8,8	19,0	-36,8	31,9	0,92	24,6	1,23
H-29/16	311,3	348,1	325,2	4,6	10,6	-63,7	70,7	1,06	15,1	1,12
H-7/17	294,1	357,8	325,7	7,2	17,8	-63,7	45,2	1,06	23,5	1,22
H-9/17	260,6	361,9	319,3	11,5	28,0	-101,3	27,8	1,04	36,6	1,39
H-19/17	284,2	359,9	312,2	9,7	21,0	-75,7	32,2	1,02	30,3	1,27
H-23/17	283,7	320,6	297,4	4,7	11,5	-36,9	63,3	0,97	13,9	1,13
H-32/17	270,3	324,9	295,4	8,2	16,8	-54,6	36,0	0,96	24,3	1,20

Примечания. \*- размах показателя (d, %), коэффициент вариации (Cv, %), стандартное отклонение (σ), стрессоустойчивость (Ymin-Ymax), фактор фенотипической стабильности (SF); коэффициент адаптивности (KA); гомеостатичность (Hom)

Показатель стрессоустойчивости в опыте варьировал от -36,8 кг/га у линии H-25/16 до -101,3 кг/га у образца H-9/17. Проведенный анализ данных позволил выделить образцы, имеющие средний сбор масла с единицы площади свыше 325 кг/га и слабую вариабельность данного показателя. Это линии H-8/16, H-29/16 и H-7/17.

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что высокой адаптивной способностью характеризовались перспективные линии сои (Л 4146 x Brawalla) x Касатка и отбор Касатка, обладающие устойчивостью к изменению погодных условий и способные формировать высокую продуктивность и

сбор масла с единицы площади в условиях Рязанской области. Выделившиеся сортообразцы представляют интерес для практической селекции.

**Финансирование.** Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНАЦ ВИМ № FGUN-2022-0013 «Разработать новые генотипы сельскохозяйственных культур и создать сорта на основе изучения селекционного материала для использования в агрономических машинных технологиях возделывания, хранения и переработки сельскохозяйственных культур».

#### Библиографический список

1. Арькова Ж.А., Манаенков К.А., Колдин М.С., Гаглов А.Ч., Негреева А.Н. Эффективность борьбы с сорняками в посевах сои на территории Тамбовской области // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 4 (18). С. 15-20
2. Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Васина Е.А., Страшненко Т.Н., Кукуруза Г.О. Влияние погодных-климатических условий на формирование белка и масла в семенах сои в Приморском крае // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2. С. 88-97. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-88-97
3. Векленко В. И., Дадашев Б. А. Производство соевого масла в мире и России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 192-197
4. Гуреева Е.В., Солодягина А.В. Оценка сортов сои мировой коллекции в условиях Центрального Нечерноземья по признаку «масса семян с одного растения» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 2. С. 62-66. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-62-66
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 352 с.
6. Зотиков В.И. Отечественная селекция зернобобовых и крупяных культур // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 3(35). С. 12-19. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11179
7. Рязанские аграрии успешно завершают сев: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ryazagro.ru/news/16924/>. (дата обращения: 31.07.2025)
8. Юсова О.А., Николаев П.Н., Васюкевич В.С., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях // Вестник НГАУ. 2020. № 2 (55). С. 84-96. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96

## References

1. Ar'kova Zh.A., Manaenkov K.A., Koldin M.S., Gagloev A.Ch., Negreeva A.N. Effektivnost' bor'by s sornyakami v posevakh soi na territorii Tambovskoi oblasti [Efficiency of weed control in soybean crops in the Tambov Region] // Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2017. № 4 (18). S. 15-20.
2. Butovets E.S., Luk'yanchuk L.M., Vasina E.A., Strashnenko T.N., Kukuruza G.O. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh uslovii na formirovanie belka i masla v semenakh soi v Primorskom krae [The effect of weather and climatic conditions on protein and oil formation in soybean seeds in the Primorsky Territory]// Vestnik KrasGAU. 2023. № 2. S. 88-97. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-88-97
3. Veklenko V. I., Dadashev B. A. Proizvodstvo soevogo masla v mire i Rossii [Soybean oil production in the world and in Russia] // Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2024. № 2. S 192-197.
4. Gureeva E.V., Solodyagina A.V. Otsenka sortov soi mirovoi kolleksii v usloviyakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya po priznaku «massa semyan s odnogo rasteniya» [Estimation of world collection soybean varieties in the Central Non-Blackearth Region according to the trait 'seed weight per plant'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16. №2. S. 62-66. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-62-66.
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with fundamentals of statistical analysis of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
6. Zotikov V.I. Otechestvennaya selektsiya zernobobovykh i krupyanykh kul'tur [Domestic breeding of legumes and cereal crops] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 3(35). S. 12-19. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11179
7. Ryazanskii agrarii uspešno zavershayut sev: [Elektronnyi resurs] [Ryazan farmers successfully complete sowing: [e-resource]]. Rezhim dostupa: <https://www.ryazagro.ru/news/16924/>. (data obrashcheniya: 31.07.2025).
8. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasyukevich V.S., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Uroven' kachestva zerna omskikh sortov ovsa yarovogo v kontrastnykh ekologicheskikh usloviyakh [Grain quality of Omsk spring oat varieties in the contrasting environmental conditions ] // Vestnik NGAU. 2020. № 2 (55). S. 84-96. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96

Поступила: 05.08.25; доработана после рецензирования: 15.10.25; принята к публикации: 19.01.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Гуреева Е.В. – концептуализация исследования, Солодягина А.В. – подготовка опыта, Солодягина А.В. – выполнение полевых/лабораторных опытов и сбор данных, Гуреева Е.В. – анализ данных и их интерпретация, Гуреева Е.В. – подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

**А.А. Донцова**<sup>1,2</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, доцент кафедры «Агрономия», doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

**Р.Н. Брагин**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, braginroman40@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X;

**Д.П. Донцов**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, dontsov1324@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

**Э.С. Дорошенко**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doroshenko.eduard.91@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0787-9754;

**И.М. Засыпкина**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, irinka\_kolosok92@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1281-5317.

<sup>1</sup>ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vni-izk30@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; e-mail: reception@dstu.edu.ru

В современном селекционном процессе ячменя отчетливо прослеживается изменение приоритетов: теперь основное внимание уделяется не только традиционным показателям, таким как урожайность и качество, но и способности сортов адаптироваться к разнообразным условиям окружающей среды. Целью работы являлась оценка параметров адаптивности ярового ячменя по признаку «урожайности» и элементам структуры продуктивности, с использованием селекционных индексов. Количество изучаемых сортов и линий в конкурсном сортоиспытании составило 19 шт., посеянных в 6-кратной повторности, предшественник – горох. Стандартный сорт Формат, площадь учетной делянки – 10 м<sup>2</sup>. На формирование урожайности в 2023-2025 годы исследований главенствующее влияние оказал фактор «сорт» – 95,2 %. По коэффициенту линейной регрессии линии Зерноградский 1875 ( $b_i = 1,14$ ) и Зерноградский 1921 ( $b_i = 1,11$ ) выделились как пластичные, а Зерноградский 1908 как стабильная и устойчивая к внешним факторам. По коэффициенту вариации наименее изменчивым оказался образец Зерноградский 1908 ( $V = 32,5\%$ ). Высокие значения гомеостатичности отмечены у линий Зерноградский 1825 ( $Hom = 5,59$ ), Зерноградский 1904 ( $Hom = 5,72$ ) и Зерноградский 1908 ( $Hom = 7,42$ ). Высокий показатель селекционной ценности зафиксирован у образцов Зерноградский 1908 и Зерноградский 1932 ( $Sc = 3,4$ ). По показателю Пусс выделились Зерноградский 1925, Зерноградский 1908 и Зерноградский 1932, превысив стандарт на +10,1 ...13,7 %. По сумме рангов используемых селекционных индексов (мексиканский (Mx), финно-скандинавский (FSI), перспективности (J.P.), отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j)) были выделены сорта и линии с высокой устойчивостью к варьирующим условиям среды и высокой адаптивностью: Зерноградский 1896 ( $\Sigma$  рангов = 21), Азимут ( $\Sigma$  рангов = 23), Зерноградский 1910 ( $\Sigma$  рангов = 28), Зерноградский 1911 ( $\Sigma$  рангов = 28) и Зерноградский 1921 ( $\Sigma$  рангов = 31). По совокупности признаков высоких показателей адаптивности урожайности, селекционным индексам и элементам структуры продуктивности проявили себя образцы Зерноградский 1896, Зерноградский 1908 и Зерноградский 1921.

**Ключевые слова:** яровой ячмень, сорт, урожайность, масса 1000, адаптивность, селекционный индекс.

**Для цитирования:** Донцова А.А., Брагин Р.Н., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Засыпкина И.М. Использование селекционных индексов и показателей адаптивности при оценке перспективного селекционного материала ярового ячменя // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №.2. С. 11-19. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-11-19



## THE USE OF SELECTION INDICES AND ADAPTABILITY INDICATORS IN THE EVALUATION OF PROMISING SPRING BARLEY BREEDING MATERIAL

**A.A. Dontsova**<sup>1,2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, associate professor of the department "Agronomy", doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

**R.N. Bragin**<sup>1</sup>, junior researcher of the department of barley breeding and seed production, braginroman40@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X;

**D.P. Dontsov**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, dontsov1324@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

**E.S. Doroshenko**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the department of barley breeding and seed production, doroshenko.eduard.91@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0787-9754;

**I.M. Zasyapkina**<sup>1</sup>, junior researcher of the department of barley breeding and seed production, irinka\_kolosok92@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1281-5317.

<sup>1</sup>FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru;

<sup>2</sup>FSBEI HE "Donskoy State Technical University", 344000, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1; e-mail: reception@dstu.edu.ru

In modern barley breeding, there is a clear shift in priorities, when the focus is now not only on traditional indicators such as productivity and quality, but also on the ability of varieties to adapt to various environmental conditions. The purpose of the current study was to estimate the adaptability parameters of spring barley based on productivity and yield structure elements, using selection indices. The competitive variety testing involved 19 varieties and lines, sown after peas in six sequences. The standard variety was Format, the plot area was 10 m<sup>2</sup>. The factor "variety" had the dominant effect (95.2%) on productivity formation in 2023-2025. Based on the linear regression coefficient, the lines Zernogradsky 1875 ( $b_i = 1.14$ ) and Zernogradsky 1921 ( $b_i = 1.11$ ) were found flexible, while the line Zernogradsky 1908 was found stable and resistant to external factors. Based on the coefficient of variation, the sample Zernogradsky 1908 proved to be the least variable ( $V = 32.5\%$ ). High homeostatic values were identified in the lines Zernogradsky 1825 ( $Hom = 5.59$ ), Zernogradsky 1904 ( $Hom = 5.72$ ), and Zernogradsky 1908 ( $Hom = 7.42$ ). High breeding value was recorded for the samples Zernogradsky 1908 and Zernogradsky 1932 ( $Sc = 3.4$ ). According to the indicator of cultivar level and stability (PUSS), the lines Zernogradsky 1925, Zernogradsky 1908 and Zernogradsky 1932 exceeded the standard by +10.1...13.7%. According to the sum of the ranks of the used selection indices (Mexican (Mx), Finno-Scandinavian (FSI), prospects (J.P.), correlation between 1000-grain weight and a number of grains per ear (j)) there have been identified such varieties and lines with high resistance to changing environmental conditions and high adaptability as Zernogradsky 1896 ( $\Sigma$  ranks = 21), Azimut ( $\Sigma$  ranks = 23), Zernogradsky 1910 ( $\Sigma$  ranks = 28), Zernogradsky 1911 ( $\Sigma$  ranks = 28) and Zernogradsky 1921 ( $\Sigma$  ranks = 31). The varieties Zernogradsky 1896, Zernogradsky 1908 and Zernogradsky 1921 have shown good results in the combination of productivity adaptability, selection indices and yield structure elements.

**Keywords:** spring barley, variety, productivity, 1000-grain weight, adaptability, selection index.

**Введение.** Ячмень по своей значимости является второй зерновой культурой в Российской Федерации, с широким размахом использования, как универсальная культура. Ячмень применяется в кормовом, продовольственном, техническом и агротехническом производстве (Новикова и др., 2022).

В современном мире сельскохозяйственной селекции наблюдается заметный сдвиг в приоритетах: теперь основное внимание уделяется не только традиционным показателям, таким как урожайность и качество, но и способности новых сортов адаптироваться к разнообразным условиям окружающей среды. Это означает, что селекционеры все больше фокусируются на создании сортов, которые будут не просто высокоурожайными, но и способными успешно приспосабливаться к изменчивым климатическим условиям, почвам и агротехническим приемам (Вертей и др., 2016).

Тем не менее, задача оценки генотипов на предмет их адаптивности к различным условиям является весьма сложной и многогранной. Она требует проведения обширных исследований, включающих сбор и анализ данных в разнообразных условиях – это могут быть различные годы, регионы с уникальными агроклиматическими особенностями. Все это делает процесс оценки чрезвычайно трудоемким и времязатратным (Талышкина и др., 2025).

Кроме того, многие показатели, которые необходимо оценить, связаны с индивидуальными характеристиками каждого растения, такими как кустистость, количество и масса зерен в колосе, их размер и другие. Однако такой подход может упускать из виду важные взаимодействия между растениями в посевах, включая антагонистические и синергетические эффекты, которые значительно влияют на общую продуктивность агроценоза. Также стоит отметить, что при селекционной оценке не всегда в полной мере учитываются физиологические и биохимические процессы, происходящие в

растениях, фиксируется лишь их конечный результат.

Тем не менее, подобная ситуация вполне объяснима, так как селекционер, работая с большим объемом данных, не может учесть все вышеупомянутые аспекты роста и развития растений в агроценозе. Поэтому требуется выявление новых параметров, которые могли бы служить ориентирами в процессе селекции (Сапега, 2024).

В селекции растений всё большее значение приобретают адаптивные характеристики сортов. На начальных стадиях научной селекции зерновых культур акцент делался на улучшении заметных морфологических признаков, таких как высота растений, что значительно повышало технологичность сортов. Впоследствии внимание сосредоточилось на урожайности, которая остаётся ключевым критерием оценки большинства культур в Государственном сортоиспытании. Такой подход привёл к увеличению разрыва между потенциальной урожайностью сорта в идеальных условиях и фактической – в реальных условиях производства. В результате появился новый фокус в селекционных исследованиях – улучшение адаптивных характеристик сортов. Однако оценка генотипов по адаптивности является трудоёмким процессом, требующим данных из различных внешних условий (разные годы, географические регионы, агрофоны) (Ермолаева и др., 2019). Поэтому перспективным направлением становится оценка адаптивности урожайности и элементов структуры продуктивности с использованием селекционных индексов, которые позволяют, хотя бы предварительно, судить об адаптивных свойствах селекционного материала.

В связи с этим целью данной работы – оценить параметры адаптивности ярового ячменя по признаку «урожайность» и элементам структуры продуктивности с использованием селекционных индексов.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили на опытных полях научного

севооборота отдела селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2023–2025 гг. по предшественнику горох.

Объектом изучения являлись 19 сортов и линий ярового ячменя местной селекции, изучаемых в конкурсном сортоиспытании (КСИ). Стандартный сорт Формат. Учетная площадь делянки 10 м<sup>2</sup> с нормой высева 500 всхожих семян на 1 м<sup>2</sup>. Шестикратная повторность и систематическое размещение делянок. Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed.

Оценка полученных данных проводилась согласно методике гос. сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019).

Оценка экологической пластичности и стабильности осуществлялась согласно методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина (2005). Для определения показателей гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc) применялась методика В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко (1981). Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) по уравнению Э.Д. Неттевича (2001). Для более точного определения взаимодействия и влияния урожайности с элементами продуктивности были определены мексиканский (Mx) индекс, финно-скандинавский (FSI) индекс (Лящева и др., 2025), индекс перспективности (J.P.) и индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j)

(Сафонова и др., 2021).

Разнообразие погодных условий за годы исследований оказали существенное влияние на формирование урожайности и элементов продуктивности, что позволило комплексно оценить показатели адаптивности и выделить наиболее перспективные сорта ярового ячменя.

В 2023 году в весенний период вегетации наблюдалось достаточное количество осадков – 166,5 мм, что составило 127,0% от показателя среднегодовалых данных. В летний период (июнь, июль) количество осадков составляло 61,2 мм, что соответствовало 47,4% от среднегодовалых данных, однако это не оказало сильного влияния на формирование урожая. В 2024 году отмечено обильное количество осадков в весенний период – 242,5 мм, что составило 185,1% от среднегодовалых данных, при этом значительная их часть пришлось на май, что в совокупности с сильными ветрами и градом негативно сказалось на формировании урожайности. В летний период (июнь, июль) отмечено – 89,2 мм (69,1 %). В весенний и летний период 2025 года количество осадков было относительно на уровне среднегодовалых данных – 107,6 мм и 121,0 мм (82,1 % и 93,8 %, соответственно) (рисунок 1).

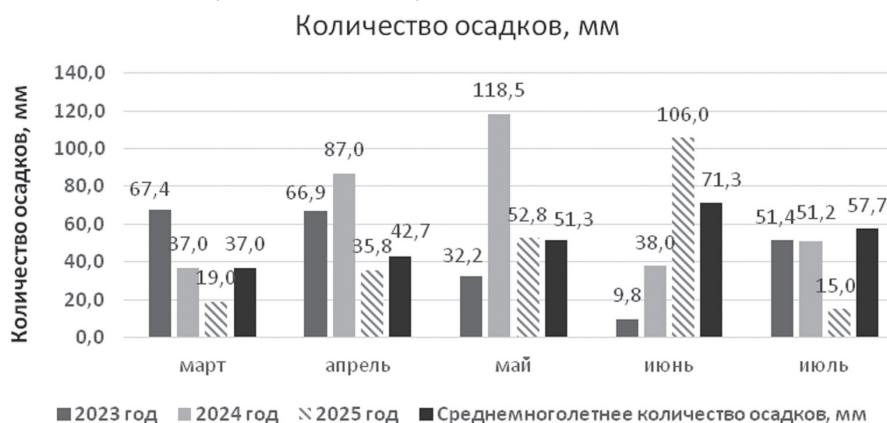


Рис. 1. Среднемесячное количество осадков за период вегетации, 2023-2025 годы (мм)

Fig. 1. Average monthly precipitation during a vegetation period, 2023-2025 (mm)

За период 2023 года среднемесячная температура воздуха была на уровне среднегодовалых данных (-0,1...+1,0 °С). В 2024 году, как и в 2025 году в период посева (март) наблюдалось повышение среднемесячной температуры воздуха (7,5 и 7,1 °С, соответственно), при среднегодовой температуре воздуха – 2,0 °С. В июле 2025 года отмечена повышенная

среднемесячная температура воздуха – 27,3 °С (при 23,1 °С для среднегодовой). В остальные временные периоды 2024 и 2025 годов вегетации ярового ячменя, среднемесячная температура воздуха не имела сильного отклонения от среднегодовалых данных (-0,6 °С...+1,8 °С) (рисунок 2).



Рис. 2. Среднемесячная температура воздуха за период вегетации, 2023-2025 с.-х. годы (°С)

Fig. 2. Average monthly air temperature during a vegetation period, 2023-2025 (°C)

**Результаты и их обсуждение.** При создании новых сортов ярового ячменя необходимо учитывать весь комплекс требований, предъявляемый сельхозтоваропроизводителями селекционерам. Главенствующее направление для создаваемых сортов заключается в способности противостоять внешним факторам с высокой эффективностью использовать условия среды, отличаться высокой потенциальной продуктивностью и возможностью сохранять ее в производственных посевах.

Двухфакторный дисперсионный анализ данных

урожайности ярового ячменя показал достоверность различий как по экологическим фонам (годам), так и между сортами. Анализ результатов показал, что основное влияние на формирование урожайности в годы исследований (2023-2025 гг.) оказал фактор «сорт» – 95,2 %. На остальные факторы пришлось незначительное влияние: «год» – 2,9 %, их взаимодействие – 1,9 %. Влияние изучаемых факторов для полученных данных были существенны на 5 %-м уровне значимости (таблица 1).

**Таблица 1. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов и линий ярового ячменя по показателю урожайности в КСИ, 2023-2025 гг.**

**Table 1. Results of a two-way analysis of variance for spring barley varieties and lines according to the trait 'productivity' in the CVT, 2023-2025**

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднее квадратичное	F фактическое	Доля влияния факторов, %
Общая	24556,5	170	144,4	-	-
Повторений	2,2	2	1,1	-	-
Фактор «сорт»	23423,3	18	1301,3	1255,8	95,2
Фактор «год»	77,9	2	38,9	37,6	2,9
Взаимодействие «сорт x год»	937,1	36	26,0	25,1	1,9
Остаток (ошибки)	116,1	112	1,0	-	-

Для отражения более полной характеристики изучаемых сортов ярового ячменя были рассчитаны параметры экологической пластичности (b) и

стабильности ( $\sigma^2d$ ) по показателю урожайности за период 2023-2025 гг. (таблица 2).

**Таблица 2. Урожайность, параметры экологической пластичности и стабильности сортов и линий ярового ячменя в КСИ, 2023-2025 гг.**

**Table 2. Productivity, ecological adaptability, and stability parameters of spring barley varieties and lines in the CVT, 2023-2025**

Сорт	Урожайность, т/га				bi	$\sigma^2d$
	2023г.	2024г.	2025г.	средняя		
Формат, стандарт	5,8	3,8	6,6	5,4	0,95	4,1
Федос	6,5	3,4	6,1	5,3	1,07	5,2
Азимут	5,5	3,6	6,3	5,1	0,91	3,8
Феникс	6,0	3,6	6,6	5,4	1,05	5,0
Зерноградский 1896	6,0	3,8	7,1	5,6	1,10	5,5
Зерноградский 1900	5,8	3,6	6,7	5,4	1,05	5,0
Зерноградский 1901	5,6	3,7	6,5	5,3	0,94	4,0
Зерноградский 1875	6,1	2,9	5,8	4,9	1,14	5,9
Зерноградский 1763	5,9	3,7	6,5	5,4	0,98	4,3
Зерноградский 1825	5,9	3,9	6,6	5,5	0,93	3,9
Зерноградский 1904	6,0	3,7	6,2	5,3	0,92	3,8
Зерноградский 1908	5,9	3,9	6,1	5,3	0,81	2,9
Зерноградский 1910	6,1	3,6	6,4	5,4	1,02	4,7
Зерноградский 1911	5,6	3,6	6,5	5,2	0,98	4,3
Зерноградский 1912	5,9	3,7	6,4	5,3	0,95	4,1
Зерноградский 1925	6,2	4,0	7,1	5,8	1,05	5,0
Зерноградский 1927	6,1	3,8	6,6	5,5	0,99	4,5
Зерноградский 1921	6,3	3,3	6,2	5,3	1,11	5,6
Зерноградский 1932	6,5	4,0	6,9	5,8	1,04	4,9
НСР05				0,42		

За годы исследований наиболее благоприятные условия выращивания сложились в 2025 и 2023 году ( $lj = +1,11$  и  $+0,61$ , соответственно), а неблагоприятные в 2024 год ( $lj = -1,41$ ). В 2023 году урожайность варьировала от 5,5 т/га (сорт Азимут) до 6,5 (сорт Федос и линия Зерноградский 1932), при 5,8 т/га у стандартного сорта Формат. В 2024 году в среднем минимальная урожайность была получена у образца Зерноградский 1875 – 2,9 т/га, а максимальная у линий Зерноградский 1925 и Зерноградский 1932 – 4,0 т/га, при 3,8 т/га у стандарта. В 2025 году минимальная урожайность получена у линии Зерноградский 1875 – 5,8 т/га, а максимальная – Зерноградский 1896 и Зерноградский 1925 – 7,1 т/га, при 6,6 т/га у стандарта Формат. В среднем за годы исследований 5 перспективных образцов превысили показатель урожайности в сравнении со стандартом: Зерноградский 1927 (+ 0,1 т/га), Зерноградский 1825 (+ 0,1 т/га), Зерноградский 1896 (+ 0,2 т/га), Зерноградский 1925 (+ 0,4 т/га), Зерноградский 1932 (+ 0,4 т/га).

Более наглядную информацию о реакции ярового ячменя на влияние условий выращивания показывают коэффициенты линейной регрессии ( $bi$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\sigma^2d$ ).

Неустойчивость погодных условий и

недостаточная адаптация используемых сортов приводят к значительным колебаниям в урожайности. Коэффициент линейной регрессии  $bi$  показывает, насколько сорт чувствителен к данным колебаниям. Если значение  $bi$  превышает 1, это свидетельствует о высокой отзывчивости сорта, что требует применения интенсивных агротехнологий, так как такие сорта хорошо реагируют на улучшение условий. Если  $bi$  меньше 1, сорт менее чувствителен к изменениям окружающей среды.

Линия Зерноградский 1908 ( $bi = 0,81$ ) характеризовалась низкой отзывчивостью на улучшение условий выращивания, но формировала стабильную урожайность при различных погодных условиях. Линии Зерноградский 1875 ( $bi = 1,14$ ) и Зерноградский 1921 ( $bi = 1,11$ ) отмечены как пластичные, изменение показателей у них соответствовало внешним условиям. Среднеквадратическое отклонение урожайности изучаемых образцов ( $\sigma^2d$ ) варьировало от 2,9 до 5,9. Наиболее стабильным по урожайности являлся образец Зерноградский 1908 ( $\sigma^2d = 2,9$ ).

Для более точной оценки исследуемых сортов и линий ярового ячменя был выполнен расчет ряда статистических параметров, которые характеризуют их адаптивные качества (таблица 3).

**Таблица 3. Параметры адаптивности сортов и линий ярового ячменя в КСИ, 2023-2025 гг.**

**Table 3. Adaptability parameters of spring barley varieties and lines in the CVT, 2023-2025**

Сорт	Min	Max	V,%	Hom	Sc	Пусс
Формат, стандарт	3,8	6,6	37,8	5,11	3,1	100
Федос	3,4	6,5	44,7	3,85	2,8	82,4
Азимут	3,6	6,3	38,2	4,98	2,9	89,3
Феникс	3,6	6,6	41,6	4,33	2,9	90,9
Зерноградский 1896	3,8	7,1	42,2	4,05	3,0	97,4
Зерноградский 1900	3,6	6,7	42,0	4,12	2,9	88,8
Зерноградский 1901	3,7	6,5	38,4	4,90	3,0	93,6
Зерноградский 1875	2,9	6,1	50,7	3,04	2,3	62,2
Зерноградский 1763	3,7	6,5	38,8	4,93	3,1	96,0
Зерноградский 1825	3,9	6,6	36,2	5,59	3,2	106,8
Зерноградский 1904	3,7	6,2	37,1	5,72	3,2	98,2
Зерноградский 1908	3,9	6,1	32,5	7,42	3,4	112,1
Зерноградский 1910	3,6	6,4	40,5	4,73	3,0	92,1
Зерноградский 1911	3,6	6,5	40,1	4,50	2,9	88,4
Зерноградский 1912	3,7	6,4	38,1	5,19	3,1	96,7
Зерноградский 1925	4,0	7,1	39,1	4,76	3,2	110,1
Зерноградский 1927	3,8	6,6	38,4	5,12	3,2	102,0
Зерноградский 1921	3,3	6,3	45,8	3,84	2,8	78,5
Зерноградский 1932	4,0	6,9	38,3	5,22	3,4	113,7

Примечание: Min – показатель минимальной урожайности за годы исследований, Max – показатель максимальной урожайности за годы исследований, V – коэффициент вариации, Hom – показатель гомеостатичности, Sc – показатель селекционной ценности, Пусс – показатель уровня стабильности сорта.

Note: Min – minimum yield over the years of research, Max – maximum yield over the years of research, V,% – coefficient of variation, Hom – homeostatic index, Sc – selection value index, Puss – stability index.

Относительный показатель варьирования урожая, коэффициент вариации ( $V$  %) по сортам был в пределах 32,5-50,7 %, что свидетельствует о сильной количественной изменчивости урожайности сортов по годам (согласно методике полевого опыта Доспехова Б.А. при  $V \geq 20$  % – сильная изменчивость). Самая низкая вариабельность урожая ( $V = 32,5$  %) отмечена у линии Зерноградский 1908.

Высокие показатели гомеостатичности отображают способность растений сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных условий среды. Данный показатель варьировал от 3,04 до 7,42. Относительно высокие значения гомеостатичности зафиксированы у образцов Зерноградский 1825 ( $Hom = 5,59$ ), Зерноградский 1904 ( $Hom = 5,72$ ) и Зерноградский 1908 ( $Hom = 7,42$ ).

Стоит также отметить селекционную ценность генотипа ( $Sc$ ), объединяющую в себе как высокий показатель крупнозерности, так и адаптивные возможности сорта. Данный показатель варьировал от 2,8 до 3,4. Наибольшее значение отмечено у образцов Зерноградский 1908 и Зерноградский 1932 ( $Sc = 3,4$ , соответственно).

По мнению Э.Д. Неттевича (2001), хозяйственную ценность сорта при его оценке экологической пластичности по отношению к урожайности более

подробно может характеризовать комплексный показатель, который одновременно учитывает уровень урожайности и стабильность сорта (Пусс). В наших исследованиях показатель уровня стабильности сорта ориентировался на данные стандартного сорта Формат. Показатель Пусс изменялся от 62,2 % (Зерноградский 1875) до 113,7 % (Зерноградский 1932). По данному признаку выделились линии Зерноградский 1925, Зерноградский 1908 и Зерноградский 1932.

Наряду с урожайностью, широкое значение имеют и элементы структуры продуктивности, к которым относятся: масса 1000 зерен, масса зерна с колоса, количество продуктивных стеблей на  $1 \text{ м}^2$  и др. Эти признаки непосредственно влияют на общую продуктивность возделываемой культуры и позволяют оценить потенциал сорта в условиях конкретного климата и почвы. Таким образом, анализируя эти элементы, селекционеры могут более точно раскрыть потенциал создаваемых сортов.

Признак массы 1000 зерен варьировал от 42,4 г (Зерноградский 1925) до 48,1 г (Зерноградский 1896), при урожайности стандартного сорта Формат – 44,6 г. Достоверное превышение данного признака отмечено у линии Зерноградский 1896 (+3,5 г), остальные были на уровне стандарта (таблица 4).

**Таблица 4. Элементы структуры продуктивности сортов и линий ярового ячменя в среднем за годы исследований в КСИ, 2023-2025 гг.**

**Table 4. Yield structure elements of spring barley varieties and lines on average over the years of study in the CVT, 2023-2025**

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с колоса, г	Кол-во продуктивных стеблей $1 \text{ м}^2$ , шт	Кол-во зерен в колосе, шт	Высота растений, см
Формат, стандарт	44,6	1,00	714,7	23,0	87,9
Федос	44,2	0,90	708,0	20,3	88,0
Азимут	47,0	0,90	727,3	20,3	85,8
Феникс	43,6	0,90	737,7	21,0	85,6
Зерноградский 1896	48,1	0,97	769,3	20,0	85,4
Зерноградский 1900	42,6	0,86	642,3	20,7	90,7
Зерноградский 1901	45,0	0,86	642,3	19,7	85,1
Зерноградский 1875	46,8	0,94	662,7	21,0	95,1
Зерноградский 1763	44,7	0,86	661,3	20,0	85,8
Зерноградский 1825	42,9	0,86	657,3	20,0	84,6
Зерноградский 1904	42,6	0,87	683,7	20,0	86,2
Зерноградский 1908	43,4	1,31	690,7	22,3	90,3
Зерноградский 1910	46,6	1,37	762,3	20,3	89,9
Зерноградский 1911	46,4	1,26	689,0	19,3	86,5
Зерноградский 1912	44,4	1,29	705,3	20,7	88,5
Зерноградский 1925	42,4	1,11	722,0	22,7	85,5
Зерноградский 1927	42,5	1,25	718,0	23,0	92,6
Зерноградский 1921	44,6	1,29	732,3	19,7	87,2
Зерноградский 1932	43,0	1,23	683,3	21,7	89,6
НСР05	2,53	0,54	96,6	1,4	6,3

По признаку массы зерна с колоса наблюдался разбег варьирования от 0,86 г (Зерноградский 1900 и Зерноградский 1901) до 1,37 г (Зерноградский 1910), все линии были на уровне стандартного сорта Формат (1,00 г).

Рассматривая показатели элементов структуры ярового ячменя, следует также отметить количество продуктивных стеблей 1 м<sup>2</sup>, показатель которого варьировал от 642,3 шт. (Зерноградский 1900 и Зерноградский 1901) до 737,7 шт. (Феникс). Все изучаемые сорта и линии были на уровне стандарта Формат – 714,7 шт.

Количество зерен в колосе – важный показатель при отборе на продуктивность, его значения могут служить предпосылкой высокого урожая. Значения данного признака были в диапазоне от 19,3 шт. у линии Зерноградский 1911 до 23,0 шт. у сорта Формат и линии Зерноградский 1927. По данному признаку все сорта и линии были ниже или на уровне стандартного сорта Формат.

Высота растений – как признак, тесно связанный с устойчивостью к полеганию, может повлиять на итоговую урожайность и качество зерна ячменя. Интенсивный рост растений во влажные годы или низкий в засушливые годы, влияет на оптимальную ассимиляционную поверхность, а это, в свою очередь, может сказаться на процессе уборки и сохранности зерна. Показатель высоты растений варьировал от 84,6 см (Зерноградский 1825) до 95,1 см (Зерноградский

1875). При значении стандартного сорта Формат – 87,9 см, все сорта и линии были на уровне стандарта и относились к категории среднерослых.

Стоит отметить, что в селекции зерновых культур для определения потенциальных высокоурожайных сортов используется метод, который основывается на выделении продуктивных генотипов с помощью селекционных индексов. Считается, что такой подход помогает выявить физиолого-генетические системы, влияющие на рост урожайности зерна, и может оказаться более действенным, чем отбор по абсолютным характеристикам. Для анализа использовались следующие индексы: мексиканский (Mx) – отношение массы зерна с колоса (г) к высоте растения (см) и финно-скандинавский (FSI) – отношение количества зерен в колосе (г) к длине стебля (см), индекс перспективности (J.P.) – отношение массы 1000 зерен (г) к длине стебля (см), индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j) – отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе.

Мексиканский индекс (Mx) отражает способность соломины выдерживать вес колоса и сопротивляться полеганию. Более высокий показатель индекса отмечен у линий Зерноградский 1910 (Mx = 0,0153), Зерноградский 1921 (Mx = 0,0148), Зерноградский 1912 (Mx = 0,0146), Зерноградский 1908 (Mx = 0,0145) и Зерноградский 1911 (Mx = 0,0145), получивших ранг с 1 по 5 (таблица 5).

**Таблица 5. Селекционные индексы сортов и линий ярового ячменя в КСИ, 2023-2025 гг**  
**Table 5. Selection indices of spring barley varieties and lines in the CVT, 2023-2025**

Сорт	Мексиканский индекс		Финно-скандинавский индекс		Индекс перспективности		Индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе	
	Mx	ранг	FSI	ранг	J.P.	ранг	j	ранг
Формат, стандарт	0,0114	9	0,295	2	0,572	10	1,94	17
Федос	0,0102	13	0,261	14	0,567	11	2,17	9
Азимут	0,0105	11	0,268	7	0,621	2	2,31	3
Феникс	0,0105	12	0,278	5	0,577	8	2,08	13
Зерноградский 1896	0,0113	10	0,265	9	0,638	1	2,41	1
Зерноградский 1900	0,0095	19	0,256	15	0,528	18	2,06	14
Зерноградский 1901	0,0101	15	0,262	13	0,600	4	2,29	5
Зерноградский 1875	0,0099	18	0,247	19	0,550	15	2,23	8
Зерноградский 1763	0,0101	16	0,264	10	0,589	5	2,24	7
Зерноградский 1825	0,0102	14	0,268	8	0,576	9	2,15	11
Зерноградский 1904	0,0101	17	0,262	12	0,559	14	2,13	12
Зерноградский 1908	0,0145	4	0,278	4	0,540	17	1,94	16
Зерноградский 1910	0,0153	1	0,254	17	0,583	6	2,29	4
Зерноградский 1911	0,0145	5	0,253	18	0,606	3	2,40	2
Зерноградский 1912	0,0146	3	0,263	11	0,566	12	2,15	10
Зерноградский 1925	0,0129	8	0,300	1	0,561	13	1,87	18
Зерноградский 1927	0,0135	7	0,278	3	0,515	19	1,85	19
Зерноградский 1921	0,0148	2	0,255	16	0,578	7	2,27	6
Зерноградский 1932	0,0137	6	0,272	6	0,541	16	1,99	15

Финно-скандинавский индекс (FSI) демонстрирует взаимосвязь между числом зёрен в колосе и длиной стебля. Повышение числа зёрен в колосе и уменьшение высоты растений, что отражается в высоком финно-скандинавском индексе, является одним из ключевых направлений для увеличения урожайности. Высокие значения FSI отмечены у сортов и линий: Зерноградский 1925 (FSI = 0,300), Формат (FSI = 0,295), Зерноградский 1927 (FSI = 0,278), Зерноградский 1908 (FSI = 0,278) и Феникс (FSI = 0,278).

Индекс перспективности (J.P.), как один из селекционных индексов, учитывает возможности стебля преобразовывать пластические вещества в зерно. Высокие показатели в этом отношении определяют селекционную значимость образцов. По данному индексу высокие значения получены у сортов и линий: Зерноградский 1896 (J.P. = 0,638), Азимут (J.P. = 0,621),

Зерноградский 1911 (J.P. = 0,606), Зерноградский 1927 (J.P. = 0,600) и Зерноградский 1763 (J.P. = 0,589).

Высокий индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j), является одним из показателей селекционной ценности сорта. Высокий уровень j отмечен у сортов и линий: Зерноградский 1896 (j = 2,41), Зерноградский 1911 (j = 2,40), Азимут (j = 2,31), Зерноградский 1910 (j = 2,29) и Зерноградский 1901 (j = 2,29).

По сумме рангов используемых селекционных индексов были выделены сорта и линии с высокой устойчивостью к варьирующим условиям среды и высокой адаптивностью: Зерноградский 1896 ( $\Sigma$  рангов = 21), Азимут ( $\Sigma$  рангов = 23), Зерноградский 1910 ( $\Sigma$  рангов = 28), Зерноградский 1911 ( $\Sigma$  рангов = 28) и Зерноградский 1921 ( $\Sigma$  рангов = 31) (рисунок 3).



Рис. 3. Ранжирование сортов и линий ярового ячменя по селекционным индексам в КСИ, 2023-2025 гг

Fig. 3. Ranking of spring barley varieties and lines according to selection indices in the CVT, 2023-2025

**Выводы.** Наибольшая урожайность за годы исследований получена у линий Зерноградский 1825, Зерноградский 1896, Зерноградский 1925, Зерноградский 1927, Зерноградский 1932.

Образцы Зерноградский 1875 ( $b_i = 1,14$ ) и Зерноградский 1921 ( $b_i = 1,11$ ) выделились как пластичные, а Зерноградский 1908 как стабильный и устойчивый к внешним факторам. По коэффициенту вариации наименее изменчивой оказалась линия Зерноградский 1908 ( $V = 32,5\%$ ). Высокие значения гомеостатичности отмечены у образцов Зерноградский 1825 ( $Hom = 5,59$ ), Зерноградский 1904 ( $Hom = 5,72$ ) и Зерноградский 1908 ( $Hom = 7,42$ ). Высокий показатель селекционной ценности зафиксирован у линий Зерноградский 1908 и Зерноградский 1932 ( $Sc = 3,4$ ). По показателю Пусс выделились Зерноградский 1925, Зерноградский 1908 и Зерноградский 1932, превысив стандарт на +10,1 ...13,7 %.

По сумме рангов используемых селекционных индексов (мексиканский (Mx), финно-скандинавский (FSI), перспективности (J.P.), отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j)) были выделены сорта и линии с высокой устойчивостью к варьирующим условиям среды и высокой адаптивностью: Зерноградский 1896 ( $\Sigma$  рангов = 21), Азимут ( $\Sigma$  рангов = 23), Зерноградский 1910 ( $\Sigma$  рангов = 28), Зерноградский 1911 ( $\Sigma$  рангов = 28) и Зерноградский 1921 ( $\Sigma$  рангов = 31).

По совокупности признаков высоких показателей адаптивности урожайности, селекционным индексам и элементам структуры продуктивности выделены перспективные селекционные образцы Зерноградский 1896, Зерноградский 1908 и Зерноградский 1921.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания № FNFN-2025-0006.

#### Библиографический список

- Новикова А.А., Гречишкина О.С., Емельянова А.А., Пустовалова А.А., Замерзляк М.В. Параметры адаптивности и гомеостатичности сортов ярового ячменя в условиях Оренбургской области // Земледелие. 2022. № 8. С. 35-38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38
- Вертий Н.С., Титаренко А.В., Титаренко Л.П., Козлов А.А. Селекционные индексы в оценке ячменно-пшеничных гибридов // Нива Поволжья. 2016. № 2 (39). С. 9-15. <https://www.elibrary.ru/ypsmlt>
- Тальшкина А.Е., Шляхов В.А., Ткачук О.А. Изучение экологической пластичности сортов ярового ячменя в условиях северного Прикаспия // Нива Поволжья. 2025. № 2(74). С. 1010. DOI: 10.36461/NP.2025.74.2.019

4. Сапега В.А. Урожайность, сортовое районирование ярового ячменя в тюменской области и оценка экологической пластичности и стабильности его сортов // Вестник НГАУ. 2024. № 3(72). С. 84-95. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-84-95

5. Ермолаева Т.Я., Нуждина Н.Н., Говердов Д.В., Салманова Н.А., Федотова Н.М. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим показателям // Успехи современного естествознания. 2019. № 7. С. 14-20. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37153>

6. Лящева С.В., Кулеватова Т.Б., Злобина Л.Н., Заворотина А.Д. Оптимизация отбора высокопродуктивных генотипов озимой мягкой пшеницы с использованием селекционных индексов // Зерновое хозяйство России. 2025. № 17(5). С. 20-26. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-20-26

7. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений // Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.

8. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1981. № 1. С. 8-14

9. Неттевич Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. 2001; 3: 3-6

10. Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2021. № 6(221). С. 16-26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26.

### References

1. Novikova A.A., Grechishkina O.S., Emel'yanova A.A., Pustovalova A.A., Zamerzlyak M.V. Parametry adaptivnosti i gomeostatichnosti sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh Orenburgskoi oblasti [Adaptability and homeostatic parameters of spring barley varieties in the Orenburg region] // Zemledelie. 2022. № 8. S. 35-38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38

2. Vertii N.S., Titarenko A.V., Titarenko L.P., Kozlov A.A. Seleksionnye indeksy v otsenke yachmenno-pshenichnykh gibridov [Breeding indices in the evaluation of barley-wheat hybrids] // Niva Povolzh'ya. 2016. № 2 (39). S. 9-15. <https://www.elibrary.ru/ypsmlt>

3. Talyshkina A.E., Shlyakhov V.A., Tkachuk O.A. Izuchenie ekologicheskoi plastichnosti sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh severnogo Prikaspiya [Study of the ecological adaptability of spring barley varieties in the northern Pre-Caspian region] // Niva Povolzh'ya. 2025. № 2(74). S. 1010. DOI: 10.36461/NP.2025.74.2.019

4. Sapega V.A. Urozhainost', sortovoe raionirovanie yarovogo yachmenya v tyumenskoi oblasti i otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti ego sortov [Productivity, varietal zoning of spring barley in the Tyumen region, and estimation of the ecological adaptability and stability of its varieties] // Vestnik NGAU. 2024. № 3(72). S. 84-95. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-84-95

5. Ermolaeva T.Ya., Nuzhdina N.N., Goverdov D.V., Salmanova N.A., Fedotova N.M. Sravnitel'naya otsenka sortov ozimoi rzi po khozyaistvenno-biologicheskim pokazatelyam [Comparative assessment of winter rye varieties based on economic and biological indicators] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 7. S. 14-20. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37153>

6. Lyashcheva S.V., Kulevatova T.B., Zlobina L.N., Zavorotina A.D. Optimizatsiya otbora vysokoproduktivnykh genotipov ozimoi myagkoi pshenitsy s ispol'zovaniem seleksionnykh indeksov [Optimization of the selection of high-yielding genotypes of winter common wheat using breeding indices]// Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2025. № 17(5). S. 20-26. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-20-26

7. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Methodology for calculating and estimating the ecological adaptability parameters of agricultural plants]// Ufa: BashGAU, 2005. 100 s.

8. Khangil'din V. V., Litvinenko N. A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostasis and adaptability of winter wheat varieties] // Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VSGI. 1981. № 1. S. 8-14

9. Nettevich E.D. Potentsial urozhainosti rekomendovannykh dlya vzdelyvaniya v tsentral'nom regione RF sortov yarovoi pshenitsy i yachmenya i ego realizatsiya v usloviyakh proizvodstva [Productivity potential of spring wheat and barley varieties recommended for cultivation in the Central Region of the Russian Federation and its implementation in production]// Doklady RASKhN. 2001; 3: 3-6

10. Safonova I.V., Anis'kov N.I. Znachimost' kompleksnoi otsenki seleksionnykh indeksov i parametrov stressoustoichivosti sortov ozimoi rzi [The importance of a comprehensive assessment of breeding indices and stress resistance parameters in winter rye varieties] // Agrarnyi vestnik Urala. 2021. № 6(221). S. 16-26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26.

Поступила: 23.12.25; доработана после рецензирования: 24.02.26; принята к публикации: 24.02.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Донцова А.А. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; визуализация, обработка и анализ данных и их интерпретация; подготовка рукописи; Брагин Р.Н. – подготовка и выполнение экспериментальных лабораторных работ и сбор данных; визуализация, обработка и анализ данных и их интерпретация; подготовка рукописи; Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Засыпкина И.М. – подготовка и выполнение экспериментальных лабораторных работ и сбор данных.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТЕИНОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЛЁНЧАТЫХ ГЕНОТИПОВ ОВСА РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ В ЗАУРАЛЬЕ

**Д.И. Еремин**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, soil-tyumen@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3672-6060;

**А.В. Любимова**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, ostapenkoav88@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1570-9595;

**А.А. Ахтямова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, gen.i72@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0297-6958;

**Ю.В. Савельева**, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, savelyeva25@mail.ru, ORCID: 0009-0002-8445-3754.

*НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН, 625501, РФ, Тюменская область, Тюменский район, п. Московский, ул. Бурлаки, д. 2.*

Одним из главных приоритетов в селекции овса является протеиновый потенциал, который определяется процентным содержанием белка в зерне и сбором с единицы площади. Целью исследований являлась оценка коллекции плёнчатых форм овса отечественной селекции и выделение генотипов, обладающих высоким протеиновым потенциалом в условиях лесостепи Зауралья. Работу проводили в 2022-2024 гг. на опытном участке лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра сибирского отделения Российской академии наук. Изучение проводили 158 плёнчатых генотипов овса из 25 регионов Российской Федерации. Наиболее представительной была группа генотипов, выведенная в селекционных центрах Кировской (20 шт.) и Ленинградской (35 шт.) областей. Содержание сырого протеина определяли путем умножения общего азота в зерне на коэффициент 6,25. Годы исследований характеризовались как контрастные по погодным условиям. В результате проведенных исследований был выделен ряд генотипов, обладающих очень высоким протеиновым потенциалом и стабильными показателями. В эту группу вошли: Отрада, Тулунский 30, Тарский 2, Гибрид; (15021); БАДЕН 1; Позднеспелый; Гибрид (к-15022); Валдин 765; ХАНОМИ 2; Горизонт; РАПЕН; Северянин; Кубанский; Овен; ХАНОМИ; Догой; Местный (1733); Покровский 9; ХАНАМИ; Местный (1461); Местный (1539); ПИОБАНД; 94h18. Установлено, что содержание протеина в зерне плёнчатого овса на 22 % зависит от погодных условий вегетации и на 65% контролируется генетически. Характер накопления белка в контрастных условиях может быть использован как критерий стрессоустойчивости, вызванный абиотическими факторами. Плёнчатость зерна овса на 56 % зависит от генотипа и на 28% - от внешних условий. Указанные генотипы можно рекомендовать как перспективный материал для включения в селекционные программы по созданию сортов овса с высоким протеиновым потенциалом.

**Ключевые слова:** протеиновый потенциал, плёнчатый овес, урожайность, реакция на погодные условия, высокобелковые генотипы овса.

**Для цитирования:** Еремин Д.И., Любимова А.В., Ахтямова А.А., Савельева Ю.С. Реализация протеинового потенциала плёнчатых генотипов овса Российской селекции в Зауралье // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №2. С. 20-29. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-20-29



## THE USE OF PROTEIN POTENTIAL OF RUSSIAN HULLED OAT GENOTYPES IN THE TRANS-URALS

**D.I. Eremin**, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for genomic research in plant production, soil-tyumen@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3672-6060;

**A.V. Lyubimova**, Candidate of Biological Sciences, head of the laboratory for genomic research in plant production, ostapenkoav88@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1570-9595;

**A.A. Akhtyamova**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for genomic research in plant production, gen.i72@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0297-6958;

**Yu.V. Savelyeva**, junior researcher of the laboratory for genomic research in plant production, savelyeva25@mail.ru, ORCID: 0009-0002-8445-3754.

*SRIA for Northern Trans-Urals - Branch of Tyumen SC SB RAS  
625501, Russia, Tyumen region, Moskovsky, Burlaki Str., 2*

One of the main priorities in oat breeding is protein potential, which is determined by protein percentage in grain and yield per an area unit. The purpose of the current study was to estimate a collection of hulled oat varieties of domestic

breeding and to identify genotypes with high protein potential in the forest-steppe of the Trans-Urals. The study was conducted at the experimental plot of the laboratory for genomic research in plant production at the Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Urals - Branch of the Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences from 2022 to 2024. There have been studied 158 hulled oat genotypes from 25 regions of the Russian Federation. The most representative group of genotypes was developed at breeding centers in the Kirov (20) and Leningrad (35) regions. Crude protein percentage was estimated by multiplying the total nitrogen content in grain by a coefficient of 6.25. The years of study were characterized by contrasting weather conditions. As a result, there has been identified a number of genotypes with a very high protein potential and stable indicators. This group included the genotypes Otrada, Tulunskiy 30, Tarskiy 2, Gibrid (15021), BADEN 1, Pozdnespely, Gibrid (15022), Valdin 765, KHANOMI 2, Gorizont, RAPEN, Severyanin, Kubansky, Oven, KHANOMI, Dogoy, Mestny (1733), Pokrovsky 9, KHANAMI, Mestny (1461), Mestny (1539), PIOBAND, 94h18. There has been established that protein in hulled oat grain is 22% dependent on weather conditions during a vegetation period, and 65% is genetically controlled. The pattern of protein accumulation under contrasting weather conditions can be used as a criterion for stress resistance caused by abiotic factors. Hull content of oat grain is 56% genotype-dependent and 28% environmental-dependent. These genotypes can be recommended as promising material for breeding programs to develop oat varieties with high protein potential.

**Keywords:** *protein potential, hulled oats, productivity, response to weather conditions, high-protein oat genotypes.*

**Введение.** Овёс относят к многофункциональным зерновым культурам. Научкой и практикой доказана эффективность его использования на зеленый корм, сено и сенаж. В конце XX века роль овса как зернофуражной культуры заметно снизилась – причиной этого была разработанная технология изготовления премиксов и комбикормов с заданным составом питательных веществ. Однако уже в начале XXI в. сельское хозяйство вновь проявило интерес к овсу. Этому способствовало глубокое изучение биохимического состава зерна, показавшее его уникальный протеиновый и аминокислотный состав, оптимальный для кормления животных и питания человека (Zhen Yang et al., 2023).

Ценность зерна обычно представлена наличием трех главных веществ: протеина, крахмала и масла. Как показали ранее проведенные исследования, стратегия регулирования каждого из перечисленных веществ в зерне определяется индивидуально. Так содержание масла в зерне овса – признак, который в большей степени определяется генетикой сорта (Еремин и Любимова, 2024), а содержание крахмала – погодными условиями в период налива и созревания зерна (Wang et al., 2025).

Протеиновый потенциал сорта определяется не только генотипом, но и является реакцией на внешние условия в период вегетации овса (Сапега, 2025). Исследования последних лет, прошедшие в разных природно-климатических зонах России и ряде других стран, показали, что содержание протеина в зерне одного и того же сорта существенно отличается (Shvachko et al., 2021). Кроме того, многолетний высеv коллекций генотипов овса показал существенный диапазон варьирования содержания протеина в зерне в разные годы. Молекулярно-генетические и биохимические исследования подтвердили, что протеиновый потенциал – показатель, который определяется процентным содержанием белка в зерне и сбором с единицы площади. Содержание белка и его состав – признак, который имеет полигенный тип наследования (Gil-González et al., 2024). Экспрессия генов, отвечающих за накопление белка в зерне тесно связана с внешними факторами и элементами технологии возделывания культуры. Генотипы, которые выделяются высоким содержанием белка в зерне независимо от погодных условий, являются перспективными для селекции и могут быть использованы при углубленном

изучении аминокислотного состава для разработки биохимических маркеров. Наибольшую ценность в таких исследованиях представляют данные, полученные в контрастных условиях.

Плёнчатые сорта овса, по утверждению ряда исследователей, характеризуются меньшим содержанием сырого протеина в зерне относительно голозерных форм (Иванова и др. 2024). Однако биохимический анализ очищенных от оболочки зерновок показал, что часть плёнчатых сортов характеризуется более высоким содержанием протеина, превышающим показатели голозерного овса (Biel et al., 2014). Один из факторов, усиливающих вариабельность содержания белка в зерне овса – плёнчатость, которая обуславливается генетически, но ее проявление представляет собой реакцию на внешние условия во время вегетации растения (Полонский и Сумина, 2023). Данный показатель варьирует в широком диапазоне – от 20 до 60%, что отражается на белковой продуктивности плёнчатого овса (Кротова и Баталова, 2023).

Целью наших исследований было изучение протеинового потенциала плёнчатого овса отечественной селекции для определения высокобелковых генотипов в условиях Северного Зуралья.

#### **Материалы и методы исследований.**

Исследования проводили на опытном поле НИИСХ Северного Зуралья – филиала Тюменского НЦ СО РАН, которое расположено вблизи пос. Московский Тюменского района. Почва опытного участка идентифицирована как тёмно-серая лесная осолодевая. По гранулометрическому составу отнесена к среднесуглинистой разновидности. Почва характеризуется типичными морфологическими признаками и свойствами для северной лесостепи Западной Сибири. Степень насыщенности основаниями в пахотном слое составляет 85% от ёмкости катионного обмена. Актуальная и гидролитическая кислотность оптимальна для выращивания сельскохозяйственных культур – 6,0-6,2 ед. и 5,5-5,8 мг-экв./100 г почвы. В пахотном слое (0-30 см) содержится 6,2-6,7% гумуса (ГОСТ 23740-2016). Определение по Тюрину в модификации ЦИНАО, что соответствует 240-260 т/га и приближает данный участок к старопашотным черноземам Зуралья (Демин и др., 2024). Содержание нитратного азота (ГОСТ 26951-2025) перед посевом овса варьировало от 6 до 8 мг/кг почвы, что соответствовало низкой обеспеченности. В летний

период содержание нитратов достигало 15-18 мг/кг (средняя обеспеченность). Фосфорно-калийное состояние опытного участка было оптимальным для роста и развития овса. Содержание подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) изменялось в пределах от 50 до 75 мг/кг и соответствовало средней обеспеченности. Содержание доступного для растений калия (ГОСТ 26204-91) в пахотном слое достигало 100-120 мг/кг, что полностью обеспечивало растения на протяжении всей вегетации.

Протеиновый потенциал плёнчатого овса изучали в рамках научно-исследовательской работы лаборатории геномных исследований в растениеводстве. Для изучения протеиновой реакции на погодные условия были выбраны 158 плёнчатых сортов отечественной селекции происхождением из 25 регионов. Образцы зерна были предоставлены Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), а также оригинаторами этих сортов. Это обеспечило максимальный географический охват и позволило выявить перспективные генотипы для включения в селекционные программы по созданию высокобелковых сортов для Западной Сибири. Сортотиповую чистоту каждого генотипа идентифицировали по запасным белкам методом нативного электрофореза (Lyubimova, 2024). Сравнение генотипов овса проводили относительно средних по коллекции значений и показателей сорта Отрада, который используется в качестве стандарта в государственных сортоиспытаниях по Тюменской области.

Коллекцию овса высевали с соблюдением севооборота: пар занятый – яровая пшеница – овёс, который был развернут в пространстве и во времени. Основная обработка почвы – вспашка на глубину 20-22 см с последующими элементами посевных работ и ухода за посевами (Перфильев и др., 2020). Посев вели вручную в третьей декаде мая. Коэффициент высева 5,5 млн./га. Площадь делянки составляла один

квадратный метр. Посев вели вручную на глубину 7-8 см и междурядьями 20 см, расстояние между делянками 40 см. Полевые наблюдения вели по методике ВИР. Уборочные работы проводили вручную в 1 декаде сентября при наступлении полной спелости овса при влажности 18-20%. Для обмолота снопов использовали молотилку МПС-1М, после чего путем естественной сушки доводили влажность зерна до 14% и определяли продуктивность каждого генотипа.

В лаборатории зерно подвергалось дополнительной очистке от щуплых и недоразвитых зерен. Далее методом «конверта» проводили отбор образцов зерна для биохимического анализа (ГОСТ 13586.3-2015). Плёнчатость определяли согласно методике, разработанной для ГОСТ 10843-76. Содержание протеина в зерне овса определяли после отделения цветковых плёнок и последующего размола зерновок на лабораторной мельнице (ЛЗМ). В полученных пробах методом Къельдаля определяли содержание общего азота на приборе UDK 159 производства Velp Scientifica (Италия). Для перерасчета в сырой протеин использовали коэффициент 6,25. Определение азота проводили в трехкратном повторении с последующим усреднением. Результаты анализа подвергались математической обработке стандартными статистическими методами из пакета Microsoft Excel 2016.

**Результаты и их обсуждение.** Погодные условия вегетационного периода 2021-2024 гг. отличались друг от друга и многолетних показателей (табл.1). Май 2022 года выделился среди остальных своевременными осадками (94 мм), при среднедневной температуре +16 градусов по Цельсию. Это обеспечило благоприятные условия для роста овса вплоть до его кущения. В целом погода мая характеризовалась как избыточно-влажная – гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова составил 2,5.

**Таблица 1. Погодные условия в годы исследований (по данным агрометеостанции «Тюмень», пос. Московский) 2022-2024 гг.**

**Table 1. Weather conditions during the years of study (according to data from the agrometeorological station "Tyumen", v. of Moskovsky) 2022-2024**

Месяц	ГТК Селянинова			Осадки, мм				Температура воздуха, °С			
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	ср.мн.	2022	2023	2024	ср.мн.
Май	2,5	0,0	1,6	94	2	40	44	16/8	22/9	12/3	12
Июнь	1,2	1,7	1,8	59	86	100	61	19/11	20/12	23/14	17
Июль	1,1	0,8	0,9	67	54	54	87	23/15	27/17	23/15	18,7
Август	1,0	0,4	2,0	56	20	95	61	23/13	21/12	19/12	16,1
Сентябрь	0,4	0,3	0,6	11	10	21	45	15/8	17/8	17/8	10,0

\*ср.мн. – среднемноголетние значения; Средняя температура воздуха: дневная/ночная

Посевные работы в 2023 году проходили при иссушенном слое почвы толщиной 10 см, что было следствием отсутствия майских дождей, повышенной температуре воздуха (+20 °С) и постоянных ветров. Гидротермический коэффициент этого месяца был нулевым.

В 2024 году май соответствовал среднемноголетним показателям и характеризовался как благоприятный для

посевных работ и начального роста зерновых культур.

Кущение и выход в трубку овса проходили в оптимальных условиях. Среднедневная температура воздуха была на уровне +19 +23 °С и ночными понижениями до +11 +14 градусов. В июне 2022 года значение ГТК составило 1,2, что соответствовало достаточному увлажнению. Июнь 2023 2024 гг. был избыточно увлажненным (ГТК Селянинова 1,7 и 1,8)

из-за осадков, превышающих среднемноголетние значения на 41 и 64% соответственно.

В июле 2023 и 2024 гг. установилась жаркая погода с дефицитом осадков. Гидротермический коэффициент составил 0,8...0,9, при норме более 1,0. В 2022 году дефицит осадков проявлялся в меньшей мере, что на фоне незначительного превышения температуры воздуха не вызвало засухи. В целом цветение и начальный этап налива зерна овса проходил в контрастных по температуре условиях. Это отразилось не только на продуктивности овса, но и на его показателях качества – содержании протеина и плёчатости.

Овёс вызревал также в контрастных погодных условиях. В 2023 году продолжалась сухая погода – при температуре воздуха в дневные часы +21 °С осадков выпало всего 20 мм (ГТК Селянинова 0,4). В 2024 году осадков в августе было почти в 5 раз больше (95 мм) –

гидротермический коэффициент Селянинова составил 2,0, что соответствует избыточному увлажнению. Это привело к появлению многочисленного подгона и затягиванию вегетации голозерного овса. Погодные условия августа 2022 года не отличались от среднемноголетних показателей.

Коллекция плёчатых сортов овса была ранжирована по регионам их происхождения (рис.1). Единичными генотипами были представлены следующие регионы Российской Федерации: Мурманская (Хибины 2); Орловская (Браслет, Селекционный сорт 33); Пензенская (Местный (к-1461)); Ростовская (Эльбрус); Саратовская (Местный (к-1512)); Смоленская (Местный (к-1711)); Тульская (Шатиловский); Челябинская (Варненский); Архангельская (Северянин, Смоленец); Кемеровская области (Кемеровский 90, Ровесник) и Красноярский Край (Саян, Ударник У-883).

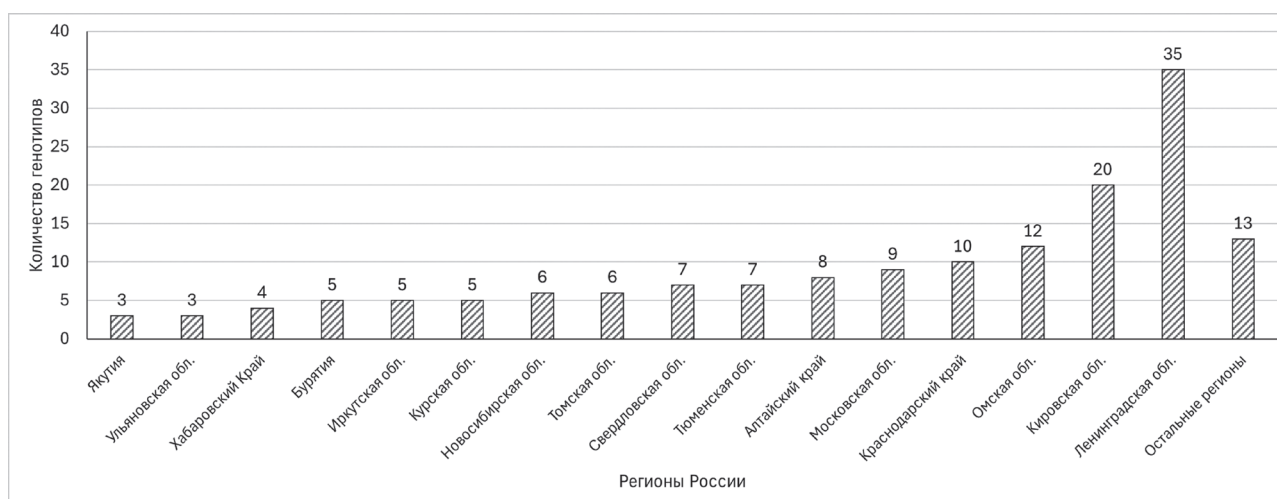


Рис. 1. Распределение генотипов плёчатого овса по Центрам селекции РФ (n=158)

Fig. 1. Distribution of hulled oat genotypes by Russian breeding centers (n=158)

В группу сортов Тюменской селекции вошли 7 генотипов: Местный (к-1539), Талисман, Фома, Боец, Мегион, Отрада, Тоболяк. В качестве сорта-стандарта была выбрана Отрада (к-15380), которая в настоящее время занимает максимальную посевную площадь в Тюменской области и входит в ТОП-10 селекционных достижений в РФ (Пай и др., 2025). Из соседствующих регионов в коллекцию вошли 7 сортов из Свердловской и 12 из Омской областей. Наиболее широко представлены Кировская и Ленинградская области – 20 и 35 генотипов соответственно, что в целом составляет 35% всей исследованной коллекции.

В среднем по коллекции содержание сырого протеина в очищенном от цветочных плёнок зерне составило 14,8% с диапазоном варьирования от 10,5 (Пегас) до 19,6% (Местный (к-1461)). Это подтверждает наличие плёчатых сортов овса, не уступающих голозерным формам по содержанию протеина

(Шаболкина и др., 2024). Диапазон варьирования (max-min) содержания сырого протеина оказался достаточно широким – 9,1% при медиане, совпадающей со средней величиной по коллекции (14,8%).

После проведения квартильного анализа, коллекция овса была сгруппирована следующим образом (табл.2): содержание сырого протеина менее 13,0% – 17 генотипов, в том числе современный сорт Тюменской селекции Тоболяк (к-15827). В данной группе выделены 7 сортов, имеющих стабильно низкое содержание протеина в зерне, коэффициент вариации (CV) которых не превышал 20%: Вектор; ДЕНБА; ПЕНАЛ; Пегас; Креол; Баргузин и Метис. Остальные 10 генотипов характеризовались очень сильной реакцией на погодные условия. Так, сорта Кемеровский 90 и Универсал 1 отличались очень широким диапазоном значений по годам – от 6,6-6,9 (2023 г.) до 16,7-17,8% в 2022 году.

Таблица 2. Ранжирование коллекции плёнчатых сортов овса отечественной селекции по содержанию сырого протеина, 2022-2024 гг.

Table 2. Ranking of domestically bred hulled oat varieties according to crude protein percentage, 2022-2024

Диапазон содержания протеина в зерне, %	Количество генотипов	Генотипы (каталожный номер ВИР)
<13,0	17	91h18 (15927); Баргузин (15761); Буланный (15277); Вектор (15838); Денба (15885); Кемеровский 90 (14959); Креол (15338); Лев (15176); Метис (13915); Памяти Балавина (15182); Пегас (15114); Пенал (15313); Русич (15837); Тобольск (15827); Универсал 1 (14415); Чиж (14570); Яков (15213)
13,1-16,0	103	162h15 (15925); 178h13 (15924); 25h18 (15926); 325h12 (15808); АБОРР (пр. 4582); Аватар (15443); АВРУС (пр. 4587); Аргамак (14648); Аргумент (15013); Ассоль (15617); Атлет (15497); Атула (15019); Атула 508-89 (15614); Боец (15282); Борайн (15753); Борец (14788); Борот (14858); Боррав 2 (15276); Браслет (15882); Валдин 765 (14574); Варненский (14574); Виленский (15499); Всадник (15495); Гибриды (15020); (15021); (15022); Гунтер (14957); Гэсэр (14615); Дедал (14420); ДЕНБА 2 (15886); Десант (15618); Догой (15341); Дэнс (14782); Егорыч (15624); Залп (15442); Иртыш 13 (13924); Иртыш 21 (14780); Иртыш 22 (15065); Иртыш 23 (15188); Казыр (15623); Камбулинский (13911); Козырь (14029); Корифей (15113); Кречет (14857); Крупнозерный (13370); Львовский (15818); Львовский 82 (14033); Львовский 9 (14506); Маршал (15695); Медведь (15494); Местный (1512), (1711); Мустанг (15582); Мутика 556 (14379); Мэргэн (15342); Нарпс (15319); Нарымский 943 (11122); Новосибирский 5 (15453); Новосибирский 88 (14031); Овен (14417); Овес желанный (2938); ОМАН (пр. 4583); Орион (14422); <b>Отрада (15380)</b> ; Памяти Ушакова (15626); Песец (14904); Петрович (15691); Позднеспелый (15551); Покровский (13372); РАПЕН (15175); Ровесник (14365); Сапсан (15444); Саян (14043); Селекционный сорт 33 (2306); Сибирский кормовой (15062); СИГ (15335); СИР 4 (14235); Скакун (13780); Скороспелый (11717); Спринт 2 (14597); Спринт 3 (14659); Стайер (15181); Талисман (14785); Тарский 2 (14779); Тигровый (14859); Тогурчанин (15012); Тройка (15621); Тубинский (15008); Тулунский 19 (14783); Тулунский 30 (15625); Ударник У-883 (8256); Улов (14231); Уралец (15498); Уран (15340); Факел (15760); Факир (14373); Фауст (14781); Фома (15451); Ханоми (14961); Ханоми 2 (15118); Хибины 2 (9869); Чемал (15622); Червонный (2896)
16,1-18,0	34	ОТ-FL 520-89 (15613); Баден 1 (15933); Боррав (15230); Борси (14725); Гибрид (15023); Горизонт (12113); Конкур (15068); Краснообский (13952); Кубанский (12244); Мегион (14039); Местный (1539), 162h15 (1733); Обыкновенный (6529); Онохойский А-547 (9135); Памяти Богачкова (14778); ПИОБАНД (пр. 4586); Покровский 9 (14233); Премьер (15238); Привет (14787); Санур (15616); Северянин (11132); Скороспелый 1 (15547); Скороспелый 2 (15548); Смоленец (2219); Сона (14909); Султан (15064); Таёжник (12245); Траверс (14572); Фобос (14421); ХАНАМИ (пр. 4584); Шатиловский (2919); Эклипс (15187); Экспресс (14505); Эльбрус (13376)
>18,1	4	СОКУ (14862); 94h18 (15928); Среднеспелый 1 (15549); Местный (1461)

Вторая группа (13,1-16,0%) плёнчатых генотипов оказалась наиболее многочисленной. Она была представлена 103 генотипами и включала 4 сорта Тюменской селекции: Талисман, Фома, Боец, Отрада. Содержание в них сырого протеина в среднем по годам было на одном уровне – 14,0-14,3%. Однако вариабельность по годам отличалась – у сорта Боец CV составил 24% тогда как у остальных – 10-12%, что характеризует их как стабильные генотипы.

Наиболее перспективными для селекционного процесса в этой группе оказались сорта: ХАНОМИ; Аватар; Улов; Памяти Ушакова и ДЕНБА 2. Содержание сырого протеина в их зерне варьировало от 15,0 до 16,0% при стабильности значений по годам – CV не превышал 10%.

Очень сильной реакцией на погодные условия во второй группе (13,1-16,0%) обладали следующие генотипы: Дэнс; Нарымский 943; Виленский; Новосибирский 88; Гибрид (к-15021); Догой; Атула; Крупнозерный; Аргамак; Червонный; Атула 508-89;

Козырь; Скороспелый; Местный (к-1512) и Уралец. Содержание сырого протеина у этих образцов варьировало от 9,7 до 22,3% при коэффициенте вариации более 20%. Максимальная реакция на погоду была зафиксирована у сорта Свердловской селекции Уралец – в 2024 году содержание протеина было равным 10,2%, а в 2023 г – 22,3%.

Третью группу сформировали генотипы, в зерне которых содержание протеина было в диапазоне 16,1-18,0%, что достоверно выше средней величины по коллекции ( $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ , при  $p=5\%$ ). В нее вошли 34 генотипа, в том числе 2 Тюменской селекции: Мегион и Местный (1539). Наиболее стабильными сортами в отношении формирования протеина в разных погодных условиях были: ПИОБАНД; Фобос; Сона; БАДЕН 1; Эклипс; Экспресс; Эльбрус и Таёжник. Коэффициент вариации выделенной группы не превышал 10%, что соответствовало низкой вариабельности изучаемого признака.

Были выделены генотипы, у которых

вариабельность содержания протеина в зерне по годам была очень высокой (CV 20...28%). В эту группу вошли: Привет; Санур; Северянин; Скороспелый 2; Премьер; Местный (к-1733); Скороспелый 1; Шатиловский; Кубанский; Султан; Обыкновенный; Борси; Траверс.

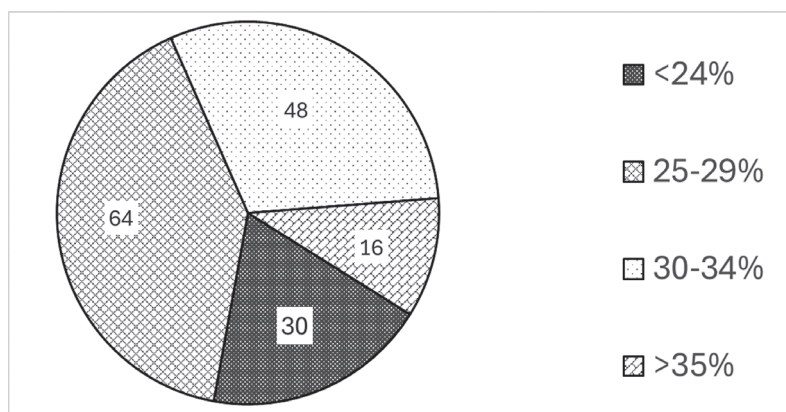
Завершает ранжирование коллекции группа из 4 генотипов с максимальным (>18,1%) содержанием протеина в зерне. Сорты СОКУ и Местный (к-1461) характеризовались очень высокой стабильностью значений по годам – коэффициент вариации не превышал 10%, при среднем содержании протеина 18,1 и 19,6% соответственно. В зерне образцов 94h18 и Среднеспелый 1 – 18,2% при высокой вариабельности признака (CV=21%). Нужно отметить особенность данных генотипов – реакция на погодные условия оказалась диаметрально противоположной. В 2022 году содержание протеина в них составило 14,5 и 20,2% соответственно, а в 2024 г. – 22,1 и 13,7%.

Дисперсионный анализ показал, что метеорологические условия вегетационного периода (фактор А) оказывают достаточно сильное влияние на содержание протеина зерне овса – доля влияния этого фактора составляла 22%. Влияние генотипа (фактор В) на сбор протеина с единицы площади составило 65%.

Достоверной ( $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор.}}$  при  $p=5\%$ ) была и сортовая реакция на погоду (Взаимодействие АВ) – доля влияния составила 10%. Это подтверждает необходимость использования высокобелковых генотипов овса в селекционных программах по созданию сортов для конкретных почвенно-климатических условий.

Принято считать, что плёнчатость овса генетически детерминирована и мало зависит от внешних условий среды. Для животноводства и перерабатывающей промышленности высокая плёнчатость является нежелательным свойством. Поэтому селекционеры уделяют ей достаточно большое внимание.

Средняя плёнчатость по изучаемой коллекции генотипов овса отечественной селекции составила 28% с очень широким диапазоном значений. Очень низкая плёнчатость (до 24%) отмечена у 30 генотипов (рис. 2). Среди них выделяются сорта Вектор; Егорыч; Петрович; Десант и ДЕНБА, которые имели минимальную плёнчатость зерна (19-22%) и относительно низкую вариабельность по годам (5-14%). В группе с очень низкой плёнчатостью оказались генотипы с высокой степенью изменчивости по годам: Варненский; Пегас; Уралец; Ассоль и Баргузин. Коэффициент вариации указанных сортов был в пределах 18-27%.



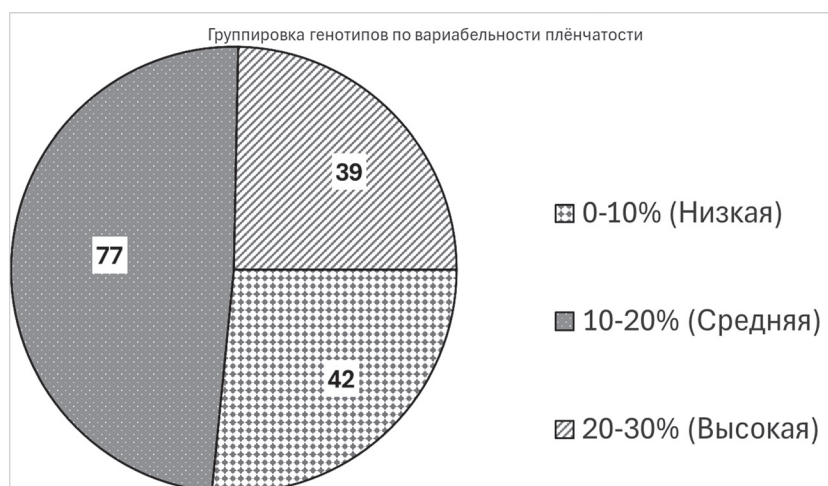
**Рис. 2.** Группировка генотипов овса по плёнчатости (n=158), 2022-2024 гг.  
**Fig. 2.** Grouping of oat genotypes according to hull content (n=158), 2022-2024

Плёнчатость зерна основной массы генотипов (64 из 158) была в пределах 25-29%. В эту группу вошли все сорта Тюменской селекции, для которых среднее значение было равным 28%. Необходимо отметить, что вариабельность изучаемого признака имела очень широкий диапазон – от 3% (Фома) до 21% (Местный (к-1539); Отрада).

В группу с очень высокой плёнчатостью (>35%) вошли 16 генотипов, из которых 6 характеризовались стабильностью по годам (CV<10%). К ним отнесены: Крупнозерный; СОКУ; Атула 508-89; Сона; СИР 4; Траверс. Очень широкий диапазон значений по годам был зафиксирован у сорта Конкур Ульяновской селекции – от 26% (2022 г.) до 40% (2024 г.).

Анализ коллекции показал, что 42 изучаемых генотипа обладают стабильностью (CV до 10%) в отношении плёнчатости зерна (рис.3). Тюменский сорт Фома отличался минимальной вариабельностью этого показателя по годам (28-30%) – CV составил 3%. Аналогичным оказался генотип Местный (к-1733) из Иркутской области.

Отдельно нужно выделить сорта Ханомы и Петрович, которые формировали стабильно низкоплёнчатое зерно (22-25%) в годы исследований (CV=4%). Аналогичные показатели (плёнчатость до 25% и CV до 10%) были отмечены у следующих сортов: Десант; ДЕНБА; 25h18; Залп; Покровский РАПЕН; Боррайн; ДЕНБА 2; Маршал, Овен; Пиобанд.



**Рис. 3.** Группировка генотипов овса по вариабельности плёнатости в зависимости от погодных условий  
**Fig. 3.** Grouping of oat genotypes by according to hull content variability depending on weather conditions

В изучаемой коллекции практически половина генотипов характеризовалась средней степенью изменчивости плёнатости зерна (CV 10-20%) и только 20 из них были низкоплёнататыми (до 25%). В эту группу вошли: 325h12; Борец; Валдин 765; Варненский; Вектор; Виленский; Догой; Егорыч; Иртыш 13; Камбулинский; Пегас; ПЕНАЛ; Позднеспелый; Покровский 9; Русич; Таёжник; Улов; Уралец; Фобос; ХАНАМИ.

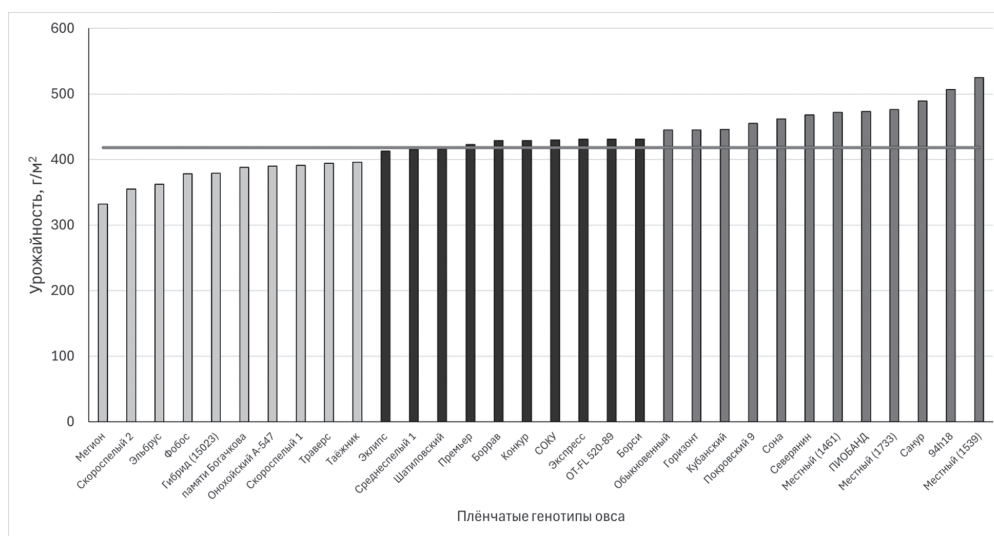
Высокая вариабельность (CV 20-30%) плёнатости зерна была зафиксирована у 39 генотипов (25% от коллекции) из которых 19 были низкоплёнататыми (до 25%). За годы исследований этот признак варьировал в диапазоне от 17% (Баргузин) до 33% (Гэсэр). В данную группу также вошли: Аватар; Аргумент; Ассоль; Всадник; Гунтер; Иртыш 23; Львовский; Местный (к-1711); Нарымский 943; Отрада; Сапсан; Саян; Скороспелый 1; Спринт 2; Стайер; Тройка и Тубинский.

Как показал дисперсионный анализ, плёнатость зерна овса предствляет собой сортовой признак, который может в определенной мере изменяться под действием внешних факторов. Установлено, что доля влияния генотипа составляет 56%, а погодных условий – 28%. В то же время стабильность формирования

плёнатости (CV) в различающихся между собой погодных условиях на 77 % определяется генетически и лишь на 12% от внешних факторов. Поэтому крайне важно в ходе создания новых плёнатых сортов уделять внимание на стабильность плёнатости.

Продуктивный потенциал сельскохозяйственных культур, выражаемый сбором зерна с единицы площади, по праву считают основополагающим свойством каждого сорта. Посев в идентичных условиях (год, почва, предшественник) нескольких сортов дает возможность оценить продуктивность, формирующуюся в конкретных почвенно-климатических условиях.

Средняя урожайность коллекции плёнатых генотипов составила 418 г/м<sup>2</sup> (рис. 4) с диапазоном варьирования от 313 (Ударник-883) до 525 г/м<sup>2</sup> (Местный к-1539). Из 38 высокобелковых генотипов (>16,1%) 10 оказались с достоверно меньшей урожайностью относительно средней величины по коллекции ( $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ , при  $p=5\%$ ). В этой группе оказался и сорт Тюменской селекции Мегион. Разница в пределах ошибки опыта относительно средней величины была у 10 сортов.



**Рис. 4.** Урожайность плёнатых генотипов овса с содержанием сырого протеина в зерне более 16%, г/м<sup>2</sup>, 2022-2024 гг.

Красная линия – средняя урожайность по коллекции овса ( $X_{cp}$ ) отечественной селекции (418 г/м<sup>2</sup>); коричневый цвет – достоверно меньшая урожайность относительно  $X_{cp}$ ; синий – разница урожайности относительно  $X_{cp}$  недостоверна ( $F_{факт.} < F_{теор.}$  при  $p=5\%$ ); зеленый – разница достоверно выше  $X_{cp}$ .

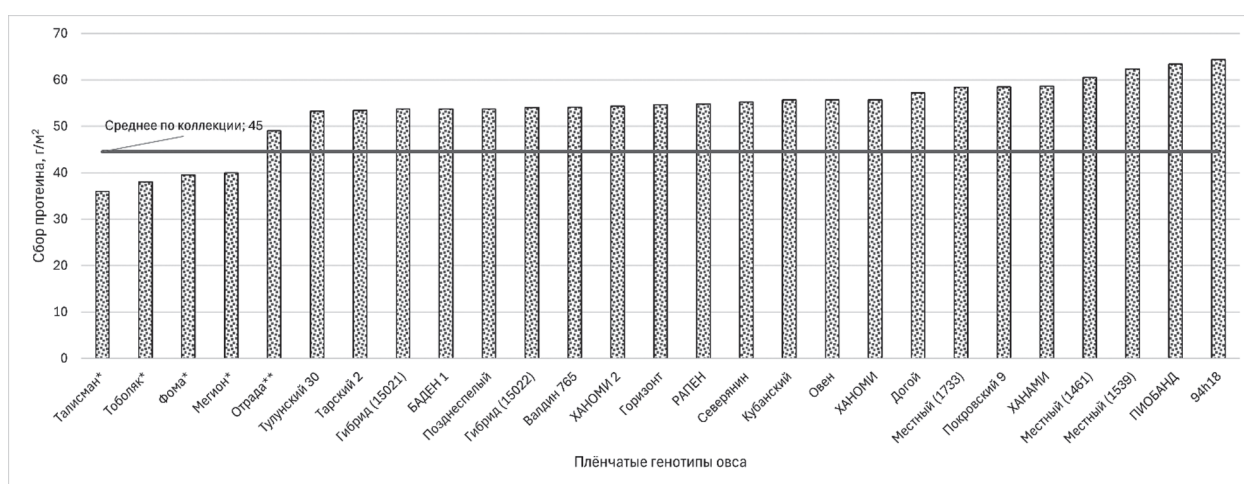
**Fig. 4.** Productivity of hulled oat genotypes with crude protein of more than 16%, g/m<sup>2</sup>, 2022-2024  
Red line – average productivity for the oat collection ( $X_{avg}$ ) of domestic breeding (418 g/m<sup>2</sup>); brown color – significantly lower productivity relative to  $X_{avg}$ ; blue – productivity difference relative to  $X_{avg}$  is insignificant ( $F_{факт.} < F_{теор.}$  when  $p=5\%$ ); green – difference is significantly higher than  $X_{avg}$ .

Наиболее ценными по урожайности были 12 высокобелковых генотипов плёнчатого овса – разница относительно  $X_{cp}$  по коллекции варьировала от 6,5% (Обыкновенный) до 25,6% (Местный (к-1539)).

Сбор белка с единицы площади определяет протеиновый потенциал овса (Lokesh et. al., 2021). Использование его на разные цели (продовольственное или зернофуражное направление) определяет характер оценки. При использовании овса на корм, потенциал целесообразно определять по выходу протеина с единицы площади. В том случае, если овёс планируют использовать как сырье для продуктов или глубокой

переработки, ценность сорта будет определяться содержанием белка в эндосперме зерна и его плёнчатостью (Andriyanova et. al., 2020).

В среднем по коллекции сбор протеина составил 45 г/м<sup>2</sup> с диапазоном варьирования от 29 (Пегас) до 62 г/м<sup>2</sup> (Местный (к-1539)). Сорт-стандарт Отрада характеризовался превышением сырого протеина относительно средней величины по коллекции. Белковый сбор в среднем за три года составил 49 г/м<sup>2</sup> при варьировании от 44 до 58 г/м<sup>2</sup> (рис.5). Остальные сорта Тюменской селекции (Талисман, Тобояк и Фома) уступали стандарту в среднем на 18-27%.



**Рис. 5.** Сбор протеина местных и высокобелковых генотипов плёнчатого овса, г/м<sup>2</sup>, 2022-2024 гг.

\* - сорт Тюменской селекции; \*\* - сорт-стандарт; красная линия – среднее значение сбора протеина по коллекции ( $n=158$ ). Разница между значениями генотипов и средней по коллекции достоверна ( $F_{факт.} > F_{теор.}$  при  $p=5\%$ )

**Fig. 5.** Protein yield of local and high-protein genotypes of hulled oats, g/m<sup>2</sup>, 2022-2024

\* - variety of Tyumen breeding; \*\* - standard variety; red line - average protein yield of the collection ( $n=158$ ). The difference between genotype values and average of the collection is significant ( $F_{факт.} > F_{теор.}$  when  $p=5\%$ ).

Выделившиеся генотипы по сбору белка имели достоверное превышение относительно среднего значения по коллекции и сорта-стандарта. Данные генотипы следует считать перспективными для включения в селекционные программы по созданию высокобелковых сортов овса.

**Выводы.** Изучаемая коллекция была представлена плёнчатыми генотипами овса различного географического происхождения. Изучение данного набора в условиях северной лесостепи Зауралья показало очень широкий диапазон (от 6,6 до 22,8%) содержания протеина в очищенных от оболочек зерновках в зависимости от погодных условий. По исходным данным, коллекция из 158 образцов, была ранжирована на четыре группы: низкобелковые (<13,0%) – 17 сортов; среднбелковые (13,1-16,0%) – 103; высокобелковые (16,1-18,0%) – 34; очень высокобелковые (>18,1%) – 4 генотипа. По содержанию протеина в очищенных зерновках были выделены

стабильно ( $CV < 10\%$ ) высокобелковые генотипы: ПИОБАНД; Фобос; Сона; БАДЕН 1; Эклипс; Экспресс; Эльбрус и Таёжник. В группу сортов с очень сильной реакцией на погодные условия вошли: Привет; Санур; Северянин; Скороспелый 2; Премьер; Местный (к-1733); Скороспелый 1; Шатиловский; Кубанский; Султан; Обыкновенный; Борси; Траверс. Наиболее продуктивные генотипы с урожайностью более 450 г/м<sup>2</sup> характеризовались высоким содержанием протеина: Обыкновенный (16,4%); Горизонт (17,3%); Кубанский (17,9%); Покровский 9 (17,0%); Сона (16,2%); Северянин (16,3%); ПИОБАНД (17,8%); Санур (16,2%); 94h18 (18,2%), а также местные формы из различных регионов РФ: к-1461 (19,6%); к-1733 (17,4%); к-1539 (16,8%). Сбор сырого протеина сортов Тюменской селекции (Талисман, Тобояк, Фома и Мегион) составил 36-40 г/м<sup>2</sup> при среднем значении по коллекции 45 г/м<sup>2</sup>. Выявлено, что содержание протеина в зерне плёнчатых сортов овса на 22% зависит от погодных условий

вегетации и на 65% – от генотипа.

Плёнчатость зерна овса на 56% контролируется генетически и на 28% зависит от погодных условий во время вегетации. Выделены стабильно низкоплёнчатые формы: Вектор; Егорыч; Петрович; Десант и ДЕНБА. Стабильная плёнчатость в контрастных погодных условиях является индивидуальной особенностью сорта и на 77% контролируется генетически, тогда как влияние погоды составляет 12%. Были выделены генотипы с высоким белковым потенциалом, у которых сбор протеина достоверно превышал среднее значение по коллекции на 10% и более: Отрада, Тулунский 30,

Тарский 2, Гибрид; (15021); БАДЕН 1; Позднеспелый; Гибрид (к-15022); Валдин 765; ХАНОМИ 2; Горизонт; РАПЕН; Северянин; Кубанский; Овен; ХАНОМИ; Догой; Местный (1733); Покровский 9; ХАНАМИ; Местный (1461); Местный (1539); ПИОБАНД; 94h18. Данные генотипы рекомендуется использовать в селекционных программах Западной Сибири для создания урожайных сортов с высоким протеиновым потенциалом.

**Финансирование.** Работа выполнена за счет государственного задания 124022900011-6 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

#### Библиографический список

1. Демин Е. А., Волкова Н. А., Након Д. Д. Содержание органического углерода в структурных отдельностях чернозема выщелоченного при использовании возрастающих доз минеральных удобрений в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 3(75). С. 11-16. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-11-16. EDN SRCVOD.
2. Еремин Д. И., Любимова А. В. Поиск перспективных генотипов для регулирования липидного комплекса в зерне при направленной селекции овса целевого назначения // Вестник КрасГАУ. 2024. № 11(212). С. 39-48. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-39-48. EDN UWOWXR.
3. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Ярославцев А. А. Оценка коллекции овса по основным биохимическим показателям качества в условиях Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 1. С. 2-11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11. EDN YBSDWK.
4. Кротова Н. В., Баталова Г. А. Адаптивность образцов пленчатого овса в коллекционном питомнике // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 5. С. 749-756. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.749-756. EDN HWUUIJ.
5. Полонский В. И., Сумина А. В. Адаптивность ячменя и овса по пленчатости зерна в Восточной Сибири // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 108. С. 108-113. DOI: 10.21515/1999-1703-108-108-113. EDN RKURQZ.
6. Пай О. А., Фомина М. Н., Иванова Ю. С. Оценка кормовой продуктивности коллекционных образцов овса в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39, № 2. С. 25-30. DOI: 10.53859/02352451\_2025\_39\_2\_25. EDN ENQBOQ.
7. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А., Тимофеев В. Н. Усовершенствованные ресурсосберегающие системы основной обработки почвы и внесения удобрений для зоны северной лесостепи Северного Зауралья: Методические рекомендации // НИИСХ СЗ- филиал ТюмНЦ СО РАН. Тюмень. 2020. 52 с. ISBN 978-5-4266-0193-2. EDN CJCUTQ.
8. Сапега В. А. Параметры продуктивности сортов овса в различных экологических условиях Северного Зауралья // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 1. С. 16-18. EDN PIEUZH.
9. Шаболкина Е. Н., Шевченко С.Н., Бишарев А.А., Анисимкина Н.В. Урожайность и качество зерна сортов пленчатого и голозерного овса в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 40-45. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-40-45. EDN VBNPFG.
10. Andriyanova Yu. M., Sergeeva I. V., Gusakova N. N., Mokhonko Yu. M. The role of new stress protectors in the formation of production process of oat culture during cultivation in anthropogenically polluted areas // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 23. P. 03011. DOI: 10.1051/bioconf/20202303011. EDN CUFPVAV.
11. Biel W., Jacyno E., Kawęcka M. Chemical composition of hulled, dehulled and naked oat grains // South African Journal of Animal Science. 2014. Vol. 44. No. 2. Pp. 189-197. DOI: 10.4314/sajas.v44i2.12.
12. Gil-González A. B., Sjögren L. E., Bernfur K. Genomic identification of expressed globulin storage proteins in oat // Frontiers in Plant Science. 2024. Vol. 15. DOI: 10.3389/fpls.2024.1418658. EDN UYQAQT.
13. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Renev E. P. Genetic Variation Analysis of Avenin Components in the Population of F2 Common Oat Hybrids // Agronomy. 2024. Vol. 14, No. 12. P. 2899. DOI: 10.3390/agronomy14122899. EDN CTFUSL.
14. Lokesh K., Rachna S., Yanzhuo K. Oat proteins: A perspective on functional properties // LWT. 2021. Vol. 152. P. 112307. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112307.
15. Wang T., Han B. Dynamic transcriptome landscape of oat grain development // BMC Genomics. – 2025. Vol. 26. P. 616. DOI: 10.1186/s12864-025-11827-z
16. Zhen Yang Zh., Xie Ch., Liu F., Wang H. Oat: Current state and challenges in plant-based food applications // Trends in Food Science & Technology. 2023. Vol. 134. Pp. 56-71. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.02.017.

#### References

1. Demin E. A., Volkova N. A., Nakon D. D. Soderzhanie organicheskogo ugleroda v strukturnykh otdel'nostyakh chernozema vyshchelochennogo pri ispol'zovanii vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobrenii v usloviyakh lesostepnoi zony Zaural'ya [Organic carbon content in structural units of leached blackearth using increasing doses of mineral fertilizers in the forest-steppe zone of the Trans-Urals] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. T. 19, № 3(75). S. 11-16. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-11-16. EDN SRCVOD.
2. Eremin D. I., Lyubimova A. V. Poisk perspektivnykh genotipov dlya regulirovaniya lipidnogo kompleksa v zerne pri napravlennoi seleksii ovsa tselevogo naznacheniya [Search for promising genotypes to regulate the lipid complex in grain

during targeted oat breeding] // Vestnik KrasGAU. 2024. № 11(212). S. 39-48. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-39-48. EDN UWOWWR.

3. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Otsenka kolektsii ovsa po osnovnym biokhimicheskim pokazatelyam kachestva v usloviyakh Tyumenskoj oblasti [Evaluation of an oat collection according to key biochemical quality indicators in the Tyumen region] // Agrarnyi vestnik Urala. 2024. T. 24, № 1. S. 2-11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11. EDN YBSDWK.

4. Krotova N. V., Batalova G. A. Adaptivnost' obraztsov plenchatogo ovsa v kolleksiennom pitomnike [Adaptability of hulled oat samples in the collection nursery] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2023. T. 24, № 5. S. 749-756. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.749-756. EDN HWUUIJ.

5. Polonskii V. I., Sumina A. V. Adaptivnost' yachmenya i ovsa po plenchatosti zerna v Vostochnoi Sibiri [Adaptability of barley and oats due to hull content in grain in Eastern Siberia] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 108. S. 108-113. DOI: 10.21515/1999-1703-108-108-113. EDN RKURQZ.

6. Pai O. A., Fomina M. N., Ivanova Yu. S. Otsenka kormovoi produktivnosti kolektsionnykh obraztsov ovsa v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Estimation of forage productivity of collection oat samples in the northern Trans-Urals] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025. T. 39, № 2. S. 25-30. DOI: 10.53859/02352451\_2025\_39\_2\_25. EDN ENQBOQ

7. Perfil'ev N. V., V'yushina O. A., Timofeev V. N. Uovershenstvovannye resursoberegayushchie sistemy osnovnoi obrabotki pochvy i vneseniya udobrenii dlya zony severnoi lesostepi Severnogo Zaural'ya: Metodicheskie rekomendatsii [Improved resource-saving primary tillage and fertilizer application systems for the northern forest-steppe zone of the northern Trans-Urals: methodological recommendations] // NIISh SZ- filial TyumNTs SO RAN. Tyumen'. 2020. 52 s. ISBN 978-5-4266-0193-2. EDN CJCUTQ.

8. Sapega V. A. Parametry produktivnosti sortov ovsa v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Productivity parameters of oat varieties in various environmental conditions of the northern Trans-Urals] // Doklady Rossijskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk. 2005. № 1. S. 16-18. EDN PIEUZH.

9. Shabolkina E. N., Shevchenko S.N., Bisharev A.A., Anisimkina N.V. Urozhainost' i kachestvo zerna sortov plenchatogo i golozernogo ovsa v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Productivity and grain quality of hulled and hulled oat varieties in the Middle Volga region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 5. S. 40-45. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-40-45. EDN VBNPFG.

10. Andriyanova Yu. M., Sergeeva I. V., Gusakova N. N., Mokhonko Yu. M. The role of new stress protectors in the formation of production process of oat culture during cultivation in anthropogenically polluted areas // BIO Web of Conferences. – 2020. Vol. 23. P. 03011. DOI: 10.1051/bioconf/20202303011. EDN CUFPAV.

11. Biel W., Jacyno E., Kawęcka M. Chemical composition of hulled, dehulled and naked oat grains // South African Journal of Animal Science. 2014. Vol. 44, No. 2. Pp. 189-197. DOI: 10.4314/sajas.v44i2.12.

12. Gil-González A. B., Sjögren L. E., Bernfur K. Genomic identification of expressed globulin storage proteins in oat // Frontiers in Plant Science. 2024. Vol. 15. DOI: 10.3389/fpls.2024.1418658. EDN UYQAQT.

13. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Renev E. P. Genetic Variation Analysis of Avenin Components in the Population of F2 Common Oat Hybrids // Agronomy. 2024. Vol. 14, No. 12. P. 2899. DOI: 10.3390/agronomy14122899. EDN CTFUSL.

14. Lokesh K., Rachna S., Yanzhuo K. Oat proteins: A perspective on functional properties // LWT. 2021. Vol. 152. P. 112307. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112307.

15. Wang T., Han B. Dynamic transcriptome landscape of oat grain development // BMC Genomics. – 2025. Vol. 26, P. 616. DOI: 10.1186/s12864-025-11827-z

16. Zhen Yang Zh., Xie Ch., Liu F., Wang H. Oat: Current state and challenges in plant-based food applications // Trends in Food Science & Technology. 2023. Vol. 134, Pp. 56-71. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.02.017.

Поступила: 13.06.25; доработана после рецензирования: 19.03.26; принята к публикации: 19.03.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Любимова А.В., Ерёмин Д.И. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи; Ахтямова А.А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Савельева Ю.В. – подготовка опыта, сбор данных.

**Благодарности.** Авторы статьи выражают благодарность Лоскутову И.Г. доктору биологических наук, заведующему отделом генетических ресурсов овса, ржи, ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ОЦЕНКА И ОТБОР ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ С ВЫСОКОЙ ОБЩЕЙ КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ ПО УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРЁХЛЕТНЕГО ТЕСТКРОСС-АНАЛИЗА

**Н.Ю. Волчанский**, научный сотрудник, Volchanskiyn@mail.ru;

**Н.А. Лемешев**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, nikolaleshev@mail.ru;

**А.И. Супрунов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, suprunov-kniisx@mail.ru;

**И.Н. Сергиенко**, младший научный сотрудник, nenomernoi93@mail.ru

ФГБНУ «НЦЗ им П.П. Лукьяненко» г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ. [kniish@kniish.ru](mailto:kniish@kniish.ru)

Целью исследования была идентификация инбредных линий кукурузы с высокой общей комбинационной способностью (GCA) по признаку «урожайность зерна» и уточнение роли специфической комбинационной способности (SCA) в формировании сверхаддитивных комбинаций в тесткросс-анализе. Оценено 56 линий в скрещиваниях с 3 тестерами (всего 168 line×tester) в 2022–2024 гг. по рандомизированной блочной схеме с трёхкратной повторностью; выполнена объединённая ANOVA с факторами «линия», «тестер», «год/среда» и взаимодействиями, расчёт эффектов GCA/SCA в рамках классического line×tester-подхода. Установлено, что дисперсия урожайности статистически значимо детерминируется аддитивной компонентой: GCA линий и тестеров вносят основной вклад, тогда как SCA выражена, но носит избирательный характер. Выявлены линии-доноры с устойчиво положительными эффектами GCA (топ-группа демонстрирует приросты порядка +3,8...+4,9 т/га относительно среднего аддитивного ожидания), пригодные для широкой комбинационной базы. Обнаружено, что использование «диагностического» тестера с отрицательной GCA позволяет экспонировать крупные положительные SCA в ряде пар; максимальные эффекты SCA в лучших комбинациях достигали ≈+7,35 т/га, что указывает на сильную комплементарность аллелей родителей. Охарактеризованы закономерности: (i) первичный отбор по GCA обеспечивает воспроизводимый прирост продуктивности в разных средах, (ii) последующая оптимизация по SCA необходима для выявления пиковых гибридов и исключения несовместимых пар.

**Ключевые слова:** кукуруза; селекция; общая комбинационная способность; специфическая комбинационная способность; тесткросс; урожайность зерна.

**Для цитирования:** Волчанский Н.Ю., Лемешев Н.А., Супрунов А.И., Сергиенко И.Н. Оценка и отбор инбредных линий кукурузы с высокой общей комбинационной способностью по урожайности зерна по результатам трёхлетнего тесткросс-анализа // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, № 2. С. 30–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-30-35



## EVALUATION AND SELECTION OF INBRED MAIZE LINES WITH HIGH OVERALL COMBINING ABILITY ACCORDING TO GRAIN PRODUCTIVITY BASED ON THE THREE-YEAR TEST-CROSS ANALYSIS RESULTS

**N.Yu. Volchansky**, researcher, Volchanskiyn@mail.ru;

**N.A. Lemeshev**, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, nikolaleshev@mail.ru;

**A.I. Suprunov**, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher, suprunov-kniisx@mail.ru;

**I.N. Sergienko**, junior researcher, nenomernoi93@mail.ru

FSBSI "National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko",

350012, Krasnodarsky Krai, Krasnodar, Central estate of KRIA; e-mail: [kniish@kniish.ru](mailto:kniish@kniish.ru)

The purpose of the current study was to identify inbred maize lines with high general combining ability (GCA) according to the trait 'grain productivity' and to clarify the role of specific combining ability (SCA) in the formation of superadditive combinations in test-cross analysis. There have been studied fifty-six lines in crosses with three testers (a total of 168 lines×tester) in 2022–2024 using a randomized block design with three replications. There has been performed a pooled ANOVA with such factors as 'line', 'tester', 'year/environment', and correlations, and estimated GCA/SCA effects using the classical 'line×tester' approach. There has been established that yield variance is statistically significantly determined by the additive component. The GCA of lines and testers makes the main contribution, while the SCA is present but selective in nature. There have been identified donor lines with consistently positive GCA effects (the top group demonstrates increases of +3.8 to +4.9 t/ha relative to the average additive expectation), suitable for a wide combination. There has been found that the use of a 'diagnostic' tester with a negative GCA allows displaying large positive SCA in several pairs, and the maximum SCA effects in the best combinations have reached ≈+7.35 t/ha, indicating strong complementarity of the parental alleles. There have been given characteristics to the following regularities: (i) primary selection by GCA ensures a reproducible productivity increase in different environments, (ii) subsequent optimization by SCA is necessary to identify peak hybrids and exclude incompatible pairs.

**Keywords:** maize; selection; general combining ability; specific combining ability; test-cross; grain productivity.

**Введение.** Повышение урожайности зерна кукурузы в современных программах гибридной селекции напрямую опирается на точную оценку общей комбинационной способности (ОКС) родительских форм, поскольку ОКС отражает суммарный вклад аддитивных генетических эффектов и позволяет прогнозировать селекционную ценность линии в широком спектре комбинаций и сред выращивания (Akhtar, 2023). Для продуктивности установлено, что вклад аддитивных и неаддитивных эффектов варьирует по условиям, но устойчиво высокие показатели ОКС у линий служат надёжными донорами благоприятных аллелей для наращивания потенциала урожая и сокращения числа неэффективных комбинаций на ранних этапах отбора (Amegbor, 2023, Matongera, 2023).

Многолокационные исследования показывают, что при оптимальном питании и в ряде стрессов (засуха, жар, низкий азот) зерновая продуктивность чаще демонстрирует чувствительность к взаимодействию «генотип×среда», однако именно линии с высокими эффектами ОКС по признакам, связанным с формированием урожая, обеспечивают стабильную селекционную отдачу и служат опорой для построения продуктивных гибридов (Amegbor, 2023, Mebratu, 2024). В этих работах выявлялись линии-доноры с положительными эффектами ОКС по зерновой продуктивности и близким к ней вторичным признакам, что подтверждает центральную роль аддитивной вариации в долгосрочном приросте урожайности (Amegbor, 2023, Mebratu, 2024).

Тесткроссовые схемы являются наиболее технологичным инструментом оценки ОКС для целей повышения урожайности: они масштабируются на большие наборы инбредных линий, одновременно предоставляя оценки ОКС линий и тестеров и позволяя рано отбраковывать комбинации с низким потенциалом урожая (Luz, 2024). В условиях контрастного азотного режима и водно-тепловых стрессов тесткроссы демонстрируют высокую информативность: по результатам ряда исследований показано, что при низком азоте доля вариации, объясняемая СКС, снижается, а селекционная ценность линий по ОКС остаётся ключевой для конструирования продуктивных гибридов; в оптимуме вклад СКС возрастает, но отбор по высоким эффектам ОКС остаётся базовой стратегией для гарантированного прироста урожайности (Akhtar, 2023). Для региональных программ (Россия) подчеркнута практическая значимость отбора линий с высокой ОКС одновременно по урожайности и сниженной уборочной влажности, что повышает экономическую эффективность гибридов (Перевязка, 2021).

**Материалы и методы исследований.** Материал закладывали в контрольном питомнике отдела

селекции кукурузы ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» в 2022–2024 гг. по рандомизированной блочной схеме с трёхкратной повторностью; учётная площадь делянки — 9,8 м<sup>2</sup>; делянки рандомизировали в каждом повторении (Доспехов, 1985). В скрещивания включили три тестера (Кр244МВ3070МВ; Кр1330/6МВ; Кр720185) и 56 инбредных линий среднеспелой группы; всего оценили 168 тесткросс (line×tester), что соответствует современной практике первичной/углублённой оценки комбинационной способности в кукурузе (Luz, 2024, Mebratu, 2024). Основной признак — урожайность зерна, т/га (пересчёт с делянки на гектар по стандартной формуле). Статистику выполняли в Microsoft Excel и R/RStudio: объединённая ANOVA с факторами «линия», «тестер», «год/среда» и взаимодействиями «линия×тестер» и «линия×тестер×год»; проверку значимости средних квадратов вели по рекомендациям для много-средового L×T-анализа (Chiuta, 2020). Эффекты общей комбинационной способности (ОКС) и специфической (СКС) рассчитывали по методу Савченко на средних по повторам/годам:

$$\widehat{OKC}_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_{..}, \widehat{OKC}_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}_{..}, \widehat{CKC}_{ij} = \bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..};$$

стандартные ошибки для эффектов выводили из остаточного MS соответствующей ANOVA. Методика Савченко и её применение в тесткроссах для признака «урожайность зерна» подтверждены отечественными работами (Galgovskaya, 2023, Savchenko, 1984), а актуальность выбранного дизайна и процедур анализа — современными публикациями по L×T в кукурузе (Luz, 2024, Mebratu, 2024).

**Результаты и их обсуждение.** По объединённым данным 2022–2024 гг. с трёхкратной повторностью дисперсионный анализ (Таблица 1) показал статистическую значимость обоих аддитивных источников вариации — ОКС тестеров и ОКС линий — а также взаимодействия линия×тестер (СКС). Для ОКС тестеров:

$$df = 2, SS = 6432,29, MS = 3216,14,$$

$$F_{набл} = 99,57 > F_{0,05}(2; 1250) = 3,00;$$

$$\text{для ОКС линий: } df = 56, SS = 6947,07,$$

$$MS = 124,05,$$

$$F_{набл} = 3,84 > F_{0,05}(56; 1250) = 1,34;$$

$$\text{для СКС: } df = 112, SS = 8633,04,$$

$$MS = 77,08, F_{набл} =$$

$$2,39 > F_{0,05}(112; 1250) = 1,24.$$

Остаточная дисперсия составила

$$df = 1250, SS = 40376,62, MS = 32,30$$

(среднеквадратическая ошибка  $\approx 5,68$  ц/га).

**Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа (ОКС/СКС) по признаку «урожайность зерна», 2022–2024 гг.**  
**Table 1. Variance analysis results (GCA/GCA) according to the trait 'grain productivity', 2022–2024**

Источник вариации	df	SS	MS	F-набл	F-крит ( $\alpha=0,05$ )
ОКС линий	56	6947.07	124.05	3.84	1.34
ОКС тестеров	2	6432.29	3216.14	99.57	3.00
СКС (Line×Tester)	112	8633.04	77.08	2.39	1.24
Остаточная	1250	40376.62	32.30	—	—

Структура вкладов по суммам квадратов указывает на преобладание аддитивной компоненты (в сумме для ОКС линий и тестеров  $\approx 21,4\%$ ) при заметной, но «рассеянной» неаддитивности (СКС  $\approx 13,8\%$ ) и высокой доле остаточной вариации - 64,7 что типично для многолетних испытаний урожайности. Методически

это подтверждает классическую логику интерпретации line $\times$ tester: выбор тестера с положительной ОКС как базового фактора формирования высокоурожайных комбинаций и отбор линий-доноров по ОКС, а СКС использовать для дополнительной оптимизации и уточняющей настройки лучших пар (Галговская, 2023).

**Таблица 2. Эффекты общей комбинационной способности (ОКС) тестеров по признаку «урожайность зерна», т/га, 2022–2024 гг.**

**Table 2. Effects of general combining ability (GCA) of testers according to the trait 'grain productivity', t/ha, 2022–2024**

Тестер	Оценка ОКС (g <sub>i</sub> , т/га)	Ранг
Кр1330/6МВ	+1,52	1
Кр244МВ3070МВ	+1,37	2
Кр720185	-2,89	3

Оценка ОКС тестеров по урожайности (Таблица 2) показала: Кр1330/6МВ и Кр244МВ3070МВ формируют благоприятный аддитивный фон, тогда как Кр720185 в среднем снижает уровень, но полезен как «диагностический» тестер для выявления сильной СКС. Сумма эффектов равна нулю, что соответствует центрировке модели line $\times$ tester и корректным ОКС-оценкам. Практически: первичный отбор линий — на Кр1330/6МВ и Кр244МВ3070МВ; проверка перспективных линий на специфическую сочетаемость — с Кр720185. Эти выводы согласуются с классическими представлениями о разделении аддитивной и неаддитивной вариации в тесткроссах (Савченко, 1984).

В спектре оценок ОКС линий наблюдалась существенная дифференциация: большинство линий имели эффекты, близкие к нулю либо умеренно

отклоняющиеся, тогда как отдельные генотипы выделялись резко положительными значениями. Соответственно, в таблице 3 приведены данные по пятнадцати линиям, показавшим наибольшие эффекты ОКС в наших опытах, а также указано, какие из них статистически значимо превосходят средний уровень (при НСР = 3,5 т/га).

Оценка ОКС линий (таблица 3) показала, что лишь ограниченное число генотипов обладает действительно высоким аддитивным потенциалом. Так, у пяти лучших линий эффекты ОКС находятся в диапазоне +3,8...+4,9 т/га и достоверно превышают среднюю (отмечено «да»), что свидетельствует о существенном превосходстве этих линий в комбинационной ценности. Лидерами являются линии 1552/29 и 1552/31 с ОКС +4,87 и +4,77 т/га соответственно; незначительно уступают им 1552/32, 1552/48 и 1552/11 (около +4 т/га).

**Таблица 3. Топ-15 линий по эффекту общей комбинационной способности (ОКС) за 2022–2024 гг.**  
**Table 3. Top 15 lines by the effect of general combining ability (GCA) in 2022–2024**

Ранг	Линия	ОКС, т/га	Значимо vs средней (НСР=3,5 т/га)
1	1552/29	4,87	да
2	1552/31	4,77	да
3	1552/32	4,37	да
4	1552/48	3,99	да
5	1552/11	3,79	да
6	1552/4	3,42	нет
7	1552/7	2,68	нет
8	1552/52	2,62	нет
9	1552/15	2,33	нет
10	1552/1	2,21	нет
11	1552/54	1,86	нет
12	1553/74	1,62	нет
13	1553/73	1,61	нет
14	1552/42	1,40	нет
15	1552/55	1,28	нет

Таким образом, на этапе первичного отбора целесообразно сосредоточиться на нескольких выявленных линиях-донорах с наиболее высокой общей комбинационной способностью, поскольку именно они гарантированно повышают урожайность в разных комбинациях (Амегбор, 2023).

Следующим шагом исследования стало выявление конкретных пар «линия $\times$ тестер», дающих наибольший синергетический эффект по урожайности сверх аддитивного ожидания. Для этого проанализированы эффекты специфической комбинационной способности

(СКС) всех 171 гибридной комбинации. В таблице 4 представлены линии и тестеры, комбинации которых продемонстрировали максимальные положительные эффекты СКС (т.е. гибриды, значительно превзошедшие ожидаемую урожайность на основе одной только ОКС родителей) (Chiuta, 2020).

Анализ положительных эффектов СКС (таблица 4) показывает, что отдельные гибридные комбинации существенно выигрывают за счёт уникального сочетания генотипов родителей.

Таблица 4. Топ положительных эффектов СКС (линия×тестер), т/га  
Table 4. Top positive SCA effects (linextester), t/ha

Линия	Кр244МВ3070МВ	Кр1330/6МВ	Кр720185	Наибольший СКС (тестер; т/га)
1552/31	-5,93	7,35	-1,42	Кр1330/6МВ; 7,35
1552/29	-3,13	6,18	-3,05	Кр1330/6МВ; 6,18
1553/77	-1,98	-3,81	5,80	Кр720185; 5,80
1552/48	-5,41	-0,03	5,44	Кр720185; 5,44
1553/103	5,08	-0,35	-4,72	Кр244МВ3070МВ; 5,08
1553/21	4,99	-3,04	-1,94	Кр244МВ3070МВ; 4,99
1552/45	-0,75	4,03	-3,28	Кр1330/6МВ; 4,03
1552/55	4,02	0,49	-4,51	Кр244МВ3070МВ; 4,02
1553/74	-1,12	-0,14	3,89	Кр720185; 3,89
1552/50	-3,05	-0,66	3,71	Кр720185; 3,71
1552/32	-1,04	3,68	-2,64	Кр1330/6МВ; 3,68
1553/42	3,64	-3,01	-0,62	Кр244МВ3070МВ; 3,64
1553/54	3,60	-3,68	0,08	Кр244МВ3070МВ; 3,60
1553/88	3,50	-2,97	-0,53	Кр244МВ3070МВ; 3,50

Наибольший СКС (+7,35 т/га) отмечен у гибрида линии 1552/31 с тестером Кр1330/6МВ. Это указывает на исключительную комплементарность: данный гибрид на 7,35 т/га превысил бы аддитивно ожидаемую урожайность. Схожим образом, сочетание линии 1552/29 с тем же тестером дало +6,18 т/га. Оба эти примера объединяет то, что высокоаддитивные линии (1552/31 и 1552/29) сочетаются с тестером-лидером по ОКС (Кр1330/6МВ), суммируя сильные аддитивные эффекты и давая сверхаддитивный прирост урожая.

Выявлены и альтернативные сценарии: линия 1553/77 при относительно невысоком собственном ОКС показала крупный положительный СКС (+5,80 т/га) с тестером Кр720185, а линия 1552/48 максимально раскрылась именно с этим «слабым» тестером (+5,44 т/га). Таким образом, даже тестер с отрицательной общей сочетаемостью способен образовать выдающийся гибрид при встрече с «своей» линией, обладающей нужными аллелями. Кроме того, ряд

других линий (1553/103, 1553/21, 1552/55 и др.) имеют наивысший СКС с другим положительным тестером (Кр244МВ3070МВ) или с Кр1330/6МВ, что отражает разнообразие оптимальных пар. В целом, наличие нескольких комбинаций с крупным положительным СКС подтверждает, что помимо общей сочетаемости, в селекции можно эффективно использовать определённые парные взаимодействия генотипов для получения рекордных урожаев. Выявление таких «выигрышных» пар позволяет рекомендовать их для дальнейших испытаний и потенциальной коммерческой разработки гибридов.

С другой стороны, важно учитывать и противоположный аспект специфической сочетаемости — случаи, когда комбинация «линия×тестер» даёт результат хуже ожидаемого. В таблице 5 приведены примеры крупнейших отрицательных эффектов СКС, отражающие существенную несовместимость некоторых пар генотипов по продуктивности.

Таблица 5. Примеры крупных отрицательных СКС (линия×тестер), т/га  
Table 5. Examples of large negative SCA effects (linextester), t/ha

Линия	Кр244МВ3070МВ	Кр1330/6МВ	Кр720185	Минимум (тестер; т/га)
1552/31	-5,93	7,35	-1,42	Кр244МВ3070МВ; -5,93
1552/48	-5,41	-0,03	5,44	Кр244МВ3070МВ; -5,41
1553/43	1,08	-5,67	4,59	Кр1330/6МВ; -5,67
1553/78	-1,98	-3,81	5,80	(см. табл. 4; контраст по тестерам)
1552/55	4,02	0,49	-4,51	Кр720185; -4,51
1553/103	5,08	-0,35	-4,72	Кр720185; -4,72
1552/29	-3,13	6,18	-3,05	Кр244МВ3070МВ; -3,13
1552/50	-3,05	-0,66	3,71	Кр244МВ3070МВ; -3,05
1552/34	0,66	0,06	-0,72	(умеренные отрицательные)

Рассмотрение отрицательных эффектов СКС (таблица 5) показывает, что отдельные сочетания линий с тестерами демонстрируют значительное снижение урожайности относительно ожидаемого уровня. Так, для линии 1552/31, несмотря на её выдающуюся ОКС и блестящий гибрид с одним тестером, комбинация

с другим (Кр244МВ3070МВ) оказалась провальной (СКС -5,93 т/га). Аналогично, линия 1552/48 с тестером Кр244МВ3070МВ дала резко отрицательный эффект (-5,41 т/га), тогда как с Кр720185 эта же линия, напротив, показывала лучший результат. Эти контрастные примеры (см. также табл. 4) подчёркивают,

что реакция линии на разные генетические фоны может резко различаться: присутствуют специфические несовместимости, приводящие к «просадке» урожая.

Кроме того, линия 1553/43 выявила серьёзный минус при скрещивании с высокоурожайным тестером Кр1330/6МВ (СКС  $-5,67$  т/га) — вероятно, из-за неблагоприятного взаимодействия генетических систем. Значительная отрицательная СКС отмечена и для некоторых других пар (например, 1552/55 × Кр720185:  $-4,51$  т/га; 1553/103 × Кр720185:  $-4,72$  т/га). Вместе с тем встречаются линии, у которых ни с одним из тестеров не обнаружено резкого снижения: так, у линии 1552/34 минимальный СКС составляет лишь  $-0,72$  т/га (умеренно отрицательный фон). Таким образом, анализ негативных взаимодействий позволяет заблаговременно исключить из селекционного процесса сочетания, дающие стабильно низкий эффект, и сфокусироваться

на более перспективных комбинациях.

Для целостной оценки генетического материала выполнено сопоставление общей и специфической комбинационной способности по каждой линии. Результаты сведены в таблице 6, где показано, как величина ОКС линии соотносится с наилучшим достигнутым ею эффектом СКС, и какой практический вывод из этого следует.

Сопоставление показателей ОКС и СКС (таблица 6) позволяет выделить несколько ситуаций. Первую группу составляют линии, сочетающие высокий общий аддитивный эффект с выдающейся специфической комбинацией. Например, линии 1552/29 и 1552/31 имеют очень высокую ОКС ( $+4,87$  и  $+4,77$  т/га соответственно) и одновременно образуют с тестером Кр1330/6МВ так называемые «якорные» гибриды с максимальной продуктивностью (СКС  $+6,18$  и  $+7,35$  т/га).

Таблица 6. Сопоставление ОКС линий с их лучшими СКС  
Table 6. Comparison of GCA of lines with their best GCA

Линия	ОКС (т/га)	Лучший тестер	СКС max (т/га)	Комментарий
1552/29	+4,87	Кр1330/6МВ	+6,18	Сильная ОКС + крупная СКС → «якорная» комбинация.
1552/31	+4,77	Кр1330/6МВ	+7,35	Комбинация-лидер по неаддитиву.
1552/32	+4,37	Кр1330/6МВ	+3,68	Стойкий аддитив + выраженная парность.
1552/48	+3,99	Кр720185	+5,44	Высокая ОКС, но «лучший» — на Кр720185.
1552/11	+3,79	Кр1330/6МВ	+1,21	Аддитив сильнее, СКС умеренная.
1553/92	$-4,15$	Кр244МВ3070МВ	+1,00	Низкая ОКС; СКС не компенсирует.

Эти генотипы наиболее ценны для селекции, так как обеспечивают и стабильное повышение урожайности во многих комбинациях, и рекордный уровень в отдельных парах. Близка к ним по типу линия 1552/32: её ОКС ( $+4,37$ ) также высока, а лучший СКС ( $+3,68$  т/га с Кр1330/6МВ) заметно повышает отдачу конкретного гибрида, хоть и не столь экстремально. Сюда же относится линия 1552/48: при высокой ОКС ( $+3,99$ ) она достигает наивысшей продуктивности именно с тестером Кр720185 (СКС  $+5,44$ ), то есть сильный общий эффект этой линии реализуется через специфическое взаимодействие с нетипичным тестером.

Вторую группу представляют линии-«универсалы» с высокой ОКС, но без ярко выраженных СКС-всплесков. К примеру, линия 1552/11 (ОКС  $+3,79$ ) демонстрирует стабильно хороший результат со всеми тестерами, а её максимальный СКС ( $+1,21$ ) относительно невысок — это говорит о ровной, предсказуемо хорошей сочетаемости без специфических пиков. Наконец, третью группу составляют линии с низкой или отрицательной общей комбинационной способностью, у которых даже лучший гибрид не достигает приемлемого уровня. Линия 1553/92 — характерный пример: обладая отрицательной ОКС ( $-4,15$ ), она в среднем снижает урожай, и хотя с тестером Кр244МВ3070МВ ей удалось получить небольшой положительный эффект (СКС  $+1,00$ ), этого явно недостаточно для компенсации. Подобные линии не представляют ценности, поскольку не способны дать высокоурожайные гибриды ни в одном сочетании. Таким образом, учёт как общей, так и специфической сочетаемости позволяет более объективно оценить ценность инбредных линий и направить селекционный процесс на наиболее результативные гибридные комбинации.

**Выводы.** Проведённый анализ по схеме line×tester

подтвердил статистически значимые аддитивные (ОКС) и неаддитивные (СКС) источники вариации урожайности зерна, однако основной вклад внесли аддитивные эффекты. Выделены несколько инбредных линий-доноров с устойчиво высоким эффектом ОКС, обеспечивающих существенный прирост урожайности в тесткроссах. Эти линии (в основном из серии 1552) рекомендуются к использованию в селекции как источники благоприятных аллелей. В то же время применение «диагностического» тестера с отрицательной ОКС (Кр720185) позволило выявить уникальные комбинации, в которых отдельные линии раскрывают свой потенциал за счёт специфического взаимодействия генотипов. На практике стратегия отбора может быть сформулирована следующим образом: на первом этапе отбираются линии с высокой общей комбинационной способностью по урожайности, что гарантирует базовое повышение продуктивности гибридов. На втором этапе, используя различных по эффекту тестеров, оцениваются специфические сочетания — это нужно, чтобы не пропустить пары с гетерозисным всплеском и одновременно исключить комбинации с выраженной несовместимостью. В результате комплексной оценки ОКС и СКС селекционер получает информацию, позволяющую сконцентрировать ресурсы на ограниченном числе наиболее эффективных направлений: с одной стороны, это включение проверенных высокоурожайных доноров, а с другой — реализация максимального гибридного эффекта в конкретных сочетаниях.

**Финансирование.** Финансовая поддержка проекта Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования, Соглашение №075-15-2025-179 от 17 апреля 2025 г.

**Библиографический список**

1. Галговская Л. А., Теркина О. В., Романова А. Н. Комбинационная способность новых инбредных линий кукурузы селекции ВНИИК // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6 (116). С. 264–269. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-264-269
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. 351 с.
3. Перевязка Д. С., Перевязка Н. И., Супрунов А. И. Изучение специфической комбинационной способности новых раннеспелых и среднеранних автодиплоидных линий кукурузы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 166. С. 68–82. DOI: 10.21515/1990-4665-166-008
4. Савченко В. К. Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях. – Минск: Наука и техника, 1984. 223 с.
5. Akhtar S. et al. Heterosis and combining ability of iron, zinc and their bioavailability in maize inbred lines under low nitrogen and optimal environments // Heliyon. 2023. Vol. 9, no. 3. P. e14177. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14177
6. Amegbor I. K. et al. Combining ability estimates for quality and non-quality protein maize inbred lines for grain yield, agronomic, and quality traits // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2023. Vol. 7, P. 1123224. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1123224
7. Chiuta N. E., Mutengwa C. S. Combining ability of quality protein maize inbred lines for yield and morpho-agronomic traits under optimum as well as combined drought and heat-stressed conditions // Agronomy. 2020. Vol. 10, №. 2. P. 184. DOI: 10.3390/agronomy10020184
8. Luz L. S. et al. Combining ability for agronomic traits among commercial maize hybrids under low and high nitrogen inputs targeting the development of breeding populations // PLOS ONE. 2024. Vol. 19, №. 10. P. e0309296. DOI: 10.1371/journal.pone.0309296
9. Matongera N. et al. Combining ability and testcross performance of multi-nutrient maize under stress and non-stress environments // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14, P. 1070302. DOI: 10.3389/fpls.2023.1070302
10. Mebratu A. et al. Testcross performance and combining ability of early-medium maturing quality protein maize inbred lines in Eastern and Southern Africa // Scientific Reports. 2024. Vol. 14, №. 1. P. 9151. DOI: 10.1038/s41598-024-58816-y.

**References**

1. Galgovskaya L. A., Terkina O. V., Romanova A. N. Kombinatsionnaya sposobnost' novykh inbrednykh linii kukuruzy seleksii VNIK [Combining ability of new inbred maize lines bred by ARRIC] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2023. № 6 (116). S. 264–269. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-264-269
2. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M., 1985. 351 s.
3. Perevyazka D. S., Perevyazka N. I., Suprunov A. I. Izuchenie spetsificheskoi kombinatsionnoi sposobnosti novykh rannespelykh i srednerannikh avtodiploidnykh linii kukuruzy [Study of the specific combining ability of the new early maturing and middle-early autodiploid maize lines] // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 166. S. 68–82. DOI: 10.21515/1990-4665-166-008
4. Savchenko V. K. Geneticheskii analiz v setevykh probnykh skreshchivaniyakh [Genetic analysis in network test crossings]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1984. 223 s.
5. Akhtar S. et al. Heterosis and combining ability of iron, zinc and their bioavailability in maize inbred lines under low nitrogen and optimal environments // Heliyon. 2023. Vol. 9, no. 3. P. e14177. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14177
6. Amegbor I. K. et al. Combining ability estimates for quality and non-quality protein maize inbred lines for grain yield, agronomic, and quality traits // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2023. Vol. 7, P. 1123224. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1123224
7. Chiuta N. E., Mutengwa C. S. Combining ability of quality protein maize inbred lines for yield and morpho-agronomic traits under optimum as well as combined drought and heat-stressed conditions // Agronomy. 2020. Vol. 10, №. 2. P. 184. DOI: 10.3390/agronomy10020184
8. Luz L. S. et al. Combining ability for agronomic traits among commercial maize hybrids under low and high nitrogen inputs targeting the development of breeding populations // PLOS ONE. 2024. Vol. 19, №. 10. P. e0309296. DOI: 10.1371/journal.pone.0309296
9. Matongera N. et al. Combining ability and testcross performance of multi-nutrient maize under stress and non-stress environments // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14, P. 1070302. DOI: 10.3389/fpls.2023.1070302
10. Mebratu A. et al. Testcross performance and combining ability of early-medium maturing quality protein maize inbred lines in Eastern and Southern Africa // Scientific Reports. 2024. Vol. 14, №. 1. P. 9151. DOI: 10.1038/s41598-024-58816-y.

Поступила: 04.11.25; доработана после рецензирования: 19.02.26; принята к публикации: 20.02.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Сергиенко И.Н. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Волчанский Н. Ю., Лемешев Н.А. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Супрунов А. И. – общее научное руководство, концептуализация исследований, критический анализ текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## БИОХИМИЧЕСКИЕ И ПОСЕВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН РАПСА ОЗИМОГО, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОПЫЛЕНИИ В УСЛОВИЯХ ГРУППОВОГО СЕТЧАТОГО ИЗОЛЯТОРА

**Е. А. Пирогова** младший научный сотрудник, лаборатории селекции гибридов рапса, pirogova\_ea@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-6456-1718;

**Л. А. Горлова** кандидат биологических наук, заведующая отделом селекции рапса и горчицы, ORCID ID: 0000-0002-0987-5087;

**С. Г. Ефименко** кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биохимии, ORCID ID: 0000-0002-8068-6668.

ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта,  
350038, г. Краснодар, ул. Филатова 17; e-mail: vniimk@vniimk.ru

Целью исследования была оценка влияния условий в групповом сетчатом изоляторе на биохимические и посевные характеристики семян рапса озимого в сравнении со свободным опылением. Изучено пять генотипов (сорта Элвис, Лорис, Сармат, Селегор и *Rf*-линия ОРК-10), выращенных в 2022/2023 и 2023/2024 гг. на центральной экспериментальной базе ВНИИМК. Семена изучаемых генотипов анализировали на ИК-спектрометре Matrix-I по таким показателям как масличность, жирнокислотный состав масла семян и уровень глюкозинолатов в семенах. Скрытую заражённость *Alternaria brassicicola* (Schw.) Wilts. определяли методом Е. М. Долговой на проростках. Лабораторную всхожесть устанавливали по ГОСТ 12038-84. Данные интерпретированы с помощью графиков типа forest plot и slope. В результате было зафиксировано существенное снижение процента масличности под изолятором на 1,4–2,6 % для всех генотипов, наиболее выраженное у сортов Сармат и Селегор. Обнаружено смещение жирнокислотного профиля: содержание олеиновой и линолевой кислот снижалось на 0,1–1,2 % и 0,1–0,8 % соответственно, тогда как линоленовой возрастала на 0,2–0,6 %. Уровень глюкозинолатов изменялся незначительно. Отмечено, что при цветении в условиях группового сетчатого изолятора в сравнении с открытым опылением, увеличивалась в 2,6 раза доля поражённых альтернариозом проростков (в среднем 17,4 % против 6,8 %), которая способствовала снижению лабораторной всхожести (80,3 % против 97,6 %). Причиной этого являлось создание микроклимата (слабое проветривание и повышенная влажность) внутри изолятора в период цветения и начального налива семян. Использование сетчатых изоляторов снижает содержание масла в семенах и ухудшает посевные качества, что требует оптимизации густоты стояния растений в изоляторе и мер фитосанитарного сопровождения при селекции и семеноводстве рапса озимого.

**Ключевые слова:** рапс озимый, групповой сетчатый изолятор, масличность, жирно-кислотный состав, глюкозинолаты, лабораторная всхожесть, степень поражения альтернариозом (*Alternaria brassicae*).

**Для цитирования:** Пирогова Е. А., Горлова Л. А., Ефименко С. Г. Биохимические и посевные характеристики семян рапса озимого, полученные при опылении в условиях группового сетчатого изолятора // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, № 2. С. 36–42 DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-36-42



## BIOCHEMICAL AND SOWING CHARACTERISTICS OF WINTER RAPESEED DEVELOPED BY POLLINATION IN A GROUP NET ISOLATOR

**E.A. Pirogova**, junior researcher of the laboratory for breeding of rapeseed hybrids, pirogova\_ea@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-6456-1718;

**L.A. Gorlova**, Candidate of Biological Sciences, head of the department of rapeseed and mustard breeding, ORCID ID: 0000-0002-0987-5087;

**S.G. Efimenko**, Candidate of Biological Sciences, head of the biochemistry department, ORCID ID: 0000-0002-8068-6668  
FSBSI FRC "V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops" (VNIIMK)

350038, Krasnodar, Filatov Str., 17; e-mail: vniimk@vniimk.ru

The purpose of the current study was to estimate the effect of group net isolator conditions on the biochemical and sowing characteristics of winter rapeseed compared to open pollination. There have been studied five genotypes (the varieties Elvis, Loris, Sarmat, Selegor, and the *Rf*-line ORK-10) grown in 2022/2023 and 2023/2024 at the central experimental base of VNIIMK. The seeds of the studied genotypes were analyzed on a Matrix-I IR spectrometer according to such indicators as oil content, fatty acid composition of seed oil, and amount of glucosinolates in seeds. Latent infestation with *Alternaria brassicicola* (Schw.) Wilts. was determined using the E.M. Dolgova method on sprouts. Laboratory germination was determined according to GOST 12038-84. The data were interpreted using the graphs of forest plots and slope. There

has been established a significant decrease in oil content by 1.4–2.6% for all genotypes under isolation, most pronounced in the varieties Sarmat and Selegor. There has been found a shift in the fatty acid profile, when oleic and linoleic acid content decreased by 0.1–1.2% and 0.1–0.8%, respectively, while linolenic acid increased by 0.2–0.6%. The amount of glucosinolates changed insignificantly. There has been determined that during the flowering period under group net isolator conditions, compared to open pollination, the proportion of sprouts infected by *Alternaria* increased by 2.6 times (on average, 17.4% versus 6.8%), which decreased laboratory germination (80.3% versus 97.6%). It occurred because of the creation of a microclimate (poor ventilation and high humidity) inside the isolator during the period of flowering and initial seed formation. The use of net isolators reduces seed oil content and worsens seeding quality, necessitating optimization of plant density in the isolator and phytosanitary measures during winter rapeseed breeding and seed production.

**Keywords:** winter rapeseed, group net isolator, oil content, fatty acid composition, glucosinolates, laboratory germination, degree of infection by *Alternaria* (*Alternaria brassicae*).

**Введение.** Рапс является одной из стратегически важных масличных культур на мировом рынке. Посевные площади ярового и озимого рапса в мире в настоящее время составляют 44 млн га, в Российской Федерации – почти 3 млн га. В 2025 г. озимой формой рапса в нашей стране было засеяно 755 тыс. га, что на 8,6 % больше аналогичного показателя в 2024 г. (Росстат).

Основным продуктом, получаемым из семян рапса, является пищевое масло, которое используют в качестве сырьевого компонента для производства пищевых продуктов. Рапсовое масло обладает полезными свойствами, его потребление благотворно влияет на сердечно-сосудистую систему, повышает уровень токоферолов и улучшает чувствительность к инсулину. Такое масло считается полезным благодаря оптимальному содержанию ненасыщенных жирных кислот, в особенности это касается олеиновой ( $\omega$ -9), линолевой ( $\omega$ -6) и линоленовой ( $\omega$ -3) (Голова, 2023).

При получении масла способом прессования (отжима) образуются вторичные продукты переработки семян рапса – жмыхи, которые содержат остаточные количества ценного в пищевом отношении масла. Рапсовые жмыхи в основном используются в производстве кормов для сельскохозяйственных животных и птиц, однако при недостаточной степени очистки в нём могут присутствовать такие соединения как глюкозинолаты. Эти соединения образуются в оболочке семян рапса, они относятся к токсинам и затрудняют использование рапсовых жмыхов в кормовых целях (Рензяева и др., 2020).

Содержание масла в семенах, их жирно-кислотный состав и уровень гликозинолатов являются основными биохимическими признаками, на которое направлено пристальное внимание селекционеров. Методы селекции культуры основаны на способе её опыления. Рапс – это факультативный самоопылитель. Его смешанный тип опыления диктует подходы к ведению селекции и семеноводства культуры. Учитывая средний уровень перекрестного опыления 15–30 %, необходимо применение групповых сетчатых изоляторов для исключения попадания аллогамной пыльцы. Это особенно важно для размножения родительских линий гибридов  $F_1$ , линейных сортов и сортов со специфическими характеристиками.

Китайские ученые показали важность использования изоляторов при ведении селекции различных сельскохозяйственных культур, с целью ограничения доступа насекомых, а также, чтобы регулировать температуру и влажность внутри изолированного пространства. Однако использование сетки снижает естественную ветровую вентиляцию, что может способствовать снижению урожайности и

ухудшение биохимических характеристик семян (Wang, 2020).

При определении влияния условий группового сетчатого изолятора при выращивании линий подсолнечника, температура воздуха внутри изолированного пространства снижалась на 3,0–10,5 °С, а также уменьшалась интенсивность освещения естественным светом растений в среднем на 40–70 %, чем за его пределами (Гриднев, 2023). Как правило, для ведения гибридной селекции подсолнечника используется крупноячеистая сетка с размерами ячеек 355 мкм, она лучше пропускает воздух и снижает перегрев (Гриднев, 2023).

При изучении микроклимата в инсектозащитных сетках с более мелкой ячейкой 60-mesh (250 мкм) на пекинской капусте температура воздуха внутри изолированного пространства возрастала на 10 %, вентиляция снижалась на 50–90 %, в отличие от естественных условий. В результате этого на стенках изолятора и листьях растений накапливался конденсат. Влажность в таких условиях увеличивалась на 3–10 % (Wen et al., 2022).

В Азиатском технологическом институте (Таиланд) был проведен опыт по изучению влияния микроклимата на томаты внутри сетчатых изоляторов с разными размерами ячеек: 40-mesh (420 мкм), 52-mesh (280 мкм) и 78-mesh (185 мкм). В таких условиях температура воздуха в течение вегетационного периода растений практически не изменялась (повышалась не более чем на 2 °С), только в изоляторе с сеткой 78-mesh она увеличивалась на 4 °С, в отличие от естественных условий. Влажность внутри была относительно высокой. Совокупное повышение температуры и влажности в сетчатом изоляторе с ячейками 78-mesh и 52-mesh приводило к значительному снижению скорости вентиляции на 50 % и 35 % соответственно по сравнению с 40-mesh. Сложившиеся условия в более мелкоячеистых изоляторах способствовали развитию грибных болезней и последующему снижению урожайности и масличности (Harmanto, 2006).

Информация об изменении биохимических и посевных характеристик семян рапса озимого в изолированных условиях ограничена и несколько противоречива. Поэтому целью наших исследований была оценка влияния группового сетчатого изолятора на биохимические и посевные качества семян рапса озимого, в сравнении с условиями свободного опыления, на примере линейных сортов и отцовской родительской линии селекции ВНИИМК. Для этого были определены: масличность, основные жирные кислоты масла семян, содержание глюкозинолатов, лабораторная всхожесть, наличие патогенной микрофлоры на проростках семян, полученных в условиях группового сетчатого изолятора.

**Материалы и методы исследований.** Опыт был заложен в 2022/2023 и 2023/2024 гг. на центральной экспериментальной базе ВНИИМК, х. Октябрьский (центральная зона Краснодарского края). Для этого использовали семеноводческие посевы сортов рапса озимого Элвис, Лорис, Сармат, Селегор и отцовскую родительскую линию ОРК-10, с густотой стояния растений 50 раст./м<sup>2</sup>.

Начало цветения рапса озимого в 2023 г. выпало на 1 декаду апреля, конец пришелся во 2 декаду мая. За данный период температура воздуха варьировала от 10 до 23 °С, выпало 40 мм осадков. Облачность изменялась от 44,0 до 85,0 %, относительная влажность воздуха от 54,3 до 77,3 %. Скорость ветра в среднем по декадам составила 3,9 м/с, но его порывы достигали 27–30 м/с. За период с ноября по март выпало 205,4 мм осадков. Наблюдался оптимум запасов влаги.

В 2024 году за весь период цветения рапса озимого среднесуточный температурный режим изменялся от 11 до 24 °С. Относительная влажность воздуха за декады варьировала от 54,1 до 75,3 %, облачность – от 24 до 50 %. Скорость ветра не превышала 4,2 м/с, но его порывы достигали 25 м/с. Осадки отсутствовали. Запасы влаги в почве были на высоком уровне, поскольку с ноября по март выпало 402,4 мм осадков.

На период цветения было установлено по два сетчатых изолятора на каждый генотип с размером 1 м × 1 м × 1,8 м из полиамидной ситовой ткани, с размером ячейки 0,25 × 1,0 мм (200 мкм). После цветения изоляторы убрали. В период желто-зеленого стручка с учетных делянок были срезаны по 20 типичных, нормально развитых растения. Семена отобранных растений были проанализированы на биохимические характеристики и посевные качества. Контроль – семена растений изучаемых сортов от свободного опыления. Площадь под каждым вариантом 1 м<sup>2</sup>.

Биохимические параметры семян, такие как масличность, содержание глюкозинолатов и жирно-кислотный состав масла семян определяли на

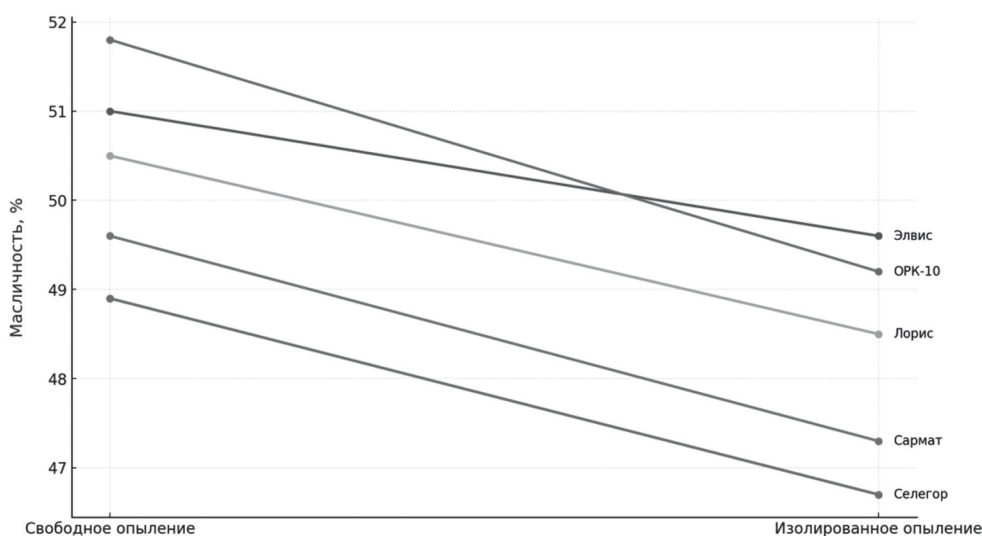
ИК-спектрометре Matrix-I в среднем образце семян с каждого растения в опыте согласно ГОСТ 32749-2014 и апробированной экспресс-методике ВНИИМК (Ефименко и др., 2023).

Скрытую зараженность семян рапса озимого альтернариозом (*Alternaria brassicicola* (Schw.) Wilts.) (присутствие инфекции в зародыше) определяли методом Е. М. Долговой. Полученные из внешне здоровых семян проростки без признаков поражения патогенами промывали в стерильной воде, помещали в стаканы с дистиллированной водой и оставляли расти в течение 8–10 суток при температуре плюс 20–25 °С, заменяя воду каждые 2–3 суток. Появление перетяжек на гипокотиле и побурение различного размера тканей стебля являлись признаками присутствия в тканях зародыша семени патогена (Сердюк и др., 2019).

Лабораторная всхожесть определялась по ГОСТ 12038-84. Среднюю температуру и влажность воздуха, скорость ветра, облачность и количество осадков учитывали во время цветения, используя данные сайта [agrokeeper.com](http://agrokeeper.com). Микроклиматические показатели внутри группового сетчатого изолятора не определяли.

Данные обработаны с помощью статистического пакета Rstudio и представлены в виде графиков типа forest plot и slope.

**Результаты и их обсуждение.** В результате биохимического анализа семян рапса озимого за 2022/2023 и 2023/2024 гг. было выявлено изменение качественных показателей в зависимости от условий опыления. В условиях группового сетчатого изолятора происходило существенное уменьшение масличности семян у всех изучаемых генотипов на 1,4–2,6 % в сравнении с растениями, опыление у которых проходило в условиях открытого опыления. Данный эффект проявился наиболее выражено у родительской линии ОРК-10 (–2,6 %), а также у сортов Сармат (–2,3 %) и Селегор (–2,2 %), что свидетельствует о влиянии условий закрытого опыления на синтез и накопление жиров в семенах (рис. 1).

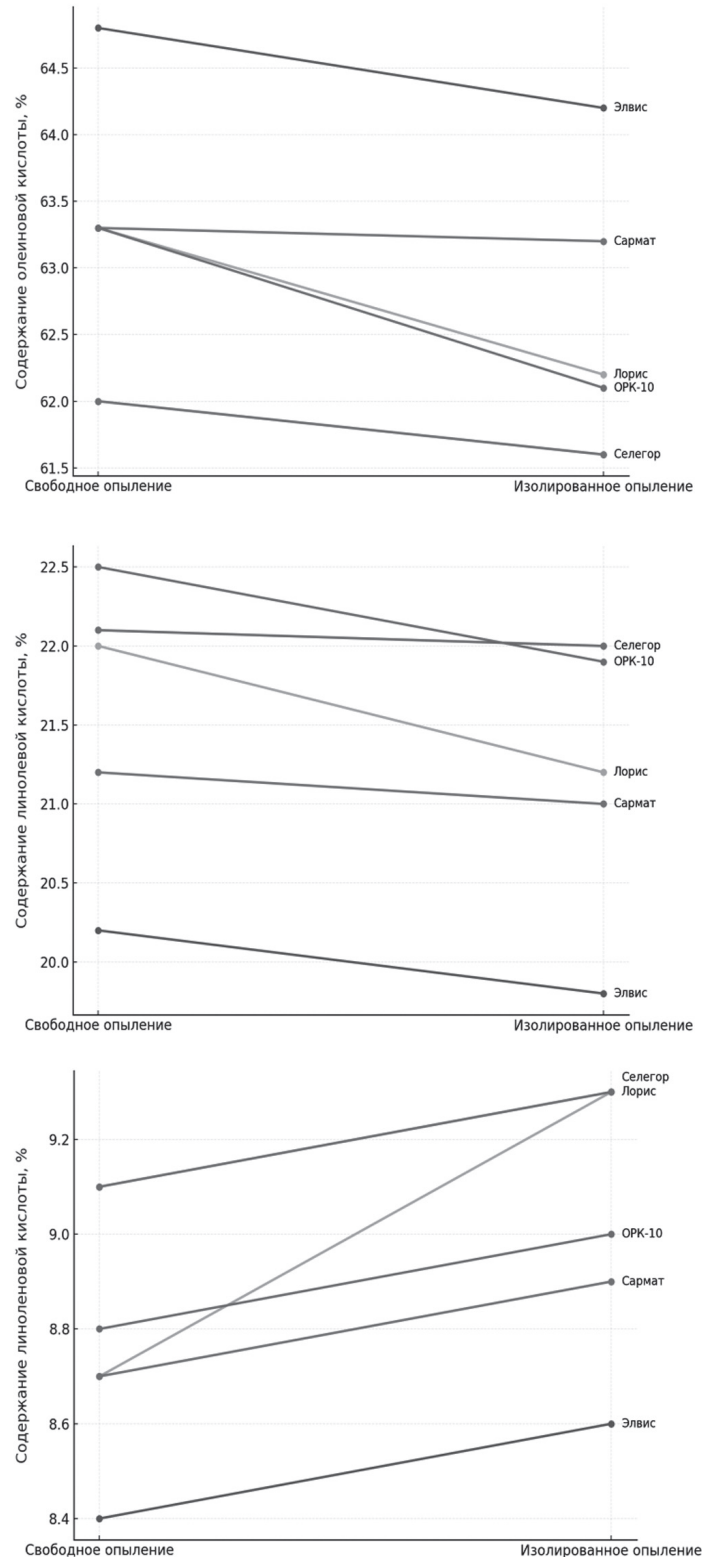


**Рис. 1.** Slope-график влияния условий опыления на содержание масла в семенах рапса озимого в 2022/2023 и 2023/2024 гг.

**Fig. 1.** Slope-graph of the effect of pollination conditions on winter rapeseed oil content in 2022/2023 and 2023/2024.

В составе ненасыщенных жирных кислот также были зафиксированы изменения в зависимости от условий цветения. При изолированном опылении происходило снижение процента олеиновой кислоты на 0,1–1,2 % и линолевой кислоты на 0,1–0,8 %. Содержание линоленовой кислоты достоверно увеличивалось на

0,2–0,6 % у всех генотипов, это указывает на смещение соотношения жирных кислот в сторону повышения степени ненасыщенности масла, что биологически положительно, но может ухудшать его технологические свойства (рис. 2).



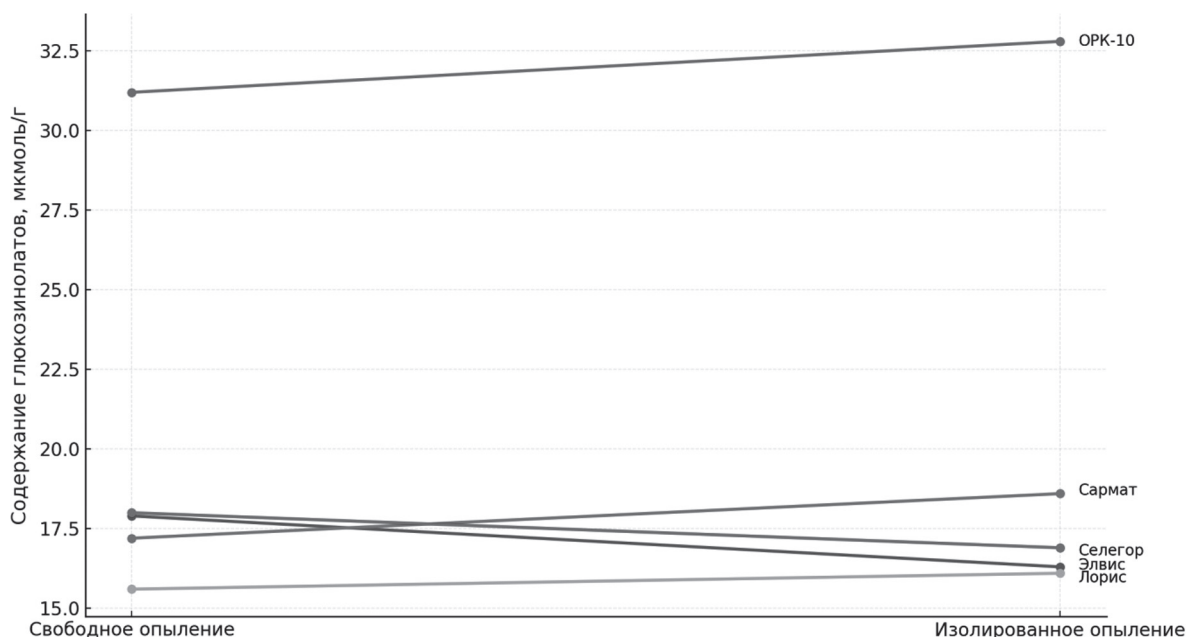
**Рис. 2.** Slope-графики влияния условий опыления на жирнокислотный состав в масле семян рапса озимого в 2022/2023 и 2023/2024 гг.  
**Fig. 2.** Slope-graph of the effect of pollination conditions on a fatty acid composition in winter rapeseed oil in 2022/2023 and 2023/2024.

Семена, завязавшиеся в условиях группового сетчатого изолятора, характеризовались несущественными изменениями содержания глюкозинолатов. У сортов Элвис и Селегор уровень серосодержащих веществ в закрытых условиях снизился на 1,6 и 1,1 мкмоль/г соответственно. На сортах Лорис и Сармат показатель увеличился на 0,5–1,4 мкмоль/г.

Линия восстановитель-фертильности ОРК-10 отличается максимальным значением данного признака по двум вариантам опыления. Дело в том, что гибридная

селекция во ВНИИМК ведется на основе системы ЦМС типа *Ogura*. Поэтому гены *Rf* интродуцированы в рапс из *Raphanus sativus* L., который содержит высокий уровень глюкозинолатов и присутствие его хромосомного материала часто оказывает негативное влияние на этот признак (Бочкарева и др., 2019).

У *Rf*-линии ОРК-10 количество глюкозинолатов под групповым сетчатым изолятором увеличивалось незначительно на 0,9 мкмоль/г (рис. 3).



**Рис. 3.** Содержание глюкозинолатов в семенах рапса озимого в зависимости от условий опыления 2022/2023 и 2023/2024 гг.

**Fig. 3.** Amount of glucosinolates in winter rapeseed depending on pollination conditions in 2022/2023 and 2023/2024

Семена, сформированные в условиях группового сетчатого изолятора и при открытом опылении, оценивали на заражённость патогенами. На

семядольных листочках зафиксировано развитие альтернариоза (табл. 1).

**Таблица 1.** Лабораторная всхожесть и степень поражения семян альтернариозом в различных условиях цветения за 2022/2023 и 2023/2024 гг.

**Table 1.** Laboratory germination and seed damage by *Alternaria* under different flowering conditions in 2022/2023 and 2023/2024

Сорт, линия	Тип опыления	Лабораторная всхожесть, %	Степень поражения альтернариозом ( <i>Alternaria brassicicola</i> (Schw.) Wilts.), %
Элвис	изолированное опыление	77,7	21,2
	свободное опыление	97,3	7,9
Лорис	изолированное опыление	80,1	16,9
	свободное опыление	98,0	7,0
Сармат	изолированное опыление	81,1	15,7
	свободное опыление	97,5	6,6
Селегор	изолированное опыление	81,7	14,8
	свободное опыление	98,3	6,4
ОРК-10	изолированное опыление	80,7	18,3
	свободное опыление	96,7	6,0

В вариантах, где семена завязались в условиях группового сетчатого изолятора, пораженных альтернариозом проростков, наблюдалось в 2,6 раза больше (в среднем 17,4 % к 6,8 % от свободного цветения) вследствие чего произошло достоверное

снижение лабораторной всхожести (в среднем 80,3 %, к 97,6 % от свободного цветения). Наиболее чувствительнее к условиям изоляции был сорт Элвис (табл. 1, рис. 4).

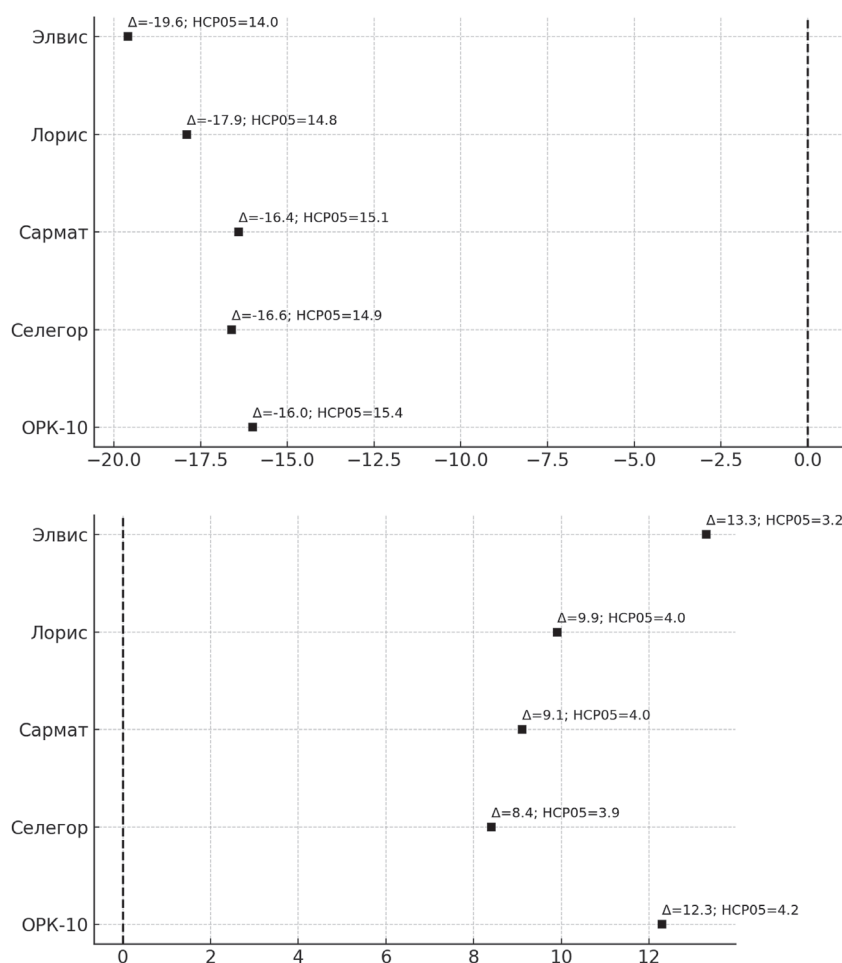


Рис 4. Forest plot: эффект изолированного опыления на посевные характеристики семян, 2022/2023 и 2023/2024 гг.

Fig. 4. Forest plot: the effect of isolated pollination on seed sowing characteristics, 2022/2023 and 2023/2024

Примечание. Δ – изолированное и свободное опыление (в % соотношении); по лабораторной всхожести все Δ отрицательны (изолированное опыление снижает всхожесть); по поражённости альтернариозом Δ положительны (изолированное опыление повышает поражённость). ■ = значимо ( $|\Delta| > \text{НСР}_{05}$ ), ○ = незначимо.

Наблюдения и учеты на изучаемых сортах и линии рапса озимого показывают, что слабая проветриваемость внутри группового изолятора сопровождается, как правило, созданием микроклимата благоприятного для развития грибных болезней, особенно для грибов рода *Alternaria* spp., *Leptosphaeria maculans* (Lib.) de Bary, *Sclerotinia sclerotiorum* (Desm.) Ces and de Not.

Опыление озимого рапса в условиях группового сетчатого изолятора приводило к существенному снижению лабораторной всхожести семян по сравнению с условиями свободного опыления это связано с более высокой степенью заражённости возбудителем *Alternaria brassicicola* (Schw.) Wilts.),

**Выводы.** Семена рапса озимого, полученные в результате опыления и начального формирования в условиях группового сетчатого изолятора, характеризовались достоверно сниженной на 1,4–2,6 %

масличностью и повышенным на 0,2–0,6 % уровнем линоленовой кислоты в масле семян. Наблюдалось незначительное изменение уровня глюкозинолатов в семенах, олеиновой и линолевой кислот.

В условиях группового сетчатого изолятора семена растений продемонстрировали существенное снижение лабораторной всхожести на 10,6 % и более высокое поражение альтернариозом на 17,3 % в сравнении со свободным опылением. Значительная провокация развития патогена произошла по причине благоприятного (слабое проветривание и повышенная влажность) для него микроклимата внутри изолятора.

**Финансирование.** Исследования выполнены согласно двум государственным тематикам Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRU-2024-0006 и FGRU-2024-0003.

## Библиографический список

1. Бочкарева Э. Б., Горлова Л. А., Сердюк В. В., Стрельников Е. А. Селекция инбредных линий рапса озимого для создания родительских форм гибридов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. 180 (4). С. 121–125. DOI:10.30901/2227-8834-2019-4-121-125
2. Голова А. А. Наследование признака высокого содержания олеиновой кислоты в масле семян  $F_2$  и поколения  $BC_1$  рапса озимого (*Brassica napus* L.) // Масличные культуры. 2023. Вып. 2 (194). С. 28–33. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-28-33
3. Гриднев А. К. Биологические особенности размножения подсолнечника в селекции и семеноводстве. Краснодар: Просвящение-Юг, 2023. 137 с.
4. Ефименко С. Г., Ефименко С. К., Усатенко Л. О. Определение содержания масла и основных жирных кислот семян рапса озимого с помощью ИК-спектроскопии // Масличные культуры. 2023. Вып. 2 (194). С. 40–50. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-40-50
5. Рензязева Т. М., Рензязев А. О., Кравченко С. Н., Резниченко И. Ю. Потенциал рапсовых жмыхов в качестве сырья пищевого назначения // ХИПС. 2020. №2. С. 143–160. DOI:10.36107/spfp.2020.213
6. Сердюк О. А., Трубина В. С., Горлова Л. А. Методы выделения патогенов из растений капустных культур // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конференции. 2019. С. 71–76
7. Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2025. 29 с.
8. Harmanto H. J., Salokhe V. M. Influence of Insect Screens with Different Mesh Sizes on Ventilation Rate and Microclimate of Greenhouses in the Humid Tropics // Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. 2006. Vol. 8, P. 1–18
9. Wang M. Study on Key Parameters of Numerical Simulation of Wind Reduction Effect of Windbreak // Master's Thesis, Dalian University of Technology. 2020. P. 45–46
10. Wen J., Ning S., Wei X., Guo W., Sun W., Zhang T., Wang L. The impact of insect-proof screen on microclimate, reference evapotranspiration and growth of Chinese flowering cabbage in arid and semi-arid region // Horticulturae 2022. № 8, 704. P. 1–19. DOI:10.3390/horticulturae8080704.

## References

1. Bochkareva E. B., Gorlova L. A., Serdyuk V. V., Strel'nikov E. A. Seleksiya inbrednykh linii rapsa ozimogo dlya sozdaniya roditel'skikh form gibridov [Breeding of inbred winter rapeseed lines to develop parental hybrid forms] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2019. 180 (4). S. 121–125. DOI:10.30901/2227-8834-2019-4-121-125
2. Golova A. A. Nasledovanie priznaka vysokogo soderzhaniya oleinovoï kisloty v masle semyan  $F_2$  i pokoleniya  $BC_1$  rapsa ozimogo (*Brassica napus* L.) [Inheritance of the high oleic acid content trait in the oil of  $F_2$  and  $BC_1$  generations of winter rapeseed (*Brassica napus* L.)] // Maslichnye kul'tury. 2023. Vyp. 2 (194). S. 28–33. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-28-33
3. Gridnev A. K. Biologicheskie osobennosti razmnozheniya podsolnechnika v seleksii i semenovodstve [Biological features of sunflower propagation in breeding and seed production]. Krasnodar: Prosvyashchenie-Yug, 2023. 137 s.
4. Efimenko S. G., Efimenko S. K., Usatenko L. O. Opredelenie soderzhaniya masla i osnovnykh zhirnykh kislot semyan rapsa ozimogo s pomoshch'yu IK-spektrometrii [Identification of oil content and essential fatty acids in winter rapeseed using IR-spectrometry] // Maslichnye kul'tury. 2023. Vyp. 2 (194). S. 40–50. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-40-50
5. Renzyaeva T. M., Renzyaev A. O., Kravchenko S. N., Reznichenko I. Yu. Potentsial rapsovykh zhmykhov v kachestve syr'ya pishchevogo naznacheniya [Potential of rapeseed cake as a food raw material] // KhIPS. 2020. №2. S. 143–160. DOI:10.36107/spfp.2020.213
6. Serdyuk O. A., Trubina V. S., Gorlova L. A. Metody vydeleniya patogenov iz rastenii kapustnykh kul'tur [Methods for isolating pathogens from cole crops] // Itogi i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa : sb. st. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii. 2019. S. 71–76
7. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service (Rosstat)], 2025. 29 s.
8. Harmanto H. J., Salokhe V. M. Influence of Insect Screens with Different Mesh Sizes on Ventilation Rate and Microclimate of Greenhouses in the Humid Tropics // Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. 2006. Vol. 8, P. 1–18
9. Wang M. Study on Key Parameters of Numerical Simulation of Wind Reduction Effect of Windbreak // Master's Thesis, Dalian University of Technology. 2020. P. 45–46
10. Wen J., Ning S., Wei X., Guo W., Sun W., Zhang T., Wang L. The impact of insect-proof screen on microclimate, reference evapotranspiration and growth of Chinese flowering cabbage in arid and semi-arid region // Horticulturae 2022. № 8, 704. P. 1–19. DOI:10.3390/horticulturae8080704.

Поступила: 11.11.25; доработана после рецензирования: 24.02.26; принята к публикации: 04.03.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Пирогова Е. А. – выполнение полевых опытов, сбор данных, концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Ефименко С. Г. – биохимический анализ данных; Горлова Л. А. – общее научное руководство, концептуализация исследований, критический анализ текста, финальная доработка текста.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## УРОЖАЙНОСТЬ И СЕМЕННЫЕ КАЧЕСТВА СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ПЕРВИЧНЫХ ЗВЕНЬЯХ СЕМЕНОВОДСТВА

**Г.А. Филенко**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства, g.filenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4271-0003;

**Ю.Г. Скворцова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-1490-2422;

**Н.В. Калинина**, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189.

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Качество, получаемого в сельском хозяйстве урожая, во многом зависит от правильно выбранного сортового состава и используемой зональной технологии возделывания. Известно, что современные сорта озимой мягкой пшеницы, обладающие высокими посевными качествами и соответствующие нормативам ГОСТа 52325-2005, могут формировать высокую урожайность. В условиях Ростовской области при выращивании оригинальных семян озимой мягкой пшеницы в первичном семеноводстве широко используют индивидуально-семейственный метод отбора с двухгодичной оценкой потомств. Объектами исследовательской работы являлись пять сортов озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа зерноградской селекции: Станичная, Аскет, Лидия, Краса Дона и Ермак. Цель исследований – оценка урожайности и семенных качеств сортов озимой мягкой пшеницы в первичных звеньях семеноводства. Выяснено, что для формирования питомников испытания потомств первого года (ПИП-1) было подготовлено от 1300 до 1900 элитных колосьев. В питомниках испытания потомств первого года (ПИП-1) было высеяно от 960 семей (2022/23г) до 1100 семей в (2023/24г), а в питомниках испытания потомств 2-го года (ПИП-2) от 450 семей (2023/24г) до 675 семей (2022/23г). Установлено, что за период исследований в питомниках размножения наиболее продуктивными были сорта озимой мягкой пшеницы: Станичная и Лидия. Выявлено, что объем полученных кондиционных оригинальных семян, варьировал от 63590 кг (2022/23 г) до 74690 кг (2023/24 г). По основным посевным и сортовым показателям (сортовая чистота, чистота семян, влажность, жизнеспособность и всхожесть) посевной материал у всех сортов озимой мягкой пшеницы соответствовал ГОСТу.

**Ключевые слова:** пшеница, сорт, семена, продуктивность, масса 1000 зерен, выход семян.

**Для цитирования:** Урожайность и семенные качества сортов озимой мягкой пшеницы в первичных звеньях семеноводства. Г.А. Филенко, Ю.Г. Скворцова // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, №2. С. 43-49, DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-43-49



## PRODUCTIVITY AND SEED QUALITY OF WINTER COMMON WHEAT VARIETIES IN THE PRIMARY STAGES OF SEED PRODUCTION

**G.A. Filenko**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for primary seed production, g.filenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4271-0003;

**Yu.G. Skvortsova**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for primary seed production, ORCID ID: 0000-0002-1490-2422;

**N.V. Kalinina**, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189.

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

The quality of agricultural crops depends largely on the correct selection of varieties and the use of zonal cultivation technology. It is known that modern common winter wheat varieties with high sowing qualities and meeting standards of GOST 52325-2005 can provide large productivity. In the Rostov region, individual-family selection with a two-year progeny evaluation is widely used to grow original winter common wheat seeds in primary seed production. The subjects of the current study were five semi-intensive winter common wheat varieties Stanichnaya, Asket, Lidiya, Krasa Dona, and Ermak bred in Zernograd. The purpose of the current study was to estimate productivity and seed quality of winter common wheat varieties in primary seed production. There has been found that between 1,300 and 1,900 basic ears were prepared to establish nurseries for first-year progeny testing (PTN-1). In the first-year progeny testing nurseries (PTN-1), between 960 families (in 2022/23) and 1,100 families (in 2023/24) were sown, and in the second-year progeny testing nurseries (PTN-2), between 450 families (in 2023/24) and 675 families (in 2022/23) were sown. There has been established that during the study period in the nurseries, the most productive winter common wheat varieties were Stanichnaya and Lidiya. There has been found that high-quality original seed productivity varied from 63,590 kg (in 2022/23) to 74,690 kg (in 2023/24). All winter common wheat varieties met GOST standards according to key sowing and varietal parameters, namely varietal purity, seed purity, moisture content, viability, and germination.

**Keywords:** wheat, variety, seeds, productivity, 1000-grain weight, seed yield.

**Введение.** Стабильное производство высококачественных семян пшеницы в большей степени зависит от уровня организации первичного семеноводства, т.е. от системы мероприятий по сохранению сортовых качеств, выращиванию семян высоких посевных кондиций, размножению их в необходимых количествах, хранению и до контроля за их качеством. Основным моментом рационально организованного семеноводства является высокая сортовая чистота семян и сохранение всех хозяйственно-ценных признаков и свойств, свойственных данному сорту (Есаулов и др., Zheng Z. et al., 2020). Качественные семена должны в полной мере соответствовать нормативам стандарта на сортовые и посевные качества - это неперемное условие, которое обеспечивается необходимой технологий семеноводства. Уровень урожайности во многом определяют посевной материал, и чем лучше он будет, выше будут элементы продуктивности, которые повышаются с внедрением новых и перспективных сортов, а также достигается за счет оптимальной сортовой мозаики, агротехники и хорошо организованного семеноводства (Кривошеев, 2024; Simioniuc et al, 2024). Качество оригинальных семян в значительной степени определяет ценность семян последующих репродукций, которые используются в хозяйствах для выращивания элитных семян. Высокие сортовые и посевные качества семян нельзя сохранять и поддерживать длительное время без правильно организованного первичного семеноводства (Abys Ch. et al., 2022; Simioniuc et al., 2024). Объективно существующие причины ухудшения сортов озимой мягкой пшеницы в процессе репродукции обязывают производителей оригинальных семян воспроизводить периодически сорта (Шпилев и др., 2022).

Цель исследований – оценка урожайности и семенных качеств сортов озимой мягкой пшеницы в первичных звеньях семеноводства.

**Материалы и методы исследований.** Исследования по первичному семеноводству сортов пшеницы озимой осуществлялись согласно «Методических рекомендаций по производству семян элиты зерновых, зернобобовых и крупяных культур,

1990» и ГОСТам. Объектом исследований были пять сортов озимой мягкой пшеницы селекции «Аграрного научного центра «Донской», включенные в Госреестр селекционных достижений РФ: Станичная, Аскет, Лидия, Ермак и Краса Дона. Почвенный покров был представлен черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым с содержанием гумуса не более 3,0-3,2%; фосфора - 20,0; калия - 360 мг/кг, pH - 7,0. Посев осуществлялся в оптимальные агротехнические сроки – в первой декаде октября. Предшественником озимой мягкой пшеницы во все годы исследований был черный пар. Питомник испытания потомств второго года (ПИП-2) высевали сеялкой «Деметра» (площадь делянки – 10 м<sup>2</sup>), а питомники размножения оригинальных семян ОС(ПР-1) сеялкой «Amazon D9 Special» на площади от 3,0 до 5,0 га. Посев, уход и уборку проводили по общепринятой технологии возделывания для региона. Уборку делянок осуществляли в период полного созревания селекционным комбайном Wintersteiner Classik и Sampo Rosenlew Comia. Очистку семенного материала озимой пшеницы осуществляли на семяочистительной машине Petkus K 531 и CM 0,15M.

Метеорологические условия в 2022-2024 гг. в период вегетации озимой мягкой пшеницы были контрастными. Сумма осадков за этот период составила: 2021/22 г. - 609,2 мм; 2022/23 г. - 580,3 мм и 2023/24 г. - 496 мм. Среднесуточная температура воздуха период вегетации варьировала от 11,6-11,8 С, что превышало на 1,9-2,1°С среднемноголетние значения. Гидротермический коэффициент - от 0,64 до 1,66. По температурному режиму и влагообеспеченности 2021/22г. можно был засушливый, 2022/23 г. - как сильно-увлажненный, 2023/24 г. - как сильно-засушливый.

**Результаты и их обсуждение.** Продолжением селекционного процесса является первичное семеноводство ключевой задачей, которого является сохранение генотипа сорта, сортовой чистоты и его типичности. В зависимости от потребности в семенах и их коэффициента размножения на семеноводческих посевах сортов (Ермак, Станичная, Аскет, Лидия и Краса Дона) были отобраны исходные типичные растения с целыми крупными колосьями в 2021/22 г. - 1300 шт., в 2022/23 г - 1640 шт., в 2023/24 г - 1900 шт. (табл. 1).

**Таблица 1. Объем отбора элитных колосьев озимой мягкой пшеницы, шт., (2022-2024г)**  
**Table 1. Selection volume of basic winter common wheat ears, pcs., (2022-2024)**

Годы	Сорт					
	Ермак	Станичная	Аскет	Лидия	Краса Дона	Всего по культуре
2021/22	230	250	320	260	240	1300
2022/23	320	340	370	330	280	1640
2023/24	430	390	350	330	400	1900

Площадь возделывания озимой мягкой пшеницы за годы исследований изменялась от 15,0 до 19,5 га. В ПИП-1 было посеяно следующее количество делянок:

2021/22 г. – 1090 шт., в 2022/23 г. - 960 шт., в 2023/24 г. - 1100 шт., а в ПИП-2 в 2021/22 г. – 585 шт., в 2022/23 г. - 675 шт., в 2023/24 г. - 450 шт. (табл. 2).

Таблица 2. Распределение семей и площади посева сортов озимой мягкой пшеницы в схеме выращивания оригинальных семян (2022-2024 г)

Table 2. Distribution of families and sowing areas of winter common wheat varieties in the original seed cultivation scheme (2022-2024)

Название сорта	Площадь, га ОС (ПР-1)	Количество семей в питомниках испытания потомств				Всего: ОС (ПР-1), ПИП-1 и ПИП-2	
		ПИП-1		ПИП-2		семей, шт.	площ., га
		семей, шт.	площ., га	семей, шт.	площ., га		
2021/22 г							
Ермак	2,0	200	0,06	90	0,25	290	2,31
Станичная	3,5	190	0,05	135	0,35	325	3,90
Аскет	5,0	250	0,06	135	0,35	385	5,41
Лидия	4,0	230	0,07	135	0,35	366	4,42
Краса Дона	3,0	220	0,06	90	0,35	310	3,41
<b>Всего</b>	<b>17,5</b>	<b>1090</b>	<b>0,30</b>	<b>585</b>	<b>1,70</b>	<b>1676</b>	<b>19,5</b>
2022/23 г							
Ермак	2,5	180	0,04	135	0,35	315	2,91
Станичная	4,0	200	0,05	135	0,35	335	4,40
Аскет	4,0	170	0,05	135	0,35	305	4,40
Лидия	5,0	230	0,06	135	0,35	365	5,41
Краса Дона	2,0	180	0,05	135	0,35	315	2,40
<b>Всего</b>	<b>17,5</b>	<b>960</b>	<b>0,25</b>	<b>675</b>	<b>1,75</b>	<b>1635</b>	<b>19,5</b>
2023/24 г							
Ермак	2,5	210	0,06	90	0,25	300	2,81
Станичная	3,0	220	0,06	90	0,25	310	3,31
Аскет	3,0	250	0,07	90	0,25	340	3,32
Лидия	3,0	200	0,06	90	0,25	290	3,31
Краса Дона	2,0	220	0,06	90	0,25	310	2,31
<b>Всего</b>	<b>13,5</b>	<b>1100</b>	<b>0,25</b>	<b>450</b>	<b>1,25</b>	<b>1550</b>	<b>15,0</b>

В питомнике испытания потомств второго года (ПИП-2) возделывалось пять сортов озимой мягкой пшеницы (Ермак, Аскет, Станичная, Лидия, Краса Дона). Валовой сбор зерна варьировал в пределах от 3260 до 5100 кг. Получено семян: в 2021/22 гг. - 3470 кг; в 2022/23 г - 4260 кг; в 2023/24 гг. - 2505 кг. Средняя урожайность была на уровне от 7,3 до 10,0 т/га. Значение показателя масса 1000 зерен в исследованиях изменялось по годам от 41,8 г (2022/23 г) до 46,2 г (2023/24 г). Выход кондиционных семян в среднем составил 75,9...83,6%.

В 2021/22 году, при благоприятных условиях, максимальная урожайность была получена по сортам: Ермак (11,5 т/га), Станичная (10,1 т/га), Краса Дона (9,9 т/га), Лидия (9,8 т/га) и Аскет (8,8 т/га). По массе 1000 семян выделились такие сорта, как Станичная и Аскет (45,8 г), Лидия (44,8 г), Краса Дона (44,6 г), Ермак (43,8 г). Выход кондиционных семян изменялся от 73,3% у сорта Аскет до 79,5% у сорта Лидия, у остальных сортов, данный показатель, находился в пределах от 74,3-76,6%.

В 2022/23 году налив зерна проходил в сложных климатических условиях, отмечалось полегание посевов и стекание зерна, что впоследствии сильно отразилось на массе 1000 семян, и в конечном счете, на урожайности всех возделываемых сортов. Было получено 4260 кг высококачественных и чистосортных семян. Урожайность, превышающая 8,0 т/га, сформировалась у следующих сортов: Станичная

(8,6 т/га) и Аскет (8,1 т/га); менее 8,0 т/га у сортов: Ермак и Краса Дона (7,9 т/га), Лидия (7,8 т/га). Максимальная масса 1000 семян прослеживалась у сорта Лидия (44,0 г), Станичная и Краса Дона (42,5 г), Ермак (40,4 г) и Аскет (39,7 г). Высокий выход кондиционных семян был получен у сортов Станичная (86,3%), Лидия (84,6%), Ермак (83,2%); минимальный у сортов Краса Дона (82,9%) и Аскет (80,9%).

В 2023/24 году, в данном питомнике, часть сортов озимой мягкой пшеницы, была повреждена возвратными майскими заморозками и вследствие этого их продуктивность была на 15% ниже, чем в предыдущие годы. Тем не менее, валовой сбор составил около 3260 кг, семян было получено 2505 кг, выход кондиционных семян находился в среднем на уровне 76,6%, при средней массе 1000 семян - 46,2 г. Максимальная урожайность проявилась у следующих сортов: Аскет (8,5 т/га), Краса Дона (7,8 т/га), Лидия (7,3 т/га). У сортов Ермак и Станичная, которые были повреждены весенними заморозками, отмечалась самая низкая урожайность (6,8 и 6,3 т/га). Наибольшая масса 1000 семян сформировалась у таких сортов, как Лидия (48,3 г), Краса Дона (48,0 г), Ермак (46,4 г); наименьшая – у сортов Станичная (44,9 г) и Аскет (43,4 г). Выход кондиционных семян колебался в пределах от 73,6 (Краса Дона) до 80,4% (Аскет) (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность и семенные качества сортов озимой пшеницы в питомнике испытаний потомств второго года (ПИП - 2) (2022-2024 гг.)

Table 3. Productivity and seed quality of winter wheat varieties in the second-year progeny testing nursery (PTN-2) (2022-2024)

Название сорта	Наименование показателей				
	Валовый сбор, кг	Получено семян, кг	Урожайность, т/га	Масса 1000 семян, г	Выход кондиционных семян, %
2021/22 г					
Ермак	700	520	11,5	43,8	74,3
Станичная	940	720	10,1	45,8	76,6
Аскет	1020	750	8,8	45,8	73,3
Лидия	1120	890	9,8	44,8	79,5
Краса Дона	780	590	9,9	44,6	75,6
Итого/ $\bar{x}$	4560	3470	10,0	44,9	75,9
$\sigma$			1,0	0,9	2,4
V, %			9,7	1,9	3,1
2022/23 г					
Ермак	1070	890	7,9	40,4	83,2
Станичная	950	820	8,6	42,5	86,3
Аскет	1050	850	8,1	39,7	80,9
Лидия	980	830	7,8	44,0	84,6
Краса Дона	1050	870	7,9	42,5	82,9
Итого/ $\bar{x}$	5100	4260	8,1	41,8	83,6
$\sigma$			0,3	1,7	2,0
V, %			4,0	4,2	2,4
2023/24 г					
Ермак	590	440	6,8	46,4	74,6
Станичная	630	470	6,3	44,9	74,6
Аскет	750	600	8,5	43,4	80,4
Лидия	650	520	7,3	48,3	80,0
Краса Дона	640	475	7,8	48,0	73,6
Итого/ $\bar{x}$	3260	2505	7,3	46,2	76,6
$\sigma$			0,9	2,1	3,3
V, %			11,7	4,5	4,3

Таким образом, было установлено, что в ПИП-2 в 2021/22 году превышение и снижение средней урожайности отмечалось по сортам Ермак (11,5 т/га) и Аскет (8,8 т/га). Масса 1000 семян по всем сортам находилась в пределах стандартного отклонения. Выход кондиционных семян был выше величины стандартного отклонения у сорта Лидия (79,5%) и ниже у сорта Аскет (73,3%). В 2022/23 году превышение над средней урожайностью было по сорту Станичная (+0,5 т/га). По массе 1000 семян проявлялось снижение у сорта Аскет (39,7г) и превышение – у сорта Лидия (44,0г) величины данного показателя над стандартным отклонением. Выход кондиционных семян выше величины стандартного отклонения и ниже её прослеживался по сортам Станичная и Аскет соответственно. В 2023/24 году отклонения урожайности ( $\sigma \pm 0,9$  т/га) от средней наблюдали по сортам Станичная (-1,0 т/га) и Аскет (+1,2 т/га). Масса 1000 семян находилась в пределах

стандартного отклонения, за исключением сорта Аскет, у которого отмечалось снижение от среднего значения (-2,8 г). Выход кондиционных семян, превышал величину стандартного отклонения по сортам Аскет (80,4%) и Лидия (80,0%). По остальным сортам ниже среднего значения.

Площадь, под питомниками размножения, за годы исследований составляла около 17,5 га, лишь в 2023/24 году она снизилась до 13,5 га, в которых ежегодно выращивали сорта: Ермак, Станичная, Аскет, Лидия и Краса Дона. Валовой сбор зерна имел следующие значения: в 2021/22 году – 102650 кг, в 2022/23 году - 79000 кг; в 2023/24 году - 93050 кг. Количество кондиционных семян за период с 2022 по 2024 года изменялось от 63590 кг до 74690 кг. В благоприятные годы урожайность находилась на уровне более 6,4 т/га, а в неблагоприятные годы - 4,6 т/га. Выход кондиционных семян варьировал от 71,4 до 80,3% (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность и семенные качества сортов озимой мягкой пшеницы в питомниках размножения ОС(ПР-1) (2022-2024 гг.)

Table 4. Productivity and seed quality of winter wheat varieties in the original seed propagation nurseries (PN-1) (2022-2024)

Наименование показателей	Название сортов					Итого/ $\bar{x}$	$\sigma$	V, %
	Станичная	Аскет	Лидия	Ермак	Краса Дона			
2021/22 г.								
Валовой сбор, кг	20650	28500	26400	10600	16500	102650		
Урожайность, т/га	5,9	5,7	6,6	5,3	5,5	5,8	0,5	8,6
Получено семян, кг	15200	20300	18480	7680	11500	73160		
Выход кондиционных семян, %	73,6	71,2	70,0	72,5	69,6	71,4	1,7	2,4
Масса 1000 семян, г	43,8	39,6	43,8	42,3	41,0	42,1	1,8	4,3
2022/23 г.								
Валовой сбор, кг	20400	18000	21500	10500	8600	79000		
Урожайность, т/га	5,1	4,5	4,3	4,2	4,3	4,6	0,4	8,1
Получено семян, кг	16300	14500	17620	8350	6820	63590	-	
Выход кондиционных семян, %	79,9	80,5	81,9	79,5	79,3	80,2	1,0	1,3
Масса 1000 семян, г	37,5	34,8	38,0	39,4	38,2	37,6	1,7	4,5
2023/24 г.								
Валовой сбор, кг	19800	25600	19500	15750	12400	93050		
Урожайность, т/га	6,6	6,4	6,5	6,3	6,2	6,4	0,2	2,5
Получено семян, кг	16270	20150	15820	12600	9850	74690	-	
Выход кондиционных семян, %	82,2	78,7	81,1	80,0	79,4	80,3	1,4	1,7
Масса 1000 семян, г	46,1	42,3	48,3	47,7	46,3	46,1	2,3	5,1

В 2021/22 году максимальную урожайность сформировали сорта: Лидия - 6,6 т/га и Станичная - 5,9 т/га; минимальная - у сортов Аскет - 5,7 т/га, Краса Дона - 5,5 т/га и Ермак - 5,3 т/га. Наибольшую массу 1000 семян (43,8 г) сформировали сорта Лидия и Станичная. Было получено следующее количество оригинальных семян: Аскет (20300 кг); Лидия (18480 кг), Станичная (15200 кг); Краса Дона (11500 кг); Ермак (7680 кг). Процент выхода кондиционных семян у сортов колебался в пределах от 69,6 до 73,6%.

В 2022/23 году сложились неблагоприятные климатические условия для возделывания озимой мягкой пшеницы, вследствие этого урожайность по сортам имела следующие значения: Станичная (5,1 т/га), Аскет (4,5 т/га), Краса Дона и Лидия (4,3 т/га) и Ермак (4,2 т/га). Наибольшее количество семян получено у сортов: Лидия (17620 кг), Станичная (16300 кг), Аскет (14500 кг); наименьшее у сортов Ермак (8350 кг) и Краса Дона (6820 кг). Масса 1000 семян у большинства семян находилась на уровне (38,0 г). В мае выпавшие обильные осадки в фазу «колошение – налив зерна» способствовали полеганию растений у сорта Аскет, вследствие этого зерно в колосе сформировались «щуплое» с низкой массой 1000 семян (34,8 г). Выход кондиционных семян был на уровне от 79,3 до 81,9%.

В 2023/24 году у всех выращиваемых сортов озимой мягкой пшеницы урожайность составила более 6,0 т/га с высокой массой 1000 семян (более 46,0 г). Максимальное количество семян получено,

по убыванию, у следующих сортов: Аскет (20150 кг), Станичная (16270 кг), Лидия (15820 кг), Ермак (12600 кг) и Краса Дона (9850 кг). Выход кондиционных семян варьировал от 78,7...82,2%.

При статистическом анализе урожайности и семенных качеств семян озимой пшеницы в питомнике размножения ОС(ПР-1) проведенном по величине стандартного отклонения было выявлено, что в 2021/22 году по сорту Лидия отмечалось превышение урожайности над средней урожайностью по всем сортам. Однако, наибольший выход кондиционных семян, превышающий среднее значение по сортам, отмечался у сорта Станичная (73,6%). Наименьшее значение выхода кондиционных семян и массы 1000 семян наблюдалось у сортов Краса Дона и Аскет. Данные показатели были ниже величины стандартного отклонения.

В 2022/23 году средняя урожайность по сортам была наименьшей в сравнении с предыдущими годами. Наибольшая урожайность прослеживалась по сорту Станичная (+0,5 т/га к средней урожайности, выше величины стандартного отклонения). Наибольший выход кондиционных семян, превышающий стандартное отклонение был у сорта Лидия и составил 81,9%. По показателю масса 1000 семян прослеживалось как снижение (Аскет), так и превышение (Ермак) значений.

В 2023/24 году средняя урожайность была наиболее высокой в пределах 6,4 т/га. Ни один сорт не превысил величину стандартного отклонения

(0,2 т/га). Наибольший выход кондиционных семян был у сорта Станичная (82,2%). Масса 1000 семян у сорта Аскет была значительно ниже средней (на 3,8 г), по остальным сортам значения показателя находились в пределах стандартного отклонения.

В годы исследований в питомниках размножения наиболее высокая урожайность отмечалась в 2021/22 и 2023/24 годах, где коэффициент вариации находился на уровне 8,6 и 2,5%. Наиболее низкая вариабельность, со значением коэффициента вариации 1,3-2,4%, была по показателю выход кондиционных семян. Изменчивость

показателя масса 1000 семян, была в узком интервале значений от 4,3% в 2021/22 году до 5,1% в 2023/24 году. Таким образом, низкая вариабельность урожайности зерна, выхода кондиционных семян и массы 1000 семян свидетельствуют о высокой адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы.

Семенной материал, исследуемых сортов озимой мягкой пшеницы, был проанализирован по ключевым показателям, определяющим их посевные свойства (табл. 5).

**Таблица 5. Посевные и сортовые качества семян озимой мягкой пшеницы в питомниках размножения ОС(ПР-1), (2022-2024 гг.)**

**Table 5. Sowing and varietal qualities of winter common wheat seeds in the original seed propagation nurseries (PN-1) (2022-2024)**

Наименование показателей	Название сортов					$\bar{x}$	$\sigma$	V, %
	Станичная	Аскет	Лидия	Ермак	Краса Дона			
2021/22 г								
Сортовая чистота, %	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,0	0	0,0
Чистота семян, %	99,0	99,8	99,9	99,5	99,7	99,6	0,4	0,4
Жизнеспособность, %	96,0	97,0	98,0	97,0	98,0	97,2	0,8	0,9
Всхожесть, %	95,0	96,8	97,8	96,5	97,7	96,8	1,1	1,2
Влажность, %	10,4	10,2	10,2	10,1	10,3	10,2	0,1	1,1
2022/23 г								
Сортовая чистота, %	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	0,0	0,0
Чистота семян, %	99,7	99,9	99,9	99,8	99,5	99,8	0,2	0,2
Жизнеспособность, %	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	0,0	0,0
Всхожесть, %	96,7	96,9	96,9	96,8	97,2	96,9	0,2	0,2
Влажность, %	10,2	10,2	10,0	10,0	10,1	10,1	0,1	1,0
2023/24 г								
Сортовая чистота, %	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	0,0	0,0
Чистота семян, %	99,9	99,8	99,5	99,6	99,7	99,7	0,2	0,2
Жизнеспособность, %	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	0,0	0,0
Всхожесть, %	98,9	97,8	98,5	98,6	98,7	98,5	0,4	0,4
Влажность, %	10,6	10,6	10,4	10,5	10,3	10,5	0,1	1,2

За годы исследований было установлено, что сортовая (видовая) чистота у всех сортов озимой мягкой пшеницы находилась на уровне 99,9%, чистота семян соответствовала требованиям, установленными ГОСТ Р 52325-2005 и варьировала от 99,6 до 99,8%. Жизнеспособность семян, данным ГОСТом не регламентируется, но является главным фактором, оказывающим влияние на посевные свойства и урожайность. Значение данного показателя изменялось от 97,0% (2021/22 г.) до 99,0% (2023/24). Влажность семян была на уровне 10,1...10,5%. Всхожесть семян у всех сортов полностью соответствовала требованиям стандарта (92%) и находилась на уровне 96,8...98,5%.

Анализ данных показал, что в 2021/22 году в питомниках размножения ОС (ПР-1) мягкой пшеницы у сорта Станичная отмечалось снижение показателей чистоты семян (99,0%), жизнеспособности (96,0%) и всхожести (95%) по сравнению с другими годами. В 2022/23 году основные сортовые и посевные качества семян находились в пределах статистической погрешности, за исключением сорта Станичная, у которого лабораторная всхожесть была ниже средней всхожести. В 2023/24 году по таким показателям, как сортовая чистота, чистота семян, жизнеспособность не было выявлено статистических различий, лишь у сортов Аскет и Краса Дона прослеживалось снижение по

показателям всхожесть и влажность. Вариабельность всех признаков качества семян в годы исследований была низкой.

**Выводы.** Объем полученных кондиционных семян данных сортов в питомниках размножения за период с 2022-2024 гг. варьировал от 63590 до 74690 кг. Показатели средней урожайности, в благоприятные годы находилась на уровне более 6,4 т/га, а в неблагоприятные годы - 4,6 т/га. Наибольшая средняя масса 1000 семян отмечалась в 2023/24 гг. – 46,1 г; наименьшая в 2022/23 году - 37,6 г, при этом выход кондиционных семян в среднем был на уровне от 71,4 до 80,3%. Максимальной продуктивностью характеризовались сорта озимой мягкой пшеницы: Станичная и Лидия. По основным посевным и сортовым показателям (сортовая чистота, чистота семян, влажность, жизнеспособность и всхожесть) полученные оригинальные семена озимой мягкой пшеницы соответствовали ГОСТУ. Таким образом, для проведения своевременного сортообновления необходимо осуществлять дальнейшее репродуцирование семенного материала сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ Донской», применение которых будет способствовать росту обеспеченности высококачественным посевным материалом сельскохозяйственных производителей.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет средств Государственного задания FNFN - 2025-0009.

**Библиографический список**

1. Есаулова Л.В., Лыско И.А. Анализ состояния отрасли рисоводства Краснодарского края // Рисоводство. 2022. № 3 (56). С. 6-10. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-56-3-6-10
2. Кривошеев С.И., Шумаков В.А. Технология возделывания целым колосом в первичном семеноводстве озимой пшеницы в условиях Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 5. С. 608-612. DOI:10.55186/25876740\_2024\_67\_5\_608
3. Шпилев Н.С., Ториков В.Е., Сычёв С.М., Лебедько Л.В., Сычёва И.В. Инновации в селекционно-семеноводческом процессе зерновых культур // Аграрная наука. 2022. № 9. С. 92-97. DOI:10.32634/0869-8155-2022-362-9-92-97
4. Abys Ch., Skakun S., Becker-Reshef I. The rise and volatility of russian winter wheat production //Environmental Research Communications. 2022. Vol. 4, № 10. S. 101003
5. Simioniuc V., Sârbu T.E., Gabur Iu., Crețu L.E., Simioniuc D.P. Study of the influence of cultivar and biological seed category on WINTER WHEAT PRODUCTION// Romanian Agricultural Research. 2024. Vol. 41, S. 381-385
6. Zheng Z., Hoogenboom G., Cai H., Wang Z. Winter wheat production on the guanzhong plain of northwest china under projected future climate with simclim //Agricultural Water Management. 2020. Vol. 239, S. 106233.

**References**

1. Esaulova L.V., Lysko I.A. Analiz sostoyaniya otrasli risovodstva Krasnodarskogo kraya [Analysis of the state of the rice production in the Krasnodar Territory]// Risovodstvo. 2022. № 3 (56). С. 6-10. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-56-3-6-10
2. Krivosheev S.I., Shumakov V.A. Tekhnologiya vzdelyvaniya tselym kolosom v pervichnom semenovodstve ozimoi pshenitsy v usloviyakh Kurskoi oblasti [Whole-ear cultivation technology in the primary winter wheat seed production in the Kursk region] // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2024. № 5. S. 608-612. DOI:10.55186/25876740\_2024\_67\_5\_608
3. Shpilev N.S., Torikov V.E., Sychev S.M., Lebed'ko L.V., Sycheva I.V. Innovatsii v seleksionno-semenovodcheskom protsesse zernovykh kul'tur [Innovations in grain crop breeding and seed production] // Agrarnaya nauka. 2022. № 9. S. 92-97. DOI:10.32634/0869-8155-2022-362-9-92-97
4. Abys Ch., Skakun S., Becker-Reshef I. The rise and volatility of Russian winter wheat production //Environmental Research Communications. 2022. Vol. 4, № 10. S. 101003
5. Simioniuc V., Sârbu T.E., Gabur Iu., Crețu L.E., Simioniuc D.P. Study of the influence of cultivar and biological seed category on WINTER WHEAT PRODUCTION// Romanian Agricultural Research. 2024. Vol. 41, S. 381-385
6. Zheng Z., Hoogenboom G., Cai H., Wang Z. Winter wheat production on the guanzhong plain of northwest china under projected future climate with simclim //Agricultural Water Management. 2020. Vol. 239, S. 106233.

Поступила: 12.11.25; доработана после рецензирования: 16.02.26; принята к публикации: 19.02.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Скворцова Ю.Г. - концептуализация исследования, выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных анализ данных и их интерпретация; Филенко Г.А, Калинина Н.В. - подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАННОЙ ЗАСУХИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ И УРОЖАЙНОСТЬ

**Е. Ю. Черпакова**, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915.

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В условиях изменяющегося климата участились длительные периоды без осадков, которые сменяются короткими, но сильными дождями, вынуждая растения развивать механизмы устойчивости к засухе. Последствия засухи оказывает влияние на физиологические параметры растительности: снижается содержание хлорофилла, падает интенсивность фотосинтеза, замедляется накопление биомассы, что в итоге приводит к уменьшению урожайности. Цель данного исследования заключается в изучении влияния условий выращивания на общую площадь листьев, содержание хлорофилла и урожайность ярового ячменя для выделения наиболее устойчивых к дефициту влаги сортов. В 2024–2025 гг. изучалось 36 коллекционных образцов ярового ячменя местной и инорайонной селекции в лаборатории клеточной селекции на вегетационной площадке с моделированием различных условий увлажнения. В работе изучено влияние моделируемой засухи на физиологические показатели (площадь листьев, фотосинтетический потенциал и содержание хлорофилла) и урожайность сортов ярового ячменя. Сорта Аркан, Богатырь, Леон, Магнит и Новик в условиях водного стресса продемонстрировали наибольшие значения площади листьев – 9,0–25,0 см<sup>2</sup>, фотосинтетического потенциала – 0,692–0,906 млн м<sup>2</sup>/дн. и содержания хлорофилла – (0,6–0,9 мг/100 г сырого вещества). В ходе исследования выявлены сорта Аркан (130,5 г/м<sup>2</sup> и 73,4%), Азимут (129,9 г/м<sup>2</sup> и 74,7%), Партнер (128,1 г/м<sup>2</sup> и 71,9%), Новик (125,5 г/м<sup>2</sup> и 63,2%), Леон (120,7 г/м<sup>2</sup> и 70,6%), Талер (119,7 г/м<sup>2</sup> и 65,2%) и Богатырь (116,8 г/м<sup>2</sup> и 49,3%) с максимальными значениями урожайности и минимальным снижением этого показателя к контролю. Установлены положительные корреляционные зависимости между показателями урожайности и величиной площади листьев в фазу молочной спелости ( $r = 0,33 \pm 0,16$ ), а также содержанием хлорофилла в периоды цветения и молочной спелости ( $r = 0,41 \pm 0,16$  и  $r = 0,27 \pm 0,17$  соответственно). Полученные результаты могут быть использованы в селекции на засухоустойчивость сортов ярового ячменя.

**Ключевые слова:** яровой ячмень, площадь листьев, хлорофилл, урожайность, засухоустойчивость.

**Для цитирования:** Черпакова Е. Ю. Оценка устойчивости коллекционных образцов ярового ячменя в условиях моделированной засухи на показатели фотосинтетической активности растений и урожайности // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, № 2 С. 50-56. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-50-56



## ESTIMATION OF COLLECTION SPRING BARLEY SAMPLES' RESISTANCE ON THE INDICATORS OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF PLANTS AND PRODUCTIVITY AT SIMULATED DROUGHT

**E.Yu. Cherpakova**, junior researcher of the laboratory for cell breeding, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915.

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

Climate change has led to more frequent long periods without precipitation, followed by short but heavy rainfalls, forcing plants to develop drought-resistant mechanisms. The consequences of drought affect the physiological parameters of vegetation, since chlorophyll content and the intensity of photosynthesis decrease, biomass accumulation slows down, which ultimately results in crop productivity decrease. The purpose of the current work was to study the effect of growing conditions on total leaf area, chlorophyll content and productivity of spring barley in order to identify the most moisture-tolerant varieties. In 2024–2025 there were studied 36 collection spring barley samples of domestic and foreign breeding in the laboratory for cell breeding on a vegetation plot under simulated moisture conditions. There has been studied the impact of simulated drought on physiological parameters (leaf area, photosynthetic potential, and chlorophyll content) and productivity of spring barley varieties. The varieties Arkan, Bogatyr, Leon, Magnit and Novik under water stress have demonstrated the highest leaf area of 9.0–25.0 cm<sup>2</sup>, photosynthetic potential of 0.692–0.906 million m<sup>2</sup>/day, and 0.6–0.9 mg of chlorophyll per 100 g of wet material. During the study, there have been identified such varieties as Arkan (130.5 g/m<sup>2</sup> and 73.4%), Azimut (129.9 g/m<sup>2</sup> and 74.7%), Partner (128.1 g/m<sup>2</sup> and 71.9%), Novik (125.5 g/m<sup>2</sup> and 63.2%), Leon (120.7 g/m<sup>2</sup> and 70.6%), Taler (119.7 g/m<sup>2</sup> and 65.2%) and Bogatyr (116.8 g/m<sup>2</sup> and 49.3%) with maximum values of productivity and a minimal decrease in this indicator compared to the control. There have been established positive

correlations between productivity indicators and leaf area at a milky ripeness stage ( $r = 0.33 \pm 0.16$ ), as well as chlorophyll content during a flowering period and a milky ripeness stage ( $r = 0.41 \pm 0.16$  and  $r = 0.27 \pm 0.17$ , respectively). The obtained results can be used in breeding drought-resistant spring barley varieties.

**Keywords:** spring barley, leaf area, chlorophyll, productivity, drought resistance.

**Введение.** Яровой ячмень играет значительную роль в современной сельскохозяйственной практике, оказывая положительное воздействие как на экономику, так и на окружающую среду, что подчёркивает его важность для продовольственной безопасности и устойчивого развития отрасли (Николаев, 2023). Будущие перспективы возделывания ярового ячменя представляются перспективными благодаря его адаптивным способностям к изменяющимся климатическим условиям и эффективному использованию минимальных ресурсов (Lammas and Shitikova, 2024).

Основой урожайности растений выступает фотосинтез – комплексный физиологический процесс, обеспечивающий рост и развитие растений путём синтеза углеводов, а также воздействующий на формирование органов и накопление полезных веществ, адаптируясь к изменению окружающих условий и состоянию самого растения (Козлова и Атипова, 2013).

Интенсивность и эффективность фотосинтеза определяют высокий уровень продуктивности растений, включая перемещение продуктов ассимиляции, динамику роста и старение листьев и корневых систем (Бесалиев и Панфилов, 2023).

Показатели продуктивности фотосинтеза непосредственно связаны с площадью листовой поверхности и продолжительностью её активного функционирования (Дериглазова, 2023; Elakhdar et al., 2022).

Основным пигментом, ответственным за поглощение света в процессе фотосинтеза, является хлорофилл. Его исследование позволит глубже

понять механизмы преобразования световой энергии в химическую и повысить эффективность роста и развития растений (Панихина и др., 2022; Подласова и Новикова, 2024).

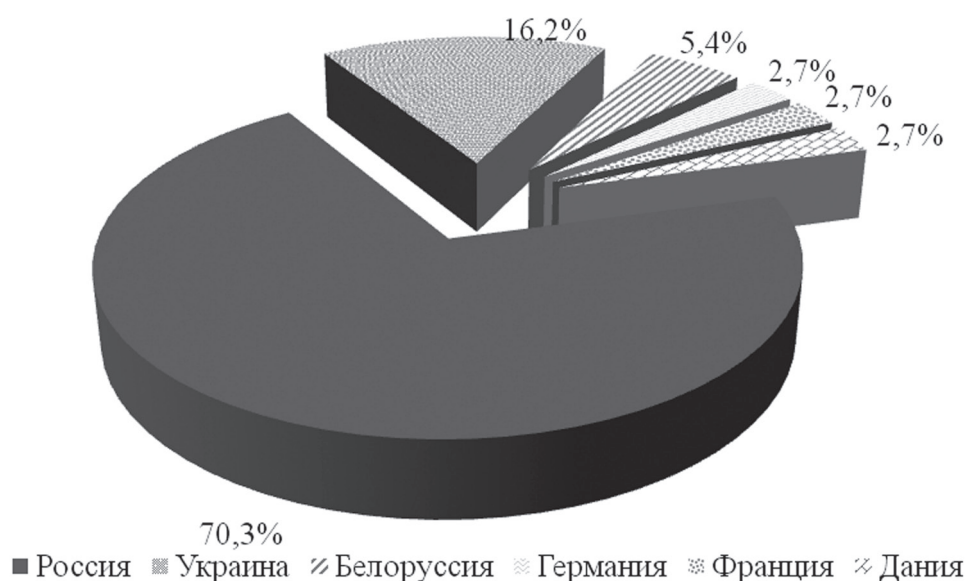
Хлорофилл выполняет важную и незаменимую роль в процессах передачи энергии в реакционных центрах фотосинтеза (Носкова и Лисицын, 2024). Содержание хлорофилла отражает общее состояние растительного организма и потенциал урожайности зерновых культур (Agief et al., 2023). Анализ параметров хлорофилла является эффективным инструментом оценки состояния внутренней структуры листа в процессе фотосинтеза.

По-прежнему актуальны исследования механизмов формирования урожая ячменя, зависящих от интенсивности физиологических процессов, главным образом, касающихся структуры и функционирования фотосинтетического аппарата.

Цель данного исследования заключается в изучении влияния условий выращивания на общую площадь листьев, содержание хлорофилла и урожайность ярового ячменя для выделения наиболее устойчивых к дефициту влаги сортов.

#### Материалы и методы исследований.

Исследования проводились в 2024–2025 гг. в лаборатории клеточной селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» на вегетационной площадке (засушник) с моделированием различных условий увлажнения (Маймистов, 1988). В качестве объекта исследования использовали 36 сортов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения (рис. 1). Стандартом являлся сорт Формат.



**Рис. 1.** Распределение сортов ярового ячменя по странам происхождения  
**Fig. 1.** Distribution of spring barley varieties by countries of origin

Вегетационный опыт проводили в деревянных стеллажах размером 2,0 × 4,0 × 0,7 м, установленных на металлическом каркасе и заполненных дерново-подзолистой почвой. Однометровые рядки засеивались с междурядьем – 0,15 м. Делянка 3 рядковая, площадью – 0,45 м<sup>2</sup>. Условия выращивания дифференцировали по фазам развития растений. Рост растений до фазы «выход в трубку» проходило в опыте и в контроле в идентичных условиях, с этой фазы и до «восковой спелости» в опыте создавали условия нарастающей засухи, а в контроле поддерживали полив. Моделирование засухи начинали путем прекращения полива и пленочным укрытием для защиты от атмосферных осадков без создания парникового эффекта. В течение вегетации проводили фенологические наблюдения согласно классификации, предложенной Ф.М. Куперман (1984) и модифицированной С. Н. Куликович и Е. Н. Куликович (2014). Уборку урожая осуществляли по мере созревания растений с последующим анализом всех образцов.

Для определения площади листьев и содержания хлорофилла отбирали по 10 растений каждого сорта в период прохождения ими основных фенофаз: выход в трубку, колошение, цветение и молочная спелость. Изучение площади листьев определяли по методу

Ничипоровича А. А. (1955) с расчётом по формуле:

$$S = a \cdot b \cdot k,$$

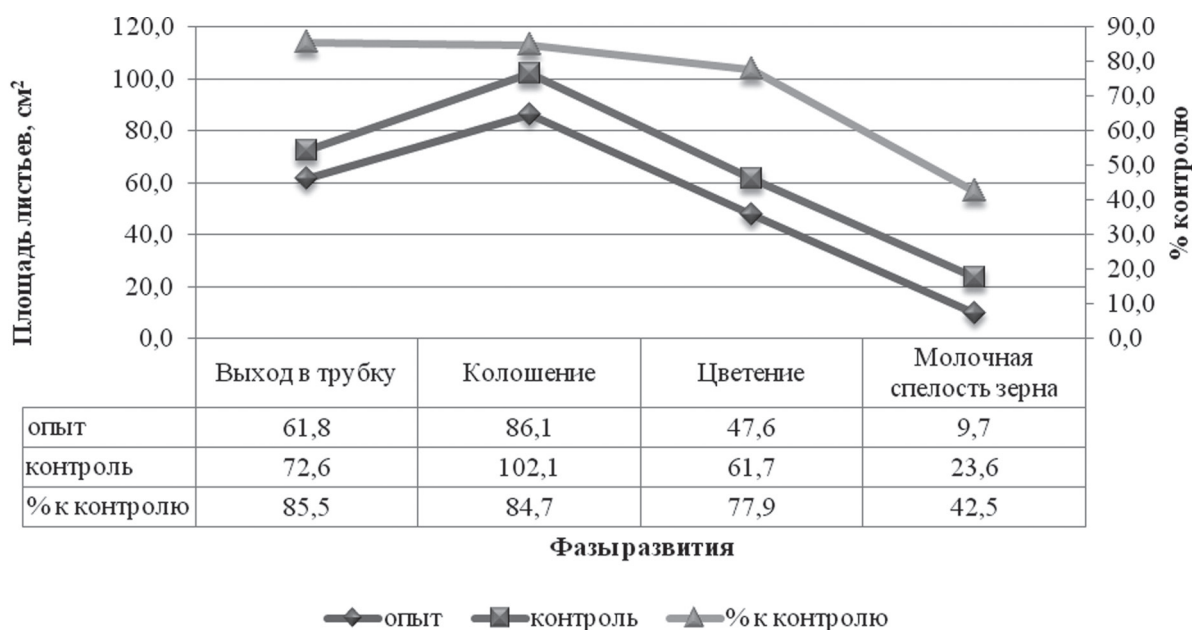
где  $a$  – длина листьев,  $b$  – ширина,  $k$  – коэффициент 0,65.

Содержание хлорофилла в листьях ярового ячменя определяли по методу Шматько И.Т. (1976).

Статистический анализ полученных результатов выполняли по методике Б. А. Доспехова (2014) с применением программного обеспечения Statistica 10 и Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Фотосинтез растений в реальных условиях обусловлен взаимосвязью ключевых факторов: интенсивности процесса фотосинтеза, площади листовой поверхности и длительности функционирования листьев различных ярусов растения (Панихина и др., 2022). Площадь и продолжительность работы ассимиляционной поверхности листьев сельскохозяйственных культур в условиях засухи имеют определяющее значение в формировании их урожайности.

Проведено исследование изменения динамики площади зелёных листьев главного стебля ярового ячменя в среднем по сортам в условиях различного уровня влагообеспеченности почвы, начиная с периодов выхода в трубку до молочной спелости (рис. 2).



**Рис. 2.** Динамика общей площади листьев при различных условиях выращивания образцов ярового ячменя, в среднем по сортам (2024–2025 гг.)

**Fig. 2.** Dynamics of total leaf area under different growing conditions for spring barley samples, a mean value among the varieties (2024–2025)

Полученные результаты демонстрируют наибольший прирост листовой поверхности в фазы выхода в трубку и колошения, как при водном стрессе (61,8 см и 86,1 см<sup>2</sup>), так и при оптимальном увлажнении (72,6 и 102,1 см<sup>2</sup>). К моменту фазы цветения её площадь сократилась до 47,6 см<sup>2</sup> в условиях засухи и до 61,7 см<sup>2</sup> в контроле, а к фазе молочной спелости снизилась до минимального значения в 9,7 см<sup>2</sup> (засуха) и 23,6 см<sup>2</sup> (контроль). Соотношение значений признака уменьшилось с 85,5 % до 42,5 %. Таким образом, в

обоих вариантах эксперимента (засуха и контроль) прослеживалась идентичная динамика листовой поверхности (сначала рост, затем снижение), однако абсолютные значения показателей различались, о чём свидетельствует почти параллельное расположение кривых на графике.

В таблице 1 представлены образцы коллекции ярового ячменя, показавшие достоверное превышение и на уровне стандарта по величине общей площади листьев главного побега по фазам вегетации растений.

Таблица 1. Выделившиеся образцы ярового ячменя по общей площади листьев главного побега (2024–2025 гг.)

Table 1. The spring barley varieties identified according to total leaf area of the main sprout (2024–2025)

№ п/п	Образцы	Фазы развития								
		Колошение			Цветение			Молочная спелость зерна		
		засуха	контроль	% к контролю	засуха	контроль	% к контролю	засуха	контроль	% к контролю
1	Формат, st	91,8	96,2	95,4	47,6	68,7	69,3	13,6	20,1	67,7
2	Леон	106,7	150,1	71,1	46,6	70,5	66,1	15,8	20,6	76,7
3	Аркан	102,4	106,2	96,4	54,7	71,2	76,8	25,0	27,7	90,3
4	Новик	106,5	109,9	96,9	60,6	73,7	82,2	13,3	24,9	53,4
5	Богатырь	123,3	143,3	86,0	66,2	70,9	93,4	18,5	25,7	72,0
6	Магнит	107,9	116,1	92,9	51,1	63,7	80,2	9,0	26,5	34,0
7	Икорец	88,3	111,0	79,5	49,1	74,1	66,3	15,2	20,8	73,1
8	Тамлык	81,2	105,6	76,9	35,2	70,3	50,1	16,9	20,4	82,8
9	Авгур	89,5	111,1	80,6	56,8	62,0	91,6	13,6	27,6	49,3
10	СВ 16-8001	103,9	134,2	77,4	59,9	78,6	76,2	3,1	22,2	14,0
	Стандартное отклонение	15,97	15,22	13,01	7,11	8,71	11,44	4,91	4,35	22,49

Общая площадь листовой поверхности главного побега в фазу колошения изменялась от 52,0 до 123,3 см<sup>2</sup> (засуха), от 82,1 до 150,1 см<sup>2</sup> (контроль). У сортов Богатырь (123,3 см<sup>2</sup> и 86,0%), Магнит (107,9 см<sup>2</sup> и 92,9%), Леон (106,7 см<sup>2</sup> и 71,1%) и Новик (106,5 см<sup>2</sup> и 96,9%) и Аркан (102,4 см<sup>2</sup> и 96,4%) отмечены максимальные величины площади листовой поверхности одного растения в фазу колошения в условиях засухи и минимальное снижение к контролю. Начиная с фазы цветения ассимилирующая поверхность сильно сокращалась за счет усыхания на растениях нижних листьев и составила 33,2–66,2 см<sup>2</sup> (засуха) и 46,6–78,6 см<sup>2</sup> (контроль). В фазу цветения наиболее высокие значения площади листьев в опыте и минимальное снижение к контролю отмечены у образцов Богатырь (66,2 см<sup>2</sup> и 93,4%), Новик (60,6 см<sup>2</sup> и 82,2%), СВ 16-8001 (59,9 см<sup>2</sup> и 76,2%), Авгур (56,8 см<sup>2</sup> и 91,6%), Аркан (54,7 см<sup>2</sup> и 76,8%) и Магнит (51,1 см<sup>2</sup> и 80,2%). Отмирание листьев продолжается до фазы молочной спелости, что негативно влияет на налив зерна. В этот период их площадь имела минимальные значения и находится в пределах 3,1–25,0 см<sup>2</sup> (опыт) и 13,7–31,0 см<sup>2</sup> (контроль).

Наибольшая величина площади листьев, а также

минимальное снижение этих значений в условиях засухи по сравнению с оптимальными отмечено у сортов Аркан (25,0 см<sup>2</sup> и 90,3%), Богатырь (18,5 см<sup>2</sup> и 72,0%), Тамлык (16,9 см<sup>2</sup> и 82,8%) и Леон (15,8 см<sup>2</sup> и 76,7%), что говорит о высокой адаптивности этих сортов к стрессовым условиям.

Площадь листьев оказывает непосредственное влияние на величину фотопотенциала растений ярового ячменя, определяя способность культуры эффективно использовать доступную солнечную энергию. Фотопотенциал отражает потенциальную продуктивность растений, зависящую не только от размера листового аппарата, но также от условий водоснабжения.

Фотосинтетический потенциал сортов ярового ячменя в среднем за годы исследования изменялся аналогично формированию листовой поверхности. В условиях засухи образцы сформировали фотосинтетический потенциал за период вегетации в диапазоне от 0,512 (Формат) до 0,906 млн. м<sup>2</sup>/дн. (Богатырь), тогда как в контроле этот показатель варьировал от 0,814 (Бадьорий) до 1,223 (Богатырь) (табл. 2).

Таблица 2. Фотосинтетический потенциал сортов ярового ячменя при различных условиях выращивания (2024–2025 гг.)

Table 2. Photosynthetic potential of spring barley varieties under different growing conditions (2024–2025)

№ п/п	Образец	Фотосинтетический потенциал, млн. м <sup>2</sup> /дн.		
		опыт	контроль	% к контролю
1	Формат, st	0,512	0,948	56,0
2	Леон	0,846	1,150	66,7
3	Аркан	0,692	1,048	70,2

Продолжение таблицы 2

4	Федос	0,767	0,965	76,4
5	Новик	0,833	1,018	75,4
6	Богатырь	0,906	1,223	69,2
7	Магнит	0,855	1,116	70,5
8	Степняк	0,695	0,892	73,7
9	Икорец	0,827	1,004	78,9
10	KWS Офелия	0,650	0,879	89,0
11	Авгур	0,794	1,007	79,1
12	Командир	0,827	0,960	85,1
13	Партнер	0,702	0,856	86,4
14	Аскольд	0,698	0,870	80,2
15	Бадьорий	0,521	0,814	70,7
	Стандартное отклонение	0,10	0,09	9,63

В целом за вегетацию наибольшая величина этого показателя отмечена у сортов Богатырь (0,906 млн. м<sup>2</sup>/дн.), Магнит (0,855 млн. м<sup>2</sup>/дн.), Леон (0,846 млн. м<sup>2</sup>/дн.) и Новик (0,833 млн. м<sup>2</sup>/дн.), что свидетельствует о высоком потенциале повышения продуктивности этих сортов (табл. 2).

Хлорофилл – ключевой компонент фотосинтетического аппарата растений, играющий важную роль в оценке состояния и потенциала роста культуры (Носкова и Лисицын, 2024). Его концентрация отражает степень развития растения и способность формировать урожай в зависимости от условий

выращивания. Таким образом, содержания пигмента хлорофилла является ключевым фактором, влияющим на биологическую продуктивность растений.

В ходе изучения содержания суммарного хлорофилла в фазу цветения в условиях засухи варьировало от 2,2 до 3,1 мг/100 г сырого вещества, а в контроле от 2,3 до 3,9 мг/100 г сырого вещества. В таблице представлены образцы с наибольшими значениями концентрации пигмента хлорофилла, превысившие и находящиеся на уровне стандарта (табл. 3).

**Таблица 3. Изменение содержания пигментов хлорофилла в листьях образцов ярового ячменя при различных условиях выращивания, мг/100 г сырого вещества (2024–2025 гг.)**  
**Table 3. Chlorophyll pigment content change in spring barley samples' leaves under different growing conditions, mg per 100 g of wet material (2024–2025)**

№ п/п	Образцы	Фазы развития					
		цветение			молочной спелости зерна		
		опыт	контроль	% к контролю	опыт	контроль	% к контролю
1	Формат, st	2,8	3,3	85,1	0,4	0,9	44,4
2	Леон	2,6	3,4	76,5	0,8	0,8	100,0
3	Аркан	2,9	3,4	84,7	0,9	1,0	90,0
4	Новик	2,6	2,9	90,8	0,7	0,9	77,8
5	Богатырь	2,7	3,4	79,4	0,6	0,8	75,0
6	Магнит	2,6	3,1	83,5	0,7	0,9	77,8
7	Икорец	2,7	3,1	87,9	0,6	0,7	85,7
8	Тамлык	2,8	3,4	82,1	1,1	1,6	68,8
9	Авгур	3,1	3,3	91,2	0,8	1,2	66,7
	Стандартное отклонение	0,26	0,34	10,12	0,23	0,57	22,92

Наименьшее снижение содержания пигмента в эту фазу в опыте по сравнению с контролем наблюдалось у образцов Авгур, Новик, Икорец.

При нарастающей засухе в фазу молочной спелости зерна сохранность пигмента снизилась и

была в пределах 0,2–1,1 мг/100 г сырого вещества (опыт) и 0,4–2,6 мг/100 г сырого вещества (контроль). Наибольшая сохранность пигментов хлорофилла в опыте по сравнению с контролем выявлена у сортов Леон, Аркан и Икорец.

Фотосинтезу принадлежит ведущая роль в формировании урожая и повышении общей продуктивности растений. В условиях недостаточного увлажнения урожайность варьировала от 67,8 (Фокус) до 130,5 г/м<sup>2</sup> (Аркан), а в оптимальных условиях была

в пределах 148,5 (Соборный) до 237,0 г/м<sup>2</sup> (Богатырь). В таблице представлены образцы с наибольшими значениями урожайности, находящиеся на уровне стандарта (табл. 4).

**Таблица 4. Изменение урожайности образцов ярового ячменя при различных условиях выращивания (2024–2025 гг.)**

**Table 4. Spring barley productivity change under different growing conditions (2024–2025)**

№ п/п	Образцы	Урожайность, г/м <sup>2</sup>		
		опыт	контроль	% к контролю
1	Формат, st	119,5	173,6	69,2
2	Леон	120,7	171,0	70,6
3	Федос	108,0	156,0	71,5
4	Азимут	129,9	177,8	74,7
5	Аркан	130,5	182,0	73,4
6	Новик	125,5	198,6	63,2
7	Богатырь	116,8	237,0	49,3
8	Магнит	114,3	166,0	72,9
9	Яровит	109,1	162,6	72,5
10	Булат	113,3	199,7	62,1
11	Степняк	115,2	195,9	62,7
12	Тамлык	111,7	178,3	62,7
13	Східний	110,1	171,9	65,5
14	Партнер	128,1	185,9	71,9
15	Донецкий 14	110,1	177,3	65,4
16	Талер	119,7	192,7	65,2
	НСР <sub>05</sub>	22,2	39,6	–

Максимальные значения урожайности в условиях недостаточного увлажнения (опыт) и минимальное снижение к контролю отмечено у сортов Аркан (130,5 г/м<sup>2</sup> и 73,4%), Азимут (129,9 г/м<sup>2</sup> и 74,7%), Партнер (128,1 г/м<sup>2</sup> и 71,9%), Новик (125,5 г/м<sup>2</sup> и 63,2%), Леон (120,7 г/м<sup>2</sup> и 70,6%), Талер (119,7 г/м<sup>2</sup> и 65,2%) и Богатырь (116,8 г/м<sup>2</sup> и 49,3%).

На основании полученных данных установлены корреляционные связи между показателями фотосинтетической активности растений (площадь листьев, фотопотенциал и содержание хлорофилла) с урожайностью в условиях засухи. За годы исследований по средним показателям установлены положительные связи урожайности с площадью листьев в фазу молочной спелости ( $r = 0,33 \pm 0,16$ ), с содержанием хлорофилла в фазы цветения и молочной спелости ( $r = 0,41 \pm 0,16$  и  $0,27 \pm 0,17$ ).

**Выводы.** Проведённое исследование позволило оценить влияние моделируемой засухи на ключевые физиологические показатели (площадь листьев, фотосинтетический потенциал, содержание хлорофилла) и урожайность сортов ярового ячменя.

В условиях недостатка влаги максимальные значения площади ассимиляционной поверхности

листьев, фотопотенциала и содержания пигмента хлорофилла сформировали сорта Аркан (25,0 см<sup>2</sup>, 0,692 млн. м<sup>2</sup>/дн., 0,9 мг/100 г сырого вещества), Богатырь (18,5 см<sup>2</sup>, 0,906 млн. м<sup>2</sup>/дн. и 0,6 мг/100 г сырого вещества), Леон (15,8 см<sup>2</sup>; 0,846 млн. м<sup>2</sup>/дн. и 0,8 мг/100 г сырого вещества), Магнит (9,0 см<sup>2</sup>, 0,855 млн. м<sup>2</sup>/дн. и 0,7 мг/100 г сырого вещества) и Новик (13,3 см<sup>2</sup>, 0,833 млн. м<sup>2</sup>/дн. и 0,7 мг/100 г сырого вещества), которые характеризуются и высокой урожайностью.

Выявлена положительная корреляция между урожайностью и площадью листьев в фазу молочной спелости ( $r = 0,33 \pm 0,16$ ), а также хлорофиллом в фазы цветения и молочной спелости ( $r = 0,41 \pm 0,16$  и  $0,27 \pm 0,17$ ).

Таким образом, комплексное изучение физиологических параметров позволяет выявить наиболее устойчивые генотипы и разработать научно обоснованные подходы к повышению продуктивности ярового ячменя в условиях засухи.

**Финансирование.** Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» по теме № FNFN-2025-0008.

#### Библиографический список

- Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Продолжительность и условия межфазных периодов вегетации как факторы продуктивности сортов яровой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 202–212
- Дериглазова Г. М. Влияние основных приемов и способов возделывания ярового ячменя на площадь

ассимиляционной поверхности и индекс листовой поверхности посевов в почвенно-климатических условиях Курской области // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 332–348. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-332-348

3. Козлова Г. Я., Антипова Г. П. Особенности формирования фотосинтезирующей поверхности ячменя в условиях лесостепи Омского Прииртышья // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 5. С. 14–17

4. Николаев М. В. Климатические изменения и ведение полеводства в зоне осушаемых земель Европейского Нечерноземья России: уязвимость и адаптация // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 60–74. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.60rus

5. Носкова Е. Н., Лисицын Е. М. Возможность прогноза качества зерна ярового ячменя по содержанию хлорофилла в листьях // Химия растительного сырья. 2024. № 2. С. 410–419

6. Панихина Л. В., Зайцева И. Ю., Кокина Л. П. Пигментный комплекс в листьях ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона // Вестник аграрной науки. 2022. №3(96). С. 37–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.37

7. Подласова Е. Ю., Новикова А.А. Анализ содержания хлорофилла в листьях ярового ячменя с использованием гиперспектральной визуализации и спектрофотометрии // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 337–346. DOI: 10.33284/2658-3135-107-4-337

8. Arief MAA, Kim H, Kurniawan H, Nugroho AP, Kim T, Cho BK. Chlorophyll fluorescence imaging for early detection of drought and stress in strawberry plants // Plants. 2023. Vol. 12(6), Article number: 1387. DOI: 10.3390/plants12061387

9. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T., Abed A., Elakhdar I., Khedr R., Qualset C. O. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives // Environmental and Experimental Botany. 2022. Vol. 201, Article number: 104965

10. Lammas M. E., Shitikova A. V. Spring barley is a promising crop in agricultural production // In BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139, P. 01012. EDP Sciences.

#### References

1. Besaliev I. N., Panfilov A. L. Prodolzhitel'nost' i usloviya mezhfaznykh periodov vegetatsii kak faktory produktivnosti sortov yarovoi pshenitsy v Orenburgskom Predural'e [The length and conditions of interphase vegetation periods as productivity factors for spring wheat varieties in the Orenburg Cis-Urals] // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2023. Т. 106, № 3. С. 202–212

2. Deriglazova G. M. Vliyaniye osnovnykh priemov i sposobov vozdeleyvaniya yarovogo yachmenya na ploshchad' assimilyatsionnoi poverkhnosti i indeks listovoi poverkhnosti posevov v pochvenno-klimaticheskikh usloviyakh Kurskoi oblasti [The effect of key spring barley cultivation techniques and methods on the assimilation surface area and leaf area index of crops under the soil and climatic conditions of the Kursk region] // Melioratsiya i gidrotekhnika. 2023. Т. 13, № 4. С. 332–348. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-332-348

3. Kozlova G. Ya., Antipova G. P. Osobennosti formirovaniya fotosinteziruyushchei poverkhnosti yachmenya v usloviyakh lesostepi Омского Прииртышья [Features of the formation of the photosynthetic surface of barley in the forest-steppe conditions of the Omsk Irtysh region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2013. № 5. С. 14–17

4. Nikolaev M. V. Klimaticheskie izmeneniya i vedenie polevodstva v zone osushaemykh zemel' Evropeiskogo Nечернозем'ya Rossii: uyazvimost' i adaptatsiya [Climate change and field crop production management in the drained land zone of the European Non-Blackearth region of Russia: vulnerability and adaptation] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2023. Т. 58, № 1. С. 60–74. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.60rus

5. Noskova E. N., Lisitsyn E. M. Vozmozhnost' prognoza kachestva zerna yarovogo yachmenya po sodержaniyu khlорофилла v list'yakh [Possibility of predicting spring barley grain quality based on leaf chlorophyll content] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2024. № 2. С. 410–419

6. Panikhina L. V., Zaitseva I. Yu., Kokina L. P. Pigmentnyi kompleks v list'yakh yarovogo yachmenya v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona [Pigment complex in spring barley leaves under the conditions of the Volga-Vyatka region] // Vestnik agrarnoi nauki. 2022. №3(96). С. 37–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.37

7. Podlasova E. Yu., Novikova A.A. Analiz sodержaniya khlорофилла v list'yakh yarovogo yachmenya s ispol'zovaniem giperspektral'noi vizualizatsii i spektrofotometrii [Analysis of chlorophyll content in spring barley leaves using hyperspectral imaging and spectrophotometry] // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2024. Т. 107, № 4. С. 337–346. DOI: 10.33284/2658-3135-107-4-337

8. Arief MAA, Kim H, Kurniawan H, Nugroho AP, Kim T, Cho BK. Chlorophyll fluorescence imaging for early detection of drought and stress in strawberry plants // Plants. 2023. Vol. 12(6), Article number: 1387. DOI: 10.3390/plants12061387

9. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T., Abed A., Elakhdar I., Khedr R., Qualset C. O. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives // Environmental and Experimental Botany. 2022. Vol. 201, Article number: 104965

10. Lammas M. E., Shitikova A. V. Spring barley is a promising crop in agricultural production // In BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139, P. 01012. EDP Sciences.

Поступила: 12.03.26; доработана после рецензирования: 23.03.26; принята к публикации: 30.03.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Черпакова Е. Ю. – концептуализация исследования, проведение экспериментальных лабораторных и вегетационных опытов, обработка и анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ НОВЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ СЕЛЕКЦИИ ВСЕРОССИЙСКОГО НИИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**Е.В. Чугунова**, научный сотрудник, filialpovolg1@yandex.ru, ORCID:0009-0004-7028-1810;

**А.А. Новиков**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, novikov@riagro.ru, ORCID ID: 0000-0002-7698-8268.

*Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова. 400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9.*

В статье приведены результаты экологического испытания в 2022-2024 г новых раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы селекции ВНИИОЗ с целью определения потенциала их адаптивности в различных агроклиматических регионах. Перспективные гибриды оценивались по урожайности, влажности, адаптивности с использованием селекционных индексов в различных экологических зонах. Испытания проводили в 6 научных учреждениях трех регионов допуска. Оптимальные и лимитирующие пункты определяли по среднему урожаю зерна гибридов каждой группы спелости. Для оценки гибридов использовали методику государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и селекционные индексы, рассчитываемые по формулам предложенным В.С. Сотченко, В.В. Хангильдиным и Н.А. Орлянским. Лучшим гибридом для оптимальных условий выращивания является в группе раннеспелых гибридов ПО 170-21. Он характеризуется высокой урожайностью (8,48 т/га), пониженной уборочной влажностью (19,0 %) и высоким селекционным индексом ( $C_i=3,1$ ) в сравнении со стандартом. В группе среднеранних выделился гибрид ПО 200-21 со схожими характеристиками – оптимальное сочетание высокой продуктивности (10,37 т/га, влажность 24,3 %) и экологической стабильности ( $C_i=3,1$ ). Этот же гибрид и стал лучшим в лимитированных условиях, сформировав 4,24 тонны зерна с гектара. Для лимитированных условий также может быть рекомендован ПО 170-19, обеспечивший наибольший уровень урожайности 3,73 т/га зерна при значении селекционного индекса 2,4. Полученные данные позволят целенаправленно отобрать ценные генотипы для проведения государственного сортоиспытания для последующего районирования в регионах допуска, наиболее подходящих для возделывания.

**Ключевые слова:** кукуруза, урожайность, селекционный индекс, влажность, селекционная ценность, ФАО.

**Для цитирования:** Чугунова Е.В., Новиков А.А. Оценка адаптивности новых гибридов кукурузы селекции Всероссийского НИИ орошаемого земледелия // Зерновое хозяйство России.2026.Т.18, №2. С. 57-62. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-57-62



## ESTIMATION OF ADAPTABILITY OF THE NEW MAIZE HYBRIDS BRED BY THE ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF IRRIGATED AGRICULTURE

**E.V. Chugunova**, researcher, filialpovolg1@yandex.ru, ORCID <https://orcid.org/0009-0004-7028-1810>;

**A.A. Novikov**, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, novikov@riagro.ru, ORCID ID: 0000-0002-7698-8268.

*FSBSI the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture - Branch of the FSBSI "All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov", 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9.*

The current paper has presented the results of environmental 2022-2024 trials of new early and middle-early maturing maize hybrids bred by the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture to estimate their adaptability to various agroclimatic regions. The promising hybrids have been evaluated according to productivity, moisture content, and adaptability using selection indices in various ecological zones. The trials were conducted at six scientific institutions in three approved regions. Optimal and limiting points were determined based on the average grain yield of hybrids in each maturity group. The hybrids were evaluated according to the methodology of the State Variety Testing of agricultural crop and selection indices calculated using formulas proposed by V.S. Sotchenko, V.V. Khangildin, and N.A. Orlyansky. The best hybrid for optimal growing conditions is PO 170-21 in the group of early-maturing hybrids. It is characterized by large productivity (8.48 t/ha), low harvest moisture (19.0%), and a high selection index ( $C_i=3.1$ ) compared to the standard. In the middle-early group, the hybrid PO 200-21 was the best with similar characteristics, namely an optimal combination of large productivity (10.37 t/ha, 24.3% moisture) and environmental stability ( $C_i = 3.1$ ). This same hybrid also was the best in the limited conditions, yielding 4.24 tons of grain per hectare. For limited conditions, the hybrid PO 170-19 can be also recommended, providing the highest grain yield of 3.73 t/ha with a selection index of 2.4. The data obtained will allow for the targeted selection of valuable genotypes for the State Variety Testing to subsequently zone in the approved regions most suitable for cultivation.

**Keywords:** maize, productivity, selection index, moisture, breeding value, FAO.

**Введение.** Кукуруза – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в мировом земледелии и входит в тройку зерновых культур с самым широким распространением. Она дает человечеству более 500 основных и побочных продуктов, которые используются непосредственно в пищу, как корм для животных и в качестве сырья для перерабатывающей промышленности. Одно из последних актуальных направлений использования – переработка зерен кукурузы для получения биологического топлива.

Согласно оценкам экспертов, объем производства зерна кукурузы в мире в 2020-2023 гг. составлял 1,18-1,22 млрд. тонн в год. В России в эти же годы производилось порядка 14,0 млн. тонн

В последнее время в нашей стране отмечается быстрый рост объемов ежегодного потребления кукурузы, как на продовольственные нужды, так и на корм животным. Так за последние десять лет объем потребления вырос с 4,7 млн. тонн до 11,16 млн. тонн зерна. Основная часть роста потребления пришлась на кормовые цели – с развитием интенсивного животноводства в России часть кукурузы, израсходованная на кормовые цели, составила 55-65 % от общего количества. На продовольственные цели идет 20-25 %, в технических целях используют 15-20 % (Зайцев и др., 2022; Кривошеев, Игнатъев, 2018; Орлянская и др., 2023).

Сельскохозяйственные товаропроизводители достигли среднемирового уровня урожайности – 5,5 т/га. Рост был стремительным, так как еще в 1994-2003 гг. урожайность составляла 2,4 т/га. Однако, передовые сельскохозяйственные предприятия обеспечивают продуктивность кукурузных агроценозов на уровне 10,0 т/га и выше.

Кукуруза демонстрирует хорошие результаты по различным предшественникам, а также при выращивании в качестве монокультуры. Кроме того, кукуруза – культура, которая обладает высокой пластичностью к условиям окружающей среды. Эта особенность позволяет успешно возделывать ее на зерно и силос в 11 из 12 зон РФ (Сотченко, 2015) при условии, что для ее выращивания используются современные, адаптированные к местным почвенно-климатическим условиям, селекционные достижения.

В России кукуруза была и остается рентабельной культурой. В субъектах Российской Федерации, включенных в Центрально-черноземный, Северо-Кавказский и Нижневолжский регионы допуска кукуруза возделывается на площади более 2 300 тыс. гектаров, что составляет немногим более 80 % посевных площадей кукурузы в целом по стране.

Увеличение производства зерна кукурузы и обеспечение роста урожайности возможно за счет создания и внедрения в производство новых более продуктивных гибридов кукурузы, максимально адаптированных к возделыванию в определенных почвенно-климатических условиях.

Именно широким использованием высокопродуктивных интенсивных гибридов кукурузы, в основном, иностранного производства, объясняется существенный рост как объемов производства зерна, так и урожайности посевов кукурузы. Доля семян

гибридов кукурузы зарубежной селекции в общем объеме высеваемых семян до 2022 года в России составила по разным оценкам 50-55 % (Лобач, 2025).

С целью снижения зависимости российских производителей кукурузы в 2022 году Правительством РФ принята Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, составной частью которой, стала Подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства кукурузы». Одним из целевых показателей Подпрограммы является производство к 2030 году 27 800 тонн семян новых отечественных гибридов кукурузы, обладающих широким диапазоном адаптивной способности к условиям возделывания в различных природно-климатических зонах Российской Федерации <sup>4</sup>.

Для широкого внедрения в производство новых высокопродуктивных генотипов кукурузы и конкретного размещения их по регионам возделывания необходимы данные об их экологической стабильности в различных почвенно-климатических условиях (Рыбась, 2016; Сотченко и др., 2016).

Оценка адаптационного потенциала – экологическое сортоиспытание является важным и заключительным этапом в селекционной работе. Оно позволяет в более короткие сроки объективно оценить экологическую устойчивость и выделить гибриды стабильные по продуктивности в географическом пункте, характеризующем природно-климатические условия среды выращивания растений гибридов с целью определить регионы возможного их распространения (Панфилова и др., 2020; Арраев et al., 2021)

В испытание были включены новые, перспективные гибриды, выделенные в питомнике конкурсного сортоиспытания по комплексу хозяйственно-ценных признаков (высокая продуктивность, быстрая влагоотдача, устойчивость к болезням и вредителям) в сравнении с районированным стандартом.

Цель исследований – на основе данных экологического сортоиспытания определить потенциал адаптивности новых гибридов кукурузы селекции Всероссийского НИИ орошаемого земледелия (ВНИИОЗ) в различных агроклиматических регионах.

**Материалы и методы исследований.** На протяжении многих лет ВНИИОЗ в лице Опытной станции «Поволжская» принимает участие в экологическом сортоиспытании гибридов кукурузы, организованное в рамках Координационного совета по селекции и семеноводству кукурузы учреждений Российской Федерации. В состав данного совета входят 15 научно-исследовательских учреждений, селекционных государственных и частных организаций.

Для передачи в систему Государственного сортоиспытания ВНИИОЗ планирует 3 гибрида с ФАО 170 и 3 – с ФАО 200. По данным Национального союза селекционеров и семеноводов именно на семена гибридов раннеспелой и среднеранних групп спелости и наблюдается дефицит семян в настоящее время.

Испытания проводили в 2022-2024 гг. в научно-исследовательских учреждениях в шести пунктах России (Таблица 1), расположенных в трех регионах допуска, максимально интересных для нашего учреждения с точки зрения реализации семян новых гибридов.

Таблица 1. Пункты испытаний, 2022-2024 гг.  
Table 1. Trial places, 2022-2024

Наименование организации	Административный регион	Регион допуска селекционного достижения
1. ОС Поволжская ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им А.Н. Костякова»	Волгоградская область	8
3. Белгородский ФАНЦ	Белгородская область	5
3. Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева	Воронежская область	5
4. Селекционно-семеноводческий центр «Отбор»	КБР	6
5. Всероссийский НИИ кукурузы	Ставропольский край	6
6. НПО «Семеноводство Кубани»	Краснодарский край	6

Оптимальные и лимитирующие пункты определяли по среднему урожаю зерна в каждой группе спелости. Для гибридов обеих групп спелости оптимальными пунктами были «ООО Селекционно-семеноводческий центр «Отбор» и ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева». Лимитирующими пунктами для гибридов ФАО 170 были определены ООО «НПО «Семеноводство Кубани» и Опытная станция «Поволжская», для гибридов ФАО 200 – ФГБНУ ВНИИОЗ и Опытная станция «Поволжская».

В испытаниях учитывали урожай зерна при 14 % влажности, уборочную влажность, определяли селекционный индекс по В.С. Сотченко (частное от деления урожая зерна на уборочную влажность).

Для более полной оценки новых гибридов кукурузы использовали индекс оценки селекционной ценности, по формуле В.В. Хангильдина, усовершенствованной Н.А. Орлянским:

$$C_{ц} = X^2 * (X_{\text{лим}} : X_{\text{опт}}),$$

где  $C_{ц}$  – селекционная ценность гибрида;

$X^2$  – средний урожай по всем пунктам, возведенный в квадрат;

$X_{\text{лим}}$  – средний урожай лимитированных пунктов;

$X_{\text{опт}}$  – средний урожай оптимальных пунктов.

Для конечной оценки гибридов использовали формулу индекса селекционной ценности сорта, предложенную Н.А. Орлянским <sup>7</sup>

$$C_{\text{иц}} = (C_{\text{и}} * C_{\text{ц}}) / 100,$$

где  $C_{\text{иц}}$  – селекционный индекс ценности сорта,

$C_{\text{и}}$  – селекционный индекс по В.С. Сотченко,

$C_{\text{ц}}$  ( $C_{\text{с}}$ ) – селекционная ценность сорта.

Опыты по экологическому испытанию во всех пунктах проводились по единой методике. В каждом регионе в опытах использовалась рекомендованная зональная технология возделывания. Учетная площадь делянки составляла 9,8 м<sup>2</sup>, повторность 3-х кратная. Посев осуществляли в оптимальные для каждого пункта сроки. Уборку и учет урожая проводили после

созревания районированного стандарта. Гибриды возделывали без применения искусственного орошения.

**Результаты и их обсуждение.** В 2022-2024 гг. в экологическое сортоиспытание были включены 6 перспективных гибридов кукурузы селекции ВНИИОЗ: 3 раннеспелых гибрида ФАО 170 и 3 среднеранних ФАО 200. В качестве стандартов использовали гибриды Машук 168 для гибридов ФАО 170 и Краснодарский 194 МВ – для гибридов ФАО 200.

Испытание проводилось в шести эколого-географических пунктах, расположенных в Волгоградской области (Урюпинский район), Ставропольском крае (г. Пятигорск), Кабардино-Балкарской республике (Прохладненский район), Краснодарском крае (Усть-Лабинский район), Белгородской (г. Белгород) и Воронежской областях (Таловский район).

На основании данных средней урожайности зерна, полученной в научных учреждениях (таблица 2), в качестве оптимальных для изучаемых гибридов кукурузы обеих групп спелости были определены пункты в Кабардино-Балкарской республике (Прохладненский район, при орошении) и в Воронежской области (Таловский район), лимитированными оказались пункты:

- для ФАО 170 Краснодарский край (НПО «Семеноводство Кубани») и Волгоградская область (ОС Поволжская)

- для ФАО 200 Краснодарский край (НПО «Семеноводство Кубани») и Ставропольский край (Всероссийский НИИ кукурузы).

Гибриды кукурузы в экологическом сортоиспытании оценивали по значениям интегрального показателя – уровню урожайности. На формирование урожайности оказывают влияние множество факторов, среди которых генотипическая особенность, климатические и агротехнические условия.

Таблица 2. Урожай зерна гибридов кукурузы в пунктах испытания, 2022- 2024 гг.  
Table 2. Grain yield of maize hybrids at the trial places, 2022-2024

Наименование гибрида	Урожайность т/га в пунктах испытания						
	ОС «Поволжская», Волгоградская область	ФГБНУ ВНИИК Пятигорск	ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»	«ООО Селекционно-семеноводческий центр «Отбор»	ООО НПО «Семеноводство Кубани»	ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева»	Среднее
ФАО 170							
ST Машук 168	2,69	4,17	2,77	6,60	2,18	5,56	3,99
ПО 170-19	3,73	3,14	4,14	6,46	3,23	5,31	4,33
ПО 170-20	3,44	3,73	4,27	7,38	2,34	6,06	4,54
ПО 170-21	3,80	4,44	4,22	8,48	2,73	6,82	5,08
Среднее	3,42	3,87	3,85	7,23	2,62	5,94	4,49
НСР <sub>05</sub>	0,18	0,27	0,59	0,89	0,45	0,63	
ФАО 200							
ST Краснодарский 194мв	3,70	3,49	4,42	6,22	2,89	5,47	4,36
ПО 200-19	3,94	3,65	3,37	8,00	1,18	6,24	4,40
ПО 200-20	4,82	3,20	3,92	6,72	2,15	4,69	4,25
По 200-21	3,92	4,24	4,59	10,37	2,23	5,60	5,16
Среднее	4,10	3,65	4,08	7,83	2,11	5,50	4,54
НСР <sub>05</sub>	0,21	0,71	0,97	0,79	0,68	1,01	

В исследуемый период урожайность образцов и уборочная влажность гибридов кукурузы различались по пунктам испытания.

В группе ФАО 170 наибольший средний урожай получен в ООО ИПА «Отбор» (Кабардино-Балкарская республика) – 7,23 т/га и в ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева (Воронежская область) – 5,94 т/га. Лучшими в сравнении со стандартом были – ПО 170-20 (7,38 т/га), ПО 170-21 (8,48 т/га). Наименьший средний урожай был в ОС «Поволжская» – 3,42 т/га, и в ООО «Семеноводство Кубани» – 2,62 т/га.

В группе ФАО 200 в оптимальных пунктах изучения

средний урожай составил в ООО ИПА «Отбор» – 7,83 т/га, в ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева – 5,5 т/га. Более высокий в сравнении со стандартом (Краснодарский 194 МВ) урожай зерна в данных пунктах продемонстрировали образцы ПО 200-19 (8,00 т/га и 6,24 т/га), ПО 200-21 (10,37 т/га и 5,6 т/га) соответственно.

Довольно низкую среднюю уборочную влажность в сравнении со стандартами имели следующие гибриды: ПО 170-21 (16,4%), ПО 200-19 (17,7%), ПО 200-20 (17,4%), ПО 200-21 (16,7%) (Таблица 3).

Таблица 3. Уборочная влажность зерна гибридов кукурузы по пунктам испытания, 2022-2024гг.  
Table 3. Harvest moisture of maize hybrids at the trial places, 2022-2024

Гибриды	Уборочная влажность зерна %, по пунктам испытания.						
	Опытная станция «Поволжская», Волгоградская область	ФГБНУ ВНИИК Пятигорск	ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»	Селекционно-семеноводческий центр «Отбор»	ООО НПО Семеноводство Кубани»	ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева»	Среднее
ФАО 170							
ST Машук 168	17,8	13,4	18,5	19,8	11,4	18,9	16,6

Продолжение таблицы 3

ПО 170-19	18,1	16,0	19,7	21,2	11,9	20,0	17,8
ПО 170-20	16,0	16,6	17,4	18,8	13,5	19,3	16,9
По 170-21	16,7	15,8	18,3	19,0	11,8	16,7	16,4
Среднее	17,0	15,4	18,5	19,7	12,1	18,7	16,9
ФАО 200							
ST Краснодарский 194 МВ	16,5	14,5	20,9	25,2	11,9	20,7	18,3
ПО 200-19	15,1	13,6	21,1	26,7	11,7	18,1	17,7
ПО 200-20	13,2	14,9	18,4	28,0	12,6	17,2	17,4
По 200-21	11,3	14,2	19,9	24,3	12,4	18,2	16,7
<b>Среднее</b>	14,0	14,3	20,1	26,0	12,1	18,6	17,5

Использование специфической методики определения ценности гибридов кукурузы через анализ селекционных индексов способствует определению генетических форм, наиболее адаптированных к различным географическим и экологическим условиям.

В результате проведенных исследований выделились скороспелые генотипы, обладающие оптимальным сочетанием высокой продуктивности и пониженной уборочной влажности зерна. Высокие показатели селекционного индекса ( $C_{иц}$ ) имели гибриды ПО 70-20 (2,7), ПО 170-21 (3,1), ПО 200-19 (2,5) и ПО 200-21(3,1).

По показателям высокой урожайности и

стабильности ее проявления в различных климатических условиях выявлены гибриды: ПО 170-19 (11,08), ПО 170-20 (8,86), ПО 170-21 (11,0), ПО 200-21(10,81) с более высокими значениями индекса селекционной ценности ( $C_{иц}$ ).

По значениям показателя селекционный индекс ценности гибрида ( $C_{иц}$ ) превзошли стандарт образцы: ПО 170-19 (0,28), ПО 170-20 (0,24), ПО 170-21 (0,34), ПО 200-21 (0,33) (таблица 4). Такие значения позволяют судить о высокой адаптивности будущих гибридов к условиям произрастания регионов испытаний в сочетании с повышенными, в сравнении со стандартом, продуктивными качествами.

**Таблица 4. Показатели селекционных индексов, 2022-2024 гг.**  
**Table 4. Values of selection indices, 2022-2024**

Гибрид Hybrid	Средняя урожайность зерна при 14% влажности, т/га Grain yield at 14% humidity, t/ha	Средняя влажность зерна при уборке, % Grain moisture during harvesting, %	Селекционный индекс, $C_{иц}$ Breeding index, Si.	Селекционная ценность гибрида, $C_{иц}$ Breeding value of the hybrid, Sc.	Селекционный индекс ценности, $C_{иц}$ Breeding value index, Sc.
ФАО 170					
ST Машук 168	3,99	16,6	2,4	6,36	0,15
ПО 170-19	4,33	17,8	2,4	11,08	0,28
ПО 170-20	4,54	16,9	2,7	8,86	0,24
ПО 170-21	5,08	16,4	3,1	11,00	0,34
ФАО 200					
ST Краснодарский 194 МВ	4,36	18,3	2,4	10,37	0,25
ПО 200-19	4,40	17,7	2,5	6,55	0,16
ПО 200-20	4,25	17,4	2,4	8,48	0,20
<b>ПО 200-21</b>	<b>5,16</b>	<b>16,7</b>	<b>3,1</b>	<b>10,81</b>	<b>0,33</b>

**Выводы.** Таким образом, на основании результатов проведенных испытаний перспективные раннеспелые и среднеранние гибриды кукурузы селекции ОС «Поволжская» Всероссийского НИИ орошаемого земледелия продемонстрировали высокий уровень урожайности в сочетании с лучшими, в сравнении со стандартами, показателями качества в регионах развитого производства зерна кукурузы.

Выделившиеся перспективные гибриды будут переданы в систему государственного сортоиспытания

селекционных достижений с целью последующего районирования в 5, 6 и 8 регионах допуска.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках темы НИОКР FNFR-2025-0001 «Создать новые высокопродуктивные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур (соя, кукуруза), отзывчивых на орошение, обладающих заданными хозяйственно-ценными признаками и высоким потенциалом адаптации к биотическим и абиотическим факторам среды».

#### Библиографический список

1. Зайцев С. А., Волков Д. П., Гудова Л. А., Жужукин В. И. Экологическое изучение гибридов кукурузы в степной зоне Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 13-17. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp13-17
2. Кривошеев Г. Я., Игнатъев А. С. Экологическое испытание новых гибридов кукурузы в условиях различной влагообеспеченности // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 47-51. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-47-51
3. Лобач И. А. Современное состояние и перспективы развития селекции семеноводства кукурузы в РФ [Электронный ресурс]: Национальная Ассоциация производителей семян кукурузы и подсолнечника URL: [https://parpksk.ru/media/upload/\\_sf\\_13.07.22\\_\\_lobach.pdf](https://parpksk.ru/media/upload/_sf_13.07.22__lobach.pdf) (дата обращения 16.07.2025)
4. Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарев Д. С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 4. С. 581-591. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
5. Панфилова О. Н., Чугунова Е. В., Авилова Ю. А., Дерунова С. Н., Буравлев А. П. Значение селекционного индекса новых гибридов кукурузы на зерно при выращивании на богаре и при орошении // Аграрный научный журнал. 2020. №3. С.23-28. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp23-28
6. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.617rus>
7. Сотченко В.С. Роль кукурузы в повышении продовольственной безопасности страны // Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85. № 1. С. 12-14
8. Сотченко В. С., Горбачёва А. Г., Панфилов А. Э., Ветошкина И. А., Замятин А. Д. Зерновая продуктивность кукурузы как функция географических пунктов, сроков посева и длительности хранения семян // АПК России. 2016;23(3):687-694
9. Appaev S., Kagermazov A., Khachidogov A. [et al.]. Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR) // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201010>.

#### References

1. Zajcev S. A., Volkov D. P., Gudova L. A., Zhuzhukin V. I. Ekologicheskoe izuchenie gibridov kukuruzy v stepnoj zone Nizhnego Povolzh'ya [Ecological study of maize hybrids in the steppe zone of the Lower Volga region] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2022. № 4. S. 13-17. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp13-17
2. Krivosheev G. YA., Ignat'ev A. S. Ekologicheskoe ispytanie novyh gibridov kukuruzy v usloviyah razlichnoj vlagobespechennosti [Ecological testing of new maize hybrids under various moisture conditions] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 4(58). S. 47-51. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-47-51
3. Lobach I. A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya selekcii semenovodstva kukuruzy v RF [Current status and prospects for the development of maize breeding and seed production in the Russian Federation] [Elektronnyj resurs]: Nacional'naya Associaciya proizvoditelej semyan kukuruzy i podsolnechnika URL: [https://parpksk.ru/media/upload/\\_sf\\_13.07.22\\_\\_lobach.pdf](https://parpksk.ru/media/upload/_sf_13.07.22__lobach.pdf) (data obrashcheniya 16.07.2025)
4. Orlyanskaya N. A., Orlyanskij N. A., Chebotarev D. S. Sravnitel'naya indeksaciya rannespelyh gibridov kukuruzy v ekologicheskom ispytanii [Comparative indexation of early-maturing maize hybrids in ecological testing] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2023. T. 24. № 4. S. 581-591. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
5. Panfilova O. N., Chugunova E. V., Avilova YU. A., Derunova S. N., Buravlev A. P. Znachenie selekcionnogo indeksa novyh gibridov kukuruzy na zerno pri vyrashchivanii na bogare i pri oroshenii [The importance of the selection index of new maize hybrids for grain production in the dry farming land and under irrigation] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2020. №3. S.23-28. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp23-28
6. Rybas' I. A. Povyshenie adaptivnosti v selekcii zernovykh kul'tur [Increasing adaptability in grain crop breeding] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2016; 51(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.617rus>.
7. Sotchenko V.S. Rol' kukuruzy v povyshenii prodovol'stvennoj bezopasnosti strany [The role of maize in improving food security of the country] // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2015. T. 85. № 1. S. 12-14
8. Sotchenko V. S., Gorbachyova A. G., Panfilov A. E., Vetoshkina I. A., Zamyatin A. D. Zernovaya produktivnost' kukuruzy kak funkciya geograficheskikh punktov, srokov poseva i dlitel'nosti hraneniya semyan [Maize grain productivity as a function of geographic locations, sowing dates, and seed storage duration] // APK Rossii. 2016;23(3):687-694
9. Appaev S., Kagermazov A., Khachidogov A. [et al.]. Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR) // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201010>.

Поступила: 28.07.25; доработана после рецензирования: 20.01.26; принята к публикации: 20.01.26.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Новиков А.А., Чугунова Е.В. – концептуализация исследования; Чугунова Е.В., Новиков А.А. – подготовка опыта; Чугунова Е.В. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Чугунова Е.В., Новиков А.А. – анализ данных и их интерпретация, а также подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ НУТА (*CICER ARIETINUM L.*) В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

**Ж.Н. Мухатова**, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ассистент, mukhatova1995@list.ru, ORCID ID: 0009-0001-8047-7778;

**А.Г. Субботин**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, subbotinag2014@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-8641-6727;

**Н.В. Степанова**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, natadaf@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-8641-6727.

*ФГБОУ ВО Вавиловский университет,*

*410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр.*

Среди зернобобовых культур высокой экологической пластичностью и уникальной способностью формировать значительные урожаи зерна в засушливых условиях выделяется нут. Возрастающий спрос на семена внутри страны и на экспорт в современных условиях вызывает острую необходимость в создании сортов с повышенной зерновой продуктивностью и качеством. В связи с этим разносторонняя оценка исходного селекционного материала является актуальным направлением экспериментальной работы. Цель исследований – провести биоэнергетическую оценку зеленой массы и семян сортов образцов нута коллекции ВИР в засушливых условиях Нижнего Поволжья. На основании содержания питательных веществ в семенах нута и зеленой массы осуществлены расчеты по валовой энергии. Установлено, что валовая энергия в 1 кг семян образцов нута изменялась в пределах от 19,39 до 19,70 МДж, в 1 кг сухой биомассы – от 16,47 до 17,52 МДж, а содержание валовой энергии в 1 кг биомассы при уборке варьировала в интервале 4,15...4,73 МДж. Выявлены образцы с высокой энергоемкостью: в 1 кг семян – к-572 и к-2307; в 1 кг сухой биомассы – к-572 и к-1724 (Узбекистанский 8). Наибольшая доля питательных веществ в энергетической ценности семян (более 30 %) наблюдалась у сортов образцов нута – к-434, к-388, к-572 и к-2307. В качестве исходного материала в селекции нута целесообразно использовать следующие сорта образцы: по содержанию протеина в семенах – к-388, к-434, к-572, к-2307; жира – к-16 (Кубанский 16), к – 23 ТУРЕ 4, к-572, к-1238 Крымский 150, к-1241 Кинельский 17, к-2307, к-2799 (87AK71112), к-3073 (ILC-1799).

**Ключевые слова:** нут, энергия, доля, протеин, жир, биомасса.

**Для цитирования:** Биоэнергетическая оценка сортов образцов нута (*Cicer arietinum L.*) в условиях Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18. №2, С. 63-70. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-63-70



## BIOENERGETIC ASSESSMENT OF CHICKPEA VARIETIES (*CICER ARIETINUM L.*) IN THE LOWER VOLGA REGION

**Zh.N. Mukhatova**, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher, assistant, mukhatova1995@list.ru, ORCID ID: 0009-0001-8047-7778;

**A.G. Subbotin**, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, subbotinag2014@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-8641-6727;

**N.V. Stepanova**, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, natadaf@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-8641-6727.

*FSBEI HE Vavilov University,*

*410012, Saratov, Pyotr Stolypin Avenue, build. 4.*

Among leguminous crops, chickpeas is the best in its high ecological adaptability and unique ability to produce significant grain yields in arid conditions. The growing demand for seeds, both domestically and for export, causes an urgent necessity to develop varieties with increased grain productivity and quality. Therefore, a comprehensive assessment of the initial breeding material is of great relevance in the experimental work. The purpose of the current work was to conduct a bioenergetic assessment of green mass and seeds of chickpea varieties from the VIR collection under aridity of the Lower Volga region. There has been estimated gross energy based on the nutrients in chickpea seeds and green mass. There has been found that gross energy per 1 kg of chickpea seeds ranged from 19.39 to 19.70 MJ, while gross energy per 1 kg of dry biomass ranged from 16.47 to 17.52 MJ. Gross energy per 1 kg of biomass at harvesting ranged from 4.15 to 4.73 MJ. There have been identified the samples k-572 and k-2307 with high energy intensity per 1 kg of seeds, and the samples k-572 and k-1724 (Uzbekistan 8) with high energy intensity per 1 kg of dry biomass. The highest proportion of nutrients in the energy value of seeds (over 30%) was found in the chickpea varieties k-434, k-388, k-572, and k-2307. The varieties k-388, k-434, k-572, k-2307 can be used as initial material in chickpea breeding due to protein percentage in seeds, the varieties k-16 (Kubansky 16), k-23 TYPE 4, k-572, k-1238 Krymsky 150, k-1241 Kinelsky 17, k-2307, k-2799 (87AK71112), k-3073 (ILC-1799) due to oil content in seeds.

**Keywords:** chickpea, energy, share, protein, oil, biomass

**Введение.** Усиление аридизации климата в современном мире заставляет подбирать культуры, способные формировать полноценные урожаи в таких условиях. Одной из таких культур, относящихся к семейству бобовых Fabaceae, является нут (*Cicer arietinum* L.). Семена этой ценной культуры являются источником высококачественного белка, используются в производстве продуктов питания в пищевой промышленности и кормов в животноводстве. Белок нута (20,0-23,0 %) по аминокислотному составу приближается к белку животного происхождения, что позволяет успешно заменить и сбалансировать рацион питания. Кроме того, семена нута отличаются высоким содержанием углеводов (41,10 – 47,42 %), клетчатки (6,0 % сырой клетчатки), минеральными веществами (фосфор, кальций, магний, железо и цинк) и β-каротином (Ахангаран и др., 2022; Булынецов и др., 2017; Жужукин и др., 2022).

Недостаток полноценного растительного белка приводит к ухудшению продовольственного обеспечения населения продуктами питания, перерасходу кормов и повышению себестоимости животноводческой продукции. Уникальная способность растений нута фиксировать атмосферный азот и оставлять его в почве (до 30-40 кг/га) позволяет снизить затратный механизм на применение минеральных удобрений при размещении после него злаковых культур и снизить химическую нагрузку (Донская и др., 2021; Казыдуб и др., 2020; Сазонова и др., 2024; Karimizadeh et al., 2023).

В условиях современного рынка отмечается особый спрос на крупность семян и их качественный состав (Вишнякова и др., 2017; Донская и др., 2021). По ряду научных данных, возможно использование зеленой массы и соломы нута для кормления животных. По питательной ценности (в фазу цветения) зеленая масса нута сопоставима с люцерной. Благодаря способности удерживать влагу, стебли нута отличаются мягкостью и хорошей перевариваемостью, что делает их ценным кормом для многих видов животных (Балашов и др., 2018; Вус и др., 2020; Казыдуб и др., 2020). В связи с этим проведение биоэнергетической оценки зелёной массы и семян для выявления перспективных образцов для дальнейшей селекции, является актуальным направлением исследований.

Цель исследований – провести биоэнергетическую оценку зеленой массы и семян сортообразцов нута коллекции ВИР в засушливых условиях Нижнего Поволжья.

**Материалы и методы исследований.** Объектом изучения служил набор из 30-ти сортообразцов нута различного генетического и эколого-географического

происхождения коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова». Полевые и лабораторные исследования осуществлялись в период 2022-2024 гг. на базе ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

Размещение посевного материала производилось ручным способом, на 3-х рядковых делянках длиной 5,5 м, ширина междурядий 0,7 м в условиях Энгельсского района Саратовской области. В питомнике изучения исходного материала норма высева составила 350 тыс. всхожих семян на 1 га (35 семян на 1,4 м длины делянки). Повторность опыта трехкратная. Размещение делянок систематическое со смещением. Агротехнические приёмы соответствовали зональным рекомендациям для Саратовской области. Экспериментальный участок представлен темно-каштановыми почвами, имеющими среднесуглинистый состав. Отличительной чертой данных почв является высокая влагоемкость и водоудерживающая способность. Содержание гумуса в пахотном слое варьирует от 2,38 до 2,56 %. Гидротермический коэффициент, рассчитанный за период вегетации нута (май – август) составил: в 2022 г. – 0,25; в 2023 году – 0,80; а в 2024 году – 0,20.

Оценка биохимических свойств семян нута проведена по следующим методикам: ГОСТ 13496.15-97, ГОСТ 13496.2-91, ГОСТ 13496.4-93, ГОСТ 26226-95. Энергетическая ценность питательных веществ в расчёте на 1 кг была принята согласно Зоотехническому анализу кормов (1989): протеин – 23,597 МДж, жир – 39,946 МДж, сырая клетчатка – 17,585 МДж, безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) – 17,522 МДж. Анализ данных, включающий математическую и статистическую обработку, выполнялся в соответствии с методикой Б.А. Доспехова, для чего использовался статистический пакет Agros 2.09.

**Результаты и их обсуждение.** Важность нута в растениеводстве обусловлена его урожайностью и богатым биохимическим составом (рисунок 1).

Диапазон изменчивости биохимических параметров варьировал в пределах: содержание протеина от 21,8 до 26,1 %, жира – от 4,6 до 5,8 %, клетчатки – от 3,6 до 7,0 %, зола составила от 3,3 до 3,7 %, а содержание БЭВ – от 60,3 до 64,4 %. Отмечены сортообразцы с наибольшим значением протеина (более 25,0 %): к-388, к-434, к-572, к-2307. Относительно высокое содержание жира (более 5,6 %) выявлено у 8 генотипов – к-16 (Кубанский 16), к – 23 (ТУРЕ 4), к-572, к-1238 (Крымский 150), к-1241 (Кинельский 17), к-2307, к-2799 (87AK71112), к-3073 (ILC-1799).

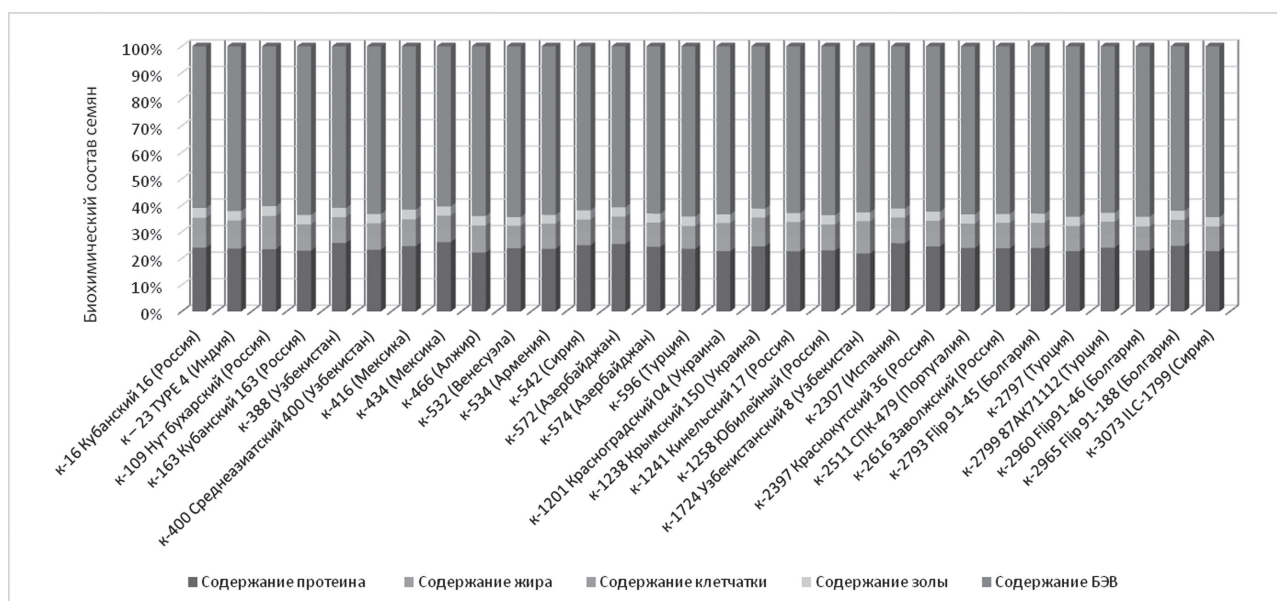


Рис. 1. Биохимический состав семян сортообразцов нута, среднее за 2022-2024 гг.

Fig. 1. Biochemical composition of chickpea seeds, mean in 2022-2024

Также относительно других сортообразцов преимущество по опыту выявлено по содержанию в семенах: клетчатки – к-16 (Кубанский 16), к-109 (Нут бухарский), к-1724 (Узбекский 8); золы – к-16 (Кубанский 16), к-416; безазотистых экстрактивных веществ – к-466, к-532, к-2797, к-2960 (Фир91-46), к-3073 (ILC-1799).

Анализ полученных данных и расчёт

биоэнергетической ценности семян нута показал, что валовая энергетическая ценность 1 кг семян нута колебалась в пределах от 19,39 до 19,70 МДж (таблица 1). Подчеркивая различия в биохимическом составе семян различных образцов нута, стоит акцентировать внимание на сравнительно небольшой разнице в содержании валовой энергии, приходящейся на 1 кг сухого вещества семян нута.

Таблица 1. Валовая энергия (МДж) в 1 кг семян образцов нута в абсолютно сухом состоянии, среднее за 2022-2024 гг.

Table 1. Gross energy (MJ) per 1 kg of chickpea seeds in an absolutely dry state, mean in 2022-2024

Сортообразец	Происхождение	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Выход энергии с 1 кг на а. с. с.
к-16 (Кубанский 16)	Россия	5,66	2,24	1,00	10,69	19,59
к – 23 (ТУРЕ 4)	Индия	5,59	2,24	0,88	10,88	19,59
к-109 (Нут бухарский)	Россия	5,55	2,20	1,23	10,57	19,55
к-163 (Кубанский 163)	Россия	5,40	2,16	0,79	11,14	19,49
к-388	Узбекистан	6,09	1,84	0,91	10,67	19,51
к-400 (Среднеазиатский 400)	Узбекистан	5,47	2,04	0,86	11,09	19,46
к-416	Мексика	5,80	2,04	0,88	10,79	19,51
к-434	Мексика	6,16	2,08	0,84	10,58	19,66
к-466	Алжир	5,24	2,08	0,88	11,21	19,41
к-532	Венесуэла	5,62	1,96	0,63	11,28	19,49
к-534	Армения	5,57	2,12	0,74	11,13	19,56
к-542	Сирия	5,88	2,12	0,77	10,85	19,62
к-572	Азербайджан	5,99	2,24	0,83	10,64	19,70
к-574	Азербайджан	5,73	1,96	0,76	11,06	19,51
к-596	Турция	5,57	1,88	0,69	11,25	19,39
к-1201 (Красноградский 04)	Украина	5,36	2,20	0,90	11,11	19,57
к-1238 (Крымский 150)	Украина	5,78	2,24	0,93	10,72	19,67
к-1241 (Кинельский 17)	Россия	5,33	2,28	0,95	11,02	19,58
к-1258 (Юбилейный)	Россия	5,40	2,12	0,81	11,16	19,49

Продолжение таблицы 1

к-1724 (Узбекистанский 8)	Узбекистан	5,14	2,16	1,20	10,97	19,47
к-2307	Испания	6,06	2,32	0,69	10,71	19,78
к-2397 (Краснокутский 36)	Россия	5,78	2,20	0,74	10,93	19,65
к-2511 (СПК-479)	Португалия	5,64	2,12	0,69	11,11	19,56
к-2616 (Заволжский)	Россия	5,62	2,08	0,77	11,07	19,54
к-2793 (Flir 91-45)	Болгария	5,64	2,08	0,76	11,06	19,54
к-2797	Турция	5,36	2,04	0,77	11,27	19,44
к-2799 (87AK71112)	Турция	5,66	2,24	0,74	11,00	19,64
к-2960 (Flir91-46)	Болгария	5,40	2,04	0,70	11,27	19,41
к-2965 (Flir 91-188)	Болгария	5,83	2,08	0,81	10,86	19,58
к-3073 (ILC-1799)	Сирия	5,36	2,24	0,65	11,28	19,53
$\bar{x}$		5,62	2,12	0,82	10,97	19,55
НСР <sub>05</sub>		0,15	0,06	0,09	0,12	0,06

Примечание: а. с. с. - абсолютно сухое состояние.

В исследовании наблюдается значительный диапазон варьирования выхода энергии семян с одного гектара, который составил от 13869,64 до 64618,04 МДж/га (таблица 2). Максимальное значение зафиксировано

у образца к-2307 – 64618,04 МДж/га. Значительная энергетическая оценка представленных образцов обусловлена значительным вкладом содержания безазотистых экстрактивных веществ.

**Таблица 2. Энергетическая оценка семян образцов нута в абсолютно сухом состоянии (МДж/га), среднее за 2022-2024 гг.**

**Table 2. Energy assessment of chickpea seeds in an absolutely dry state (MJ/ha), mean in 2022-2024**

Сортообразец	Происхождение	Источник энергии				Выход энергии с 1 га на а. с. с.
		Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	
к-16 (Кубанский 16)	Россия	7305,63	2901,16	1299,83	13772,24	25278,86
к - 23 (ТУРЕ 4)	Индия	13930,01	5549,13	2179,69	27194,43	48853,26
к-109 (Нут бухарский)	Россия	14288,60	5668,34	3175,85	27273,24	50406,03
к-163 (Кубанский 163)	Россия	13616,28	5435,42	2007,27	28080,63	49139,60
к-388	Узбекистан	15688,84	4709,87	2359,20	27562,56	50320,47
к-400 (Среднеазиатский 400)	Узбекистан	12256,82	4582,08	1926,68	24761,25	43526,83
к-416	Мексика	8147,18	2839,01	1225,14	15130,40	27341,73
к-434	Мексика	12326,85	4186,29	1680,80	21217,33	39411,27
к-466	Алжир	10797,72	4312,06	1814,77	23145,86	40070,41
к-532	Венесуэла	10625,63	3703,31	1207,73	21339,70	36876,37
к-534	Армения	12292,72	4652,81	1632,39	24618,83	43196,75
к-542	Сирия	16037,50	5771,74	2123,75	29535,25	53468,24
к-572	Азербайджан	17680,03	6563,28	2453,56	31373,64	58070,51
к-574	Азербайджан	17090,49	5805,37	2272,26	33010,14	58178,26
к-596	Турция	17219,37	5849,72	2106,95	34843,56	60019,60
к-1201 (Красноградский 04)	Украина	14583,64	5956,87	2459,33	30299,54	53299,38
к-1238 (Крымский 150)	Украина	5973,57	2320,93	956,38	11061,19	20312,07
к-1241 (Кинельский 17)	Россия	12383,04	5314,84	2192,70	25603,75	45494,33
к-1258 (Юбилейный)	Россия	16426,08	6427,21	2455,69	33846,89	59155,87
к-1724 (Узбекистанский 8 )	Узбекистан	12980,06	5435,42	2999,83	27625,87	49041,18
к-2307	Испания	19795,42	7571,52	2224,00	35027,10	64618,04
к-2397 (Краснокутский 36)	Россия	15064,82	5725,02	1938,31	28491,11	51219,26
к-2511 (СПК-479)	Португалия	16996,75	6336,51	2048,42	33453,76	58835,44
к-2616 (Заволжский)	Россия	7389,65	2733,17	1018,09	14571,04	25711,95

Продолжение таблицы 2

к-2793 (Flip 91-45)	Болгария	17293,22	6414,19	2305,35	33961,44	59974,20
к-2797	Турция	3828,54	1454,19	548,53	8038,38	13869,64
к-2799 (87AK71112)	Турция	16684,66	6633,98	2194,20	32443,55	57956,39
к-2960 (Flip91-46)	Болгария	16426,08	6184,67	2135,38	34166,05	58912,18
к-2965 (Flip 91-188)	Болгария	5864,60	2078,01	813,93	10930,99	19687,53
к-3073 (ILC-1799)	Сирия	14123,59	5906,06	1731,76	29792,46	51553,87
$\bar{x}$		13170,58	4967,40	1916,25	25739,07	45793,32
$НСР_{05}$		2239,50	851,40	336,33	4334,19	7652,49

Примечание: а. с. с. - абсолютно сухое состояние.

Доля питательных веществ в энергетической ценности семян нута изменялась в следующих пределах: протеин – от 26,5 до 31,3 %, жир – от 9,4 до 11,7 %, клетчатка – от 3,3 до 6,3 %, а БЭВ – от 53,8 до

58,1 % (таблица 3). При этом, наибольшая доля энергии (более 30 %), полученная за счет содержания протеина, установлена у сортообразцов нута под номерами к-434, к-388, к-572 и к-2307.

**Таблица 3. Доля питательных веществ в общей энергетической оценке семян образцов нута (%), среднее за 2022-2024 гг.**

**Table 3. Share of nutrients in the general energy assessment of chickpea seeds (%), mean in 2022-2024**

Сортообразец	Происхождение	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ
к-16 (Кубанский 16)	Россия	28,9	11,5	5,1	54,5
к – 23 (ТУРЕ 4)	Индия	28,5	11,4	4,5	55,7
к-109 (Нут бухарский)	Россия	28,4	11,3	6,3	54,1
к-163 (Кубанский 163)	Россия	27,7	11,1	4,1	57,2
к-388	Узбекистан	31,2	9,4	4,7	54,8
к-400 (Среднеазиатский 400)	Узбекистан	28,2	10,5	4,4	56,9
к-416	Мексика	29,8	10,4	4,5	55,3
к-434	Мексика	31,3	10,6	4,3	53,8
к-466	Алжир	27,0	10,8	4,5	57,8
к-532	Венесуэла	28,8	10,0	3,3	57,9
к-534	Армения	28,5	10,8	3,8	57,0
к-542	Сирия	30,0	10,8	4,0	55,3
к-572	Азербайджан	30,5	11,3	4,2	54,0
к-574	Азербайджан	29,4	10,0	3,9	56,7
к-596	Турция	28,7	9,8	3,5	58,1
к-1201 (Красноградский 04)	Украина	27,4	11,2	4,6	56,9
к-1238 (Крымский 150)	Украина	29,4	11,4	4,7	54,5
к-1241 (Кинельский 17)	Россия	27,2	11,7	4,8	56,3
к-1258 (Юбилейный)	Россия	27,8	10,9	4,2	57,2
к-1724 (Узбекистанский 8)	Узбекистан	26,5	11,1	6,1	56,3
к-2307	Испания	30,6	11,7	3,4	54,2
к-2397 (Краснокутский 36)	Россия	29,4	11,2	3,8	55,6
к-2511 (СПК-479)	Португалия	28,9	10,8	3,5	56,9
к-2616 (Заволжский)	Россия	28,7	10,6	4,0	56,7
к-2793 (Flip 91-45)	Болгария	28,8	10,7	3,8	56,6
к-2797	Турция	27,6	10,5	4,0	58,0
к-2799 (87AK71112)	Турция	28,8	11,5	3,8	56,0
к-2960 (Flip91-46)	Болгария	27,9	10,5	3,6	58,0
к-2965 (Flip 91-188)	Болгария	29,8	10,6	4,1	55,5
к-3073 (ILC-1799)	Сирия	27,4	11,5	3,4	57,8
$\bar{x}$		28,8	10,8	4,2	56,2
$НСР_{05}$		0,7	0,3	0,4	0,7

Использование биомассы нута в кормлении сельскохозяйственных животных требует тщательного анализа ее состава и питательной ценности. По результатам биохимической оценки зеленой массы изучаемых образцов нута в период формирования семян выявлена существенная изменчивость показателей биомассы: содержание протеина

варьировало в диапазоне от 11,4 до 18,6%; жира – 2,2 - 3,4 %; клетчатки – 23,8-28,5 %, зола – 8,7-15,0 %; БЭВ – 38,2 - 49,1 % (таблица 4). Установлены сортообразцы с высокими показателями по содержанию протеина – к-23 (ТУРЕ 4), к-596, к-416; по содержанию жира – к-2616 (Заволжский), к-2793 (Flir 91-45); золы – к-23 (ТУРЕ 4), к-388; БЭВ – к-16 (Кубанский 16).

**Таблица 4. Биохимический состав зеленой массы в фазу молочно – восковой спелости образцов нута (%), среднее за 2022-2024 гг.**

**Table 4. Biochemical composition of green mass at the milky-wax ripeness stage of chickpea samples (%), mean in 2022-2024**

Сортообразец	Происхождение	Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	БЭВ
к-16 (Кубанский 16)	Россия	11,9	2,3	23,8	12,9	49,1
к-23 (ТУРЕ 4)	Индия	18,1	2,2	25,9	15,1	38,7
к-109 (Нут Бухарский)	Россия	14,6	2,7	27,6	11,5	43,6
к-163 (Кубанский 163)	Россия	13,8	3,3	25,9	11,7	45,3
к-388	Узбекистан	15,1	2,9	28,1	15,0	38,9
к-400 (Среднеазиатский 400)	Узбекистан	12,6	2,2	28,3	11,7	45,2
к-416	Мексика	18,6	3,0	26,2	13,7	38,5
к-434	Мексика	13,8	2,9	28,4	13,9	41,0
к-466	Алжир	17,1	3,2	25,4	12,9	41,4
к-532	Венесуэла	13,2	2,8	24,0	12,3	47,7
к-534	Армения	13,8	2,9	27,8	12,9	40,9
к-542	Сирия	17,5	2,5	26,0	12,7	41,3
к-572	Азербайджан	17,9	3,0	25,0	11,2	42,9
к-574	Азербайджан	15,5	2,4	27,4	10,8	43,9
к-596	Турция	18,2	2,5	27,3	11,9	40,1
к-1201 (Красноградский 04)	Украина	12,4	2,6	26,4	11,5	47,1
к-1238 (Крымский 150)	Украина	11,4	3,3	27,4	10,3	47,6
к-1241 (Кинельский 17)	Россия	14,1	3,0	26,0	10,1	46,8
к-1258 (Юбилейный)	Россия	15,4	3,3	24,6	9,7	47,0
к-1724 (Узбекистанский 8)	Узбекистан	14,6	2,8	26,3	8,7	47,6
к-2307	Испания	14,9	3,2	28,5	14,8	38,6
к-2397 (Краснокутский 36)	Россия	15,4	2,8	23,9	11,5	46,4
к-2511 (СПК-479)	Португалия	14,8	2,5	25,9	12,8	44,0
к-2616 (Заволжский)	Россия	14,6	3,4	23,9	11,9	46,2
к-2793 (Flir 91-45)	Болгария	15,5	3,4	27,1	13,3	40,7
к-2797	Турция	14,1	2,9	27,3	12,3	43,4
к-2799 (87AK71112)	Турция	16,4	2,7	27,8	14,9	38,2
к-2960 (Flir91-46)	Болгария	13,5	2,9	26,2	11,2	46,2
к-2965 (Flir 91-188)	Болгария	14,4	2,8	24,3	11,1	47,4
к-3073 (ILC-1799)	Сирия	13,8	2,8	27,9	10,7	44,8
$\bar{x}$		14,9	2,8	26,3	12,2	43,7
НСР <sub>05</sub>		1,0	0,2	0,7	0,9	1,8

Диапазон варьирования содержания валовой энергии в 1 кг сухой биомассы составил 16,47...17,52 МДж, а содержание валовой энергии в 1 кг биомассы при уборке изменялся в интервале 4,15...4,73 МДж (рису-

нок 2). Сортообразцы – к-572, к-1724 (Узбекистанский 8) отличились высокой энергоемкостью в 1 кг сухой биомассы.

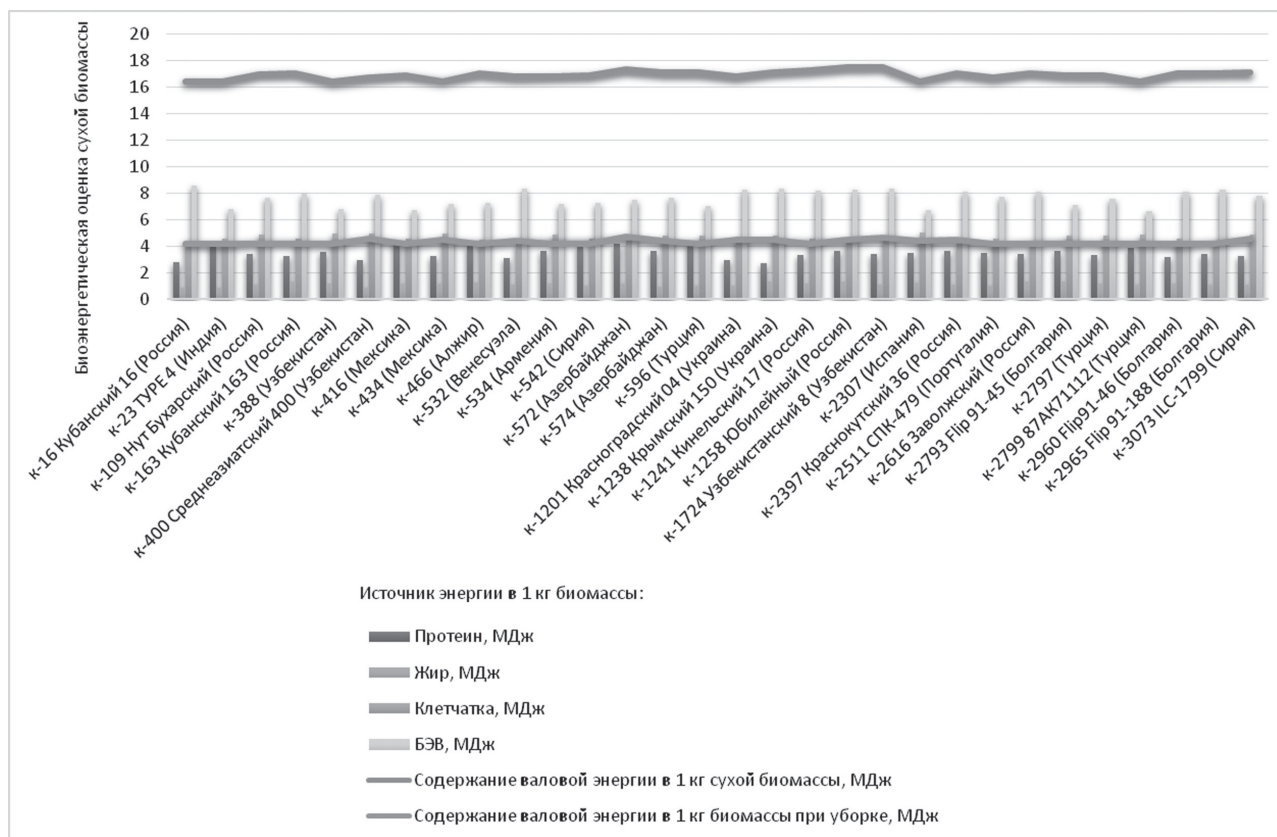


Рис. 2. Биоэнергетическая оценка сухой биомассы образцов нута, среднее за 2022-2024 гг.  
Fig. 2. Bioenergetic assessment of dry biomass of chickpea samples, mean in 2022-2024

**Выводы.** Согласно результатам исследований, были выделены ценные генотипы, рекомендованные как для практического использования, так и в качестве исходного материала в селекции нута. По содержанию протеина в семенах выделены сортообразцы – к-388, к-434, к-572, к-2307; жира – к-16 (Кубанский 16), к – 23 (ТУРЕ 4), к-572, к-1238 (Крымский 150), к-1241 (Кинельский 17), к-2307, к-2799 (87АК71112), к-3073 (ILC-1799).

Валовая энергия в 1 кг семян образцов нута

изменялась в пределах от 19,39 до 19,70 МДж, тогда как в 1 кг сухой биомассы она составила от 16,47 до 17,52 МДж. Выявлены образцы с высокой энергоемкостью: в 1 кг семян – к-572 и к-2307; в 1 кг сухой биомассы – к-572 и к-1724 (Узбекистанский 8).

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №1025042500017-3-4. 1.6»

#### Библиографический список

- Ахангаран М., Афанасьев Д.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г., Гаравири М. Биоактивные пептиды и антипитательные вещества нута: характеристика и свойства (обзор)// Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(1):214-223. DOI:10.30901/2227-8834-2022-1-214-223
- Балашов В.В., Балашов А.В., Малахова А.А. Влияние гидротермических условий на элементы структуры урожая и урожайность сортов нута на каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2(50).С. 17-23
- Булынец С.В. Новикова Л.Ю., Гриднев Г.А. Результаты изучения коллекционных образцов нута в условиях Тамбовской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 1(21). С. 9-17
- Вишнякова М.А. Коллекция генетических ресурсов зернобобовых ВИР как неотъемлемая составляющая основы продовольственной, экологической и биоресурсной безопасности // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3(23). С. 29-32
- Вус Н.А., Кобызева Л.Н., Безуглая О.Н. Определение селекционной ценности коллекционных образцов нута (*Cicer arietinum* L.) методом кластерного анализа // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020; 24(3):244-251. DOI: 10.18699/VJ20.617. – EDN DDEONR
- Донская М.В., Бобков С. В., Костикова Н. О. Оценка качества зерна различных сортообразцов нута // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 1(37). С. 30-36. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-30-36
- Жужукин В.И., Мухатова Ж.Н., Субботин А.Г., Еськов И.Д., Шьюрова Н.А. Биоэнергетический подход к оценке

исходного материала для селекции нута (*Cicer arietinum* L.) в Нижнем Поволжье // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 16-20. DOI:/10.28983/asj.y2022i5pp16-20

8. Зоотехнический анализ кормов. М. Агропромиздат. 1989. 239 с.

9. Казыдуб Н.Г., Кузьмина С.П., Боровикова М.А., Безуглова Е.В., Быкова К.А. Зернобобовые культуры в Западной Сибири (фасоль и бобы овощные, нут): биология, генетика, селекция, использование: Монография. Электронный ресурс. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2020. 251 с.

10. Сазонова И.А., Бычкова В.В., Ерохина А.В., Молчанов А. В., Зайцев С.А. Потенциал зернобобовых культур как высокобелкового компонента в кормопроизводстве // Аграрный научный журнал. 2024. № 8. С. 103-107. DOI: 10.28983/asj.y2024i8pp103-107

11. Karimizadeh R., Pezeshkpour P., Mirzaee A., Barzali M., Sharifi P., Safari Motlagh M.R. Stability analysis for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by experimental and biological approaches. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2023;27(2):135-145.

#### References

1. Akhangaran M., Afanas'ev D.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Garaviri M. Bioaktivnye peptidy i antipitel'nye veshchestva nuta: kharakteristika i svoistva (obzor) [Bioactive peptides and antinutrients in chickpeas: characteristics and properties (review)] // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2022;183(1):214-223. DOI:10.30901/2227-8834-2022-1-214-223

2. Balashov V.V., Balashov A.V., Malakhova A.A. Vliyanie gidrotermicheskikh uslovii na elementy struktury urozhaya i urozhainost' sortov nuta na kashtanovykh pochvakh Volgogradskoi oblasti [The effect of hydrothermal conditions on the yield structure elements and productivity of chickpea varieties on chestnut soils in the Volgograd region] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2018. № 2(50).S. 17-23

3. Bulyntsev S.V. Novikova L.Yu., Gridnev G.A. Rezul'taty izucheniya kolleksiionnykh obraztsov nuta v usloviyakh Tambovskoi oblasti [Study results of chickpea collection samples in the Tambov region]// *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2017. № 1(21). S. 9-17

4. Vishnyakova M.A. Kolleksiya geneticheskikh resursov zernobobovykh VIR kak neot'memlaya sostavlyayushchaya osnovy prodovol'stvennoi, ekologicheskoi i bioresursnoi bezopasnosti [The VIR collection of legume genetic resources as an integral component of food, environment, and bio resource security]// *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2017. № 3(23). S. 29-32

5. Vus N.A., Kobzyeva L.N., Bezuglaya O.N. Opredelenie selektsionnoi tsennosti kolleksiionnykh obraztsov nuta (*Cicer arietinum* L.) metodom klaster'nogo analiza [Determining the breeding value of collection chickpea (*cicer arietinum* L.) samples using cluster analysis]// *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2020; 24(3):244-251. DOI: 10.18699/VJ20.617. – EDN DDEONR

6. Donskaya M.V., Bobkov S. V., Kostikova N. O. Otsenka kachestva zerna razlichnykh sortoobraztsov nuta [Grain quality estimation of different chickpea varieties] // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2021. № 1(37). S. 30-36. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-30-36

7. Zhuzhukin V.I., Mukhatova Zh.N., Subbotin A.G., Es'kov I.D., Sh'yurova N.A. Bioenergeticheskii podkhod k otsenke iskhodnogo materiala dlya seleksii nuta (*Cicer arietinum* L.) v Nizhnem Povolzh'e [Bioenergetic approach to assessing source material for chickpea (*cicer arietinum* L.) breeding in the Lower Volga region ] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2022. № 5. S. 16-20. DOI:/10.28983/asj.y2022i5pp16-20

8. Зоотехнический анализ кормов. [Zootechnical analysis of feed] М. Агропромиздат. 1989. 239 с.

9. Казыдуб Н.Г., Кузьмина С.П., Боровикова М.А., Безуглова Е.В., Быкова К.А. Зернобобовые культуры в Западной Сибири (фасоль и бобы овощные, нут): биология, генетика, селекция, использование: Монография. [Leguminous crops in Western Siberia (beans and vegetable beans, chickpeas): biology, genetics, breeding, and use: monograph] Электронный ресурс. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2020. 251 с.

10. Sazonova I.A., Bychkova V.V., Erokhina A.V., Molchanov A. V., Zaitsev S.A. Potentsial zernobobovykh kul'tur kak vysokobelkovogo komponenta v kormoproizvodstve [Potential of leguminous crops as a high-protein component in forage production] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2024. № 8. S. 103-107. DOI: 10.28983/asj.y2024i8pp103-107

11. Karimizadeh R., Pezeshkpour P., Mirzaee A., Barzali M., Sharifi P., Safari Motlagh M.R. Stability analysis for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by experimental and biological approaches. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2023;27(2):135-145.

Поступила: 21.07.25; доработана после рецензирования: 10.03.26; принята к публикации: 18.03.26.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Мухатова Ж.Н., Субботин А.Г., Степанова Н.В. – концептуализация исследования; подготовка опыта, выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных; анализ данных и их интерпретация; подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО**

УДК 633.11 «324» 664.6/7

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-71-76

**ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОЗЁРНОСТИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР)**

**О. И. Бундина**<sup>1</sup>, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник отдела безопасности и качества зерна и зернопродуктов, o.bundina@fncps.ru, ORCID ID: 0000-0002-7821-6042;

**С. Н. Коломиец**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела безопасности и качества зерна и зернопродуктов, s.kolomiets@fncps.ru, ORCID ID: 0000-0002-3130-2285;

**А. Ю. Герасина**<sup>1</sup>, научный сотрудник отдела безопасности и качества зерна и зернопродуктов, a.gerasina@fncps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8079-6381>;

**В. В. Бумба**<sup>2</sup>, старший преподаватель кафедры ФП УНК СП, eveline\_85@mail.ru

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 127434, Россия, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 11;*

<sup>2</sup> *ФГКОУ ВО «Московский ордена Почета университет Министерства внутренних дел Российской Федерации им. В.Я. Кикотя», 117997, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 12.*

В данном обзоре рассмотрены работы российских и зарубежных учёных, посвящённые влиянию твердозёрности на технологические свойства пшеницы, а также представлены основные методы её определения. Твердозёрность – числовая характеристика структурно-механических (прочностных) и мукомольных свойств пшеницы, характеризующая показателем степени измельчения и существенно влияющая на его мукомольные характеристики. В настоящее время нет общепринятого метода определения твердозёрности. При этом существуют различные методы определения твердозёрности, которые можно разделить на следующие группы: 1) группа методов, основанных на анализе физических характеристик процесса измельчения зерна; 2) гранулометрические методы; 3) гранулометрические-фрактографические методы (фрактография); 4) методы, основанные на анализе физико-химических показателей размола зерна; 5) методы определения микротвёрдости зерна; 6) седиментационный анализ; 7) метод Тейлора; 8) методы экспрессного анализа. Однако имеющиеся на сегодняшний день методики определения твердозёрности имеют высокую трудоёмкость выполнения измерений, длительную продолжительность определения, несопоставимость результатов с другими методами, что ограничивает их использование. Классификация зерна пшеницы по показателю твердозёрности не нашла широкого применения в России. В некоторых странах, таких как Канада, США и Австралия пшеницу делят на твердозёрную (hard) и мягкозёрную (soft). В американской системе классификации в отличие от российской пшеницу вида *Triticum aestivum* подразделяют на типы по признаку твердозёрности, и в названии типов это определение стоит на первом месте: твердозёрная (hard) или мягкозёрная (soft) пшеница. Это является принципиально важным, так как вследствие различий в технологических свойствах твердозёрные и мягкозёрные пшеницы имеют разное целевое назначение.

**Ключевые слова:** зерно, пшеница, твердозёрность, мягкозёрная, твердозёрная, среднетвердозёрная, методы определения твердозёрности.

**Для цитирования:** Бундина О. И., Коломиец С. Н., Герасина А. Ю., Бумба В. В. Влияние твердозёрности на технологические показатели (обзор) // *Зерновое хозяйство России*. 2026. Т. 18, № 2. С. 71-76. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-71-76

**THE INFLUENCE OF GRAIN HARDNESS ON TECHNOLOGICAL INDICATORS OF WHEAT (REVIEW)**

**O.I. Bundina**<sup>1</sup>, Candidate of Economic Sciences, senior researcher of the department of grain and grain products' safety and quality, o.bundina@fncps.ru, ORCID ID: 0000-0002-7821-6042;

**S.N. Kolomiets**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of grain and grain products' safety and quality, s.kolomiets@fncps.ru, ORCID ID: 0000-0002-3130-2285;

**A.Yu. Gerasina**<sup>1</sup>, researcher of the department of grain and grain products' safety and quality, a.gerasina@fncps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8079-6381>;

**V.V. Bumba**<sup>2</sup>, senior lecturer of the department of PT ESC ST, eveline\_85@mail.ru

<sup>1</sup> *All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, 127434, Moscow, Dmitrovskoe Hw, 11;*

<sup>2</sup> *FSPEE HE "Moscow Order of Honor University of the Ministry of the Interior of the Russian Federation named after V.Y. Kikot", 117997, Moscow, Akademik Volgin Str., 12.*

The current review has considered the works of Russian and foreign scientists devoted to the influence of grain hardness on the technological properties of wheat and has presented the main methods for its determination. Grain hardness is a numerical characteristic of the structural, mechanical (strength), and milling properties of wheat, characterized by a grinding degree, and significantly affecting its milling characteristics. Currently, there is no generally accepted method for determining grain hardness. There are various methods for determining grain hardness, which can be divided into the following groups: 1) a group of methods based on the analysis of the physical characteristics of a grain grinding process; 2) granulometric methods; 3) granulometric-fractographic methods (fractography); 4) methods based on the analysis of physical and chemical indicators of grain grinding; 5) methods for determining microhardness of grain; 6) a sedimentation analysis; 7) a Taylor method; 8) express analysis methods. However, currently available methods for determining grain hardness are labor-intensive, time-consuming, and lack comparability with other methods, limiting their use. Classifying wheat grain according to grain hardness has not found a widespread use in Russia. In some countries, such as Canada, the United States, and Australia, wheat grain is divided into hard and soft. In the American classification system, unlike the Russian one, *Triticum aestivum* wheat is divided into types based on grain hardness, and this distinction appears first in the type names, i.e. hard or soft wheat. This is crucial, as due to differences in their technological properties, hard and soft wheat have different intended uses.

**Keywords:** grain, wheat, grain hardness, soft grain, hard grain, medium-hard grain, methods for determining grain hardness.

**Введение.** Классификация зерна пшеницы по показателю твердозёрности не нашла широкого применения в России. Это связано с тем, что аграрная политика в странах, ранее входивших в состав СССР, была направлена на производство зерна сильной и ценной пшеницы (Федотов В.А., 2017; Кошкин М.Н. и др., 2025). Зерно одного и того же качества зачастую используют и на производство хлеба, круп, макарон и на кормовые, технические цели. Термин «мягкая», используемый для обозначения данного вида пшеницы согласно российскому стандарту, не характеризует твёрдость зерна, так как мягкая пшеница различается по степени твердозёрности на мягкозёрную, среднезёрную и высокотвердозёрную. Мягкую пшеницу обычно применяют для выпечки хлебулочных, кондитерских и кулинарных изделий. В российском стандарте сорта мягкой пшеницы по степени твердозёрности с генетически обусловленными различиями в технологических характеристиках объединены в один тип, который может включать как высокотвердозёрные, среднезёрные так и мягкозёрные сорта. При этом в России подавляющее большинство сортов пшениц, зарегистрированных в государственном реестре и относящихся к виду *Triticum aestivum*, являются твердозёрными, а мягкозёрных сортов крайне мало. В отличие от американской классификации, в которой такие пшеницы выделены в отдельные типы – мягкозёрные («soft»), в российской – отсутствуют, в которой мягкозёрные сорта пшеницы в отдельный тип не выделяются (Мелешкина Е.П., 2019).

**Цель исследований** – изучение методов определения твердозёрности и ее влияния на другие технологические показатели качества пшеницы.

**Результаты и их обсуждение.** Твердозёрность – числовая характеристика структурно-механических (прочностных) и, следовательно, мукомольных свойств пшеницы, характеризующая показателем степени измельчения и существенно влияющая на его мукомольные характеристики, формируя особенности помола различных сортов наряду со стекловидностью. В отличие от стекловидности, которая подвержена колебаниям под воздействием климатических факторов (от 90% до 0%), твердозёрность практически не зависит от погодных условий (Медведев П.В. и др., 2022).

Признак твердозёрности зерна является в большей степени генетически детерминированной характеристикой зерна, незначительно изменяемой

от погодно-климатических условий выращивания (Абугалиева А.И. и др., 2012). В ранних работах по исследованию твердозёрности было показано наличие одного или двух генов, а также нескольких второстепенных генов, которые модифицируют активность главного гена твердозёрности (Симонов А.В. и др., 2017).

Согласно результатам, полученным Ефремовой Т.Т. и Арбузовой В.С., исследование, направленное на определение уровня белка в зерне и анализ признака твердозёрности у модифицированных линий пшеницы Саратовская 29 с хромосомным замещением 5A и 5D, показало значительное влияние хромосомы 5D на этот признак, независимо от типа эндосперма (мягкого или твёрдого). Эксперименты проводились в теплице и на полевых участках. Авторам удалось выделить линии пшеницы Саратовская 29 с замещённой хромосомой 5D, демонстрирующие наилучшие значения исследуемых параметров (Ефремова Т.Т. и др., 2011; Жиганова Е.С. и др., 2024).

В работах других авторов по оценке влияния различных факторов на мукомольные свойства пшеницы на массе 200 образцов при помощи множественного регрессионного линейного анализа получили стандартизированное уравнение регрессии:  $Y = -0,64X_1 - 0,73X_2 - 1,18X_3$ , где  $X_1, X_2, X_3$  – показатели стекловидности, природы и твердозёрности, соответственно. Коэффициенты частной корреляции:  $Y-X_1 = 0,792$ ;  $Y-X_2 = 0,776$ ;  $Y-X_3 = 0,915$ , свидетельствующие, что показатель твердозёрности в наибольшей степени определяет выход муки. При стекловидности не ниже 40% и натуре 750 г/л этот предел, представляющий собой показатель степени измельчения (ПСИ<sub>14</sub>, % (по методике ВНИИ зерна), составляет 18,5%.

Комплексная оценка показателей: природы, стекловидности, зольности, «числа падения», количества и качества клейковины не может в полной мере охарактеризовать потребительские достоинства зерна и муки (Нецветаев В.П. и др., 2020).

Показатель твердозёрности тесно связан с физико-химическими свойствами зерна, а значит может служить в качестве комплексного показателя.

В ходе исследований, выполненных Медведевым П.В., Федотовым В.А. изучалось влияние продолжительности замеса на характеристики формового и подового хлеба, который выпекали из зерна, имеющего одинаковую твердозёрность.

При этом влажность теста была 45,5%, а продолжительность замеса менялась от 10 до 30 минут. На основе проведенного анализа 175 образцов хлеба разрабатывались математические модели, характеризующие взаимосвязь между объёмным выходом хлеба и его органолептической оценкой, а также ключевыми параметрами, определяющими качество хлеба (твердозёрность зерна  $T$ , кг/мм<sup>2</sup>; влажность теста  $W$ , %; интенсивность его замеса  $H$ , мин). При этом установлена зависимость объёмного выхода хлеба от указанных факторов с высокой степенью достоверности ( $R=0,84$ ;  $R^2=0,71$ ),

$$V_b = -3,064 * H^2 + 82,334 * H + 2,835 * W - 0,078 * T^2 + 3,817 * T - 201,7.$$

Также была построена модель, отражающая связь между балльной оценкой качества хлеба и влияющими на неё факторами ( $R=0,73$ ;  $R^2=0,53$ ).

$$Est = -0,661 * H^2 + 18,120 * H + 1,260 * W - 0,035 * T^2 + 1,638 * T - 113,75.$$

Погрешность прогнозирования показателей качества хлеба с использованием предложенных моделей составила не более 8% для объёмного выхода и не более 15% для балльной оценки (Медведев П.В. и др., 2022).

В опытах по изучению мукомольных свойств пшеницы, в том числе твердозёрности, после хранения в течение 3-4 лет установлено, что показатель твердозёрности испытанных образцов пшеницы колебался в пределах 20,4-23,7 мкм, что характеризовало все образцы как среднетвердозёрные и твердозёрные.

На основе опытов по изучению свойств пшеницы после хранения в течение 6 лет установлено, что в большей степени на снижение значения комплексного показателя качества (квалиметрический анализ) оказала группа «Показатели сохраняемости», коэффициент весомости – 0,35 (массовая доля влаги, кислотное число жира). Влияние таких групп, как «Технологические показатели», (количество и качество клейковины, натура, число падения, стекловидность), «Мукомольные показатели» (общий выход муки, кислотность, белизна, седиментация, твердозёрность) и «Хлебопекарные показатели» (объёмный выход хлеба, водопоглощение, сила муки, пористость мякиша, цвет мякиша, органолептическая оценка хлеба) по сравнению с начальными показателями было незначительным, коэффициент весомости – 0,3; 0,15 и 0,2 соответственно. Все образцы пшеницы на последнем этапе хранения соответствовали нормам, характеризующим пшеницу как твердозёрную, как и при закладке на хранение (Гурьева К.Б. и др., 2023).

В настоящее время нет общепринятого метода определения твердозёрности. Имеющиеся на сегодняшний день методики определения твердозёрности имеют высокую трудоёмкость выполнения измерений, длительную продолжительность определения, несопоставимость результатов с другими методами, что ограничивает их использование. «Твёрдость пшеницы обуславливает количество энергии, затрачиваемое на помол, степень разрушенности крахмала, средний эквивалентный диаметр частиц и водопоглощение муки, с учётом её сорта». Твёрдость зерна пшеницы связана с различиями в свойствах эндосперма таких, как в прочностных, так и

в пластических. На прочность при сжатии эндосперма зерна пшеницы влияют содержание влаги, скорость деформации и направление сил напряжения (Campbell G.M., 2007).

Методы определения твердозёрности можно разделить на несколько групп:

1. Первая группа методов включает ряд подходов, основанных на анализе физических характеристик процесса измельчения зерна. Изначально, наиболее эффективные методы оценки прочностных свойств зерна основывались на использовании электродинамометра, необходимого для разрушения зерна. На основании изучения разрушения зерна различных сортов пшеницы была разработана шкала технологической «твёрдости» зерна. При этом выявлено существенное влияние влажности зерна на прочность зерновой массы, что снижает точность и усложняет процедуру проведения таких испытаний. Черных В.Я. и его соавторы предварительно классифицировали пшеницу по твердозёрности в соответствии с установленными значениями показателя индекса твёрдости  $Ih$  ( $H * мм / %$ ). Было выделено три группы: I –  $>25$  – высокотвердозёрная (для выработки макаронных изделий); II – 22-25 – среднетвердозёрная (для хлебопекарной промышленности); III –  $<22$  – мягкозёрная (для выработки кондитерских изделий) (Черных В.Я. и др., 2023).

2. Гранулометрические методы – методы, основанные на анализе гранулометрического состава муки, включающие в себя различные методики ситового анализа продуктов его размола по проходу определённого сита, косвенно характеризующие степень твердозёрности, что дает низкую точность определения, или в просеивании исследуемой пробы через набор сит, определении процентного содержания остатка на каждом из них по отношению к весу исходной пробы. Сюда же относится метод, предложенный Беркутовой Н.С. и соавторами, по индексу размера частиц (ИРЧ) – массе прохода сита №0071 муки 70%-ного выхода, выраженную в процентах к исходной навеске. Твердозёрные сорта характеризуются меньшими значениями ИРЧ (18-33%), мягкозёрные сорта – 34-42%.

Во ВНИИЗ (1981-1983 гг.) разработана методика определения показателя твердозёрности по степени измельчения (ПСИ), которая неоднократно уточнялась (2001 г., 2003 г.) ввиду изменения качества пшеницы. По результатам урожая 2001-2002 гг. установлено, что в основном зерно представлено 1 классом твердозёрности – высокотвердозёрный, незначительно – 2-ым классом – средней твердозёрности. Третий класс твердозёрности отсутствовал. Было изучено влияние влажности на показатель твердозёрности на искусственно-увлажнённых пробах зерна пшеницы в диапазоне влажности 9-17%. Метод заключается в определении прочностных свойств зерна пшеницы путём измельчения навески зерна в лабораторной мельнице и выделении определённой фракции измельчённого продукта ситовым анализом. Наряду с показателями ПСИ<sub>факт</sub> для сравнения проб пшеницы разной влажности по твердозёрности полученную величину показателя степени измельчения приводят к единой влажности 14,0% (ПСИ<sub>14</sub>) в соответствии с формулой пересчёта (таблица 1).

Таблица 1. Классификация пшеницы по показателю степени измельчения (ПСИ) для I, II, III и IV типов  
Table 1. Classification of wheat according to a grinding degree index (GDI) for types I, II, III, and IV

Вид пшеницы	Класс твердозёрности	ПСИ % <sub>факт</sub> <sup>х)</sup>	ПСИ <sub>14</sub> , %	Выход круподунстовых продуктов на I-III драных системах, % (мельница МЛУ-202)
Твёрдая	-	7-11	6-9	-
Мягкая твёрдозёрная	1 – высокотвёрдозёрный	14-23	11-18	более 61
	2 – средней твёрдозёрности	24-28	19-22	61-55
	3 <sup>х)</sup> – ниже средней твердозёрности	29-33	23-26	-
Мягкая мягкозёрная	-	34 и бо- лее	27 и более	менее 55

<sup>х)</sup> – 3-й класс отсутствовал

Гранулометрический состав различных видов продуктов мукомольного производства оказывает существенное влияние на весь технологический процесс, как на параметры рабочих органов, так и режим работы технологического оборудования. С учетом гранулометрических характеристик продуктов размола (размер, форма частиц), возможно разрабатывать баланс помола, оптимизировать работу технологических машин и в целом управлять технологическим процессом мукомольного производства. Размеры и форма частиц муки оказывают существенное влияние на ход биохимических и реологических реакций, происходящих в тесте. Контроль над этими характеристиками позволяет улучшить показатели и качество выпечки (Панкратов Г.Н., 2015).

1. Гранулометрический-фрактографический метод (фрактография), позволяющий учитывать размеры и форму частиц продуктов размола зерна. Анализ фрактографии предполагает изучение характера изломов на поверхности зерновки после её разрушения. Для исследования частиц, полученных в результате помола зерна, наиболее эффективными являются методы оптической микроскопии. Микроскопическое исследование включает в себя измерение условных размеров частиц и подсчёт их количества в заданном диапазоне размеров – как визуально, так и с использованием микрофотографий препарата. Оценка твердозёрности по микротвёрдости является одним из немногих непосредственных способов определения этого показателя и может служить основополагающей методикой. Метод, предложенный Медведевым П.В. и Федотовым В.А., основан на (отличии от обычного размола зерна и измерения максимального усилия) определении максимального разрушающего усилия посредством оптического микроскопирования муки, полученной в процессе размола (Медведев П.В. и др., 2022). Для этого делают снимки, на которых из центра масс каждой частицы муки проводят не менее 300 линий до её контура в разных направлениях. Затем вычисляют среднюю длину этих линий ( $X$ , мкм) и коэффициент их вариации ( $K$ , %). Максимальное разрушающее усилие ( $P_m$  а х, в условных единицах пластографа) рассчитывается по формуле:

$$P_m \text{ а х} = 9,51 \cdot X \text{ р . с т .} + 6,02 \cdot K \text{ с р . с т .} + 112,04$$

$X$  р . с т . – среднестатистические значения  $X$  при измерении не менее 5000 частиц зерна, мкм,

$K$  с р . с т . – среднестатистические значения  $K$  при измерении не менее 5000 частиц зерна. Практическая

ценность разработки заключается в повышении точности определения твердозёрности пшеницы, сокращении времени проведения анализа и уменьшении затрат труда.

2. Методы, основанные на анализе физико-химических показателей размола зерна, например, дисперсности. Измерение дисперсности проводят на поверхностемере, который измеряет удельную поверхность разлома. При этом методе необходимо условие, все частицы продукта (шрота или муки) имеют сферическую форму, что оказывает существенное влияние на точность получаемых результатов.

Альтернативный подход к определению гранулометрического состава лигноуглеводных материалов, разработанный Титовым О.И. и соавторами, использует прямой оптический метод, основанный на компьютерном анализе изображений. В рамках этого метода с помощью специализированной программы измеряют массу и площадь частиц. Отличительной особенностью метода является предварительная обработка измельченных лигноуглеводных материалов ультразвуком и последующее нанесение их в виде суспензии в органическом растворителе на стекло, закрытое другим стеклом, а затем сканирование. Кроме определения гранулометрического состава, дополнительно оценивается степень разрушения материала, что позволяет получить более достоверные сведения о форме и размере частиц, а также прогнозировать характеристики продуктов, образующихся в результате химических реакций.

3. Метод определения микротвёрдости зерна, которую выражают в единицах, соответствующих усилию на вдавливание к площади получившегося следа ( $\text{кг/мм}^2$ ), определяют на микротвердомере ПМТ-3, микротвердомере Брабендера или приставке-твердомере к фаринографу. При анализе оценивается твёрдость каждого зерна по отдельности. Затем вычисляется либо среднее значение этой характеристики, либо формируется распределение по ней. Недостатком подхода является то, что требуется проводить измерения на различных участках одного и того же зерна, а для получения надёжных статистических данных о твёрдости всей партии необходимо выполнить несколько сотен измерений, что исключает возможность использования метода в промышленных масштабах.

4. Седиментационный анализ (или набухание мелкой и крупной фракции муки), основанный на зависимости скорости осаждения однородных частиц

в вязкой среде от их размеров. Данный показатель у твердозёрных сортов пшеницы, как правило, близок к 1, у мягкозёрных – не превышает 0,5-0,7. Допустимое отклонение между результатами повторных измерений – не более 2%. Среди недостатков данного метода можно выделить: его трудозатратность и существенное влияние различных факторов (например, состав белков в зерне, влажность) на точность определения.

5. Метод Тейлора, позволяющий оценивать твердозёрность зерна путём установления «индекса шелушения». Данный индекс основан на измерении удельного веса массы, оставшейся после отделения оболочки от определенного количества пшеницы в лабораторном шелушителе, работающем в заданном режиме. Однако точность данного подхода невысока, так как количество отделившихся оболочек зависит не только от твердости зерна, но на этот показатель влияют также природные, климатические и сельскохозяйственные условия. В этой связи данный показатель только косвенно свидетельствует о твердозёрности зерна.

6. Методы экспрессного анализа твердозёрности, которые применяют на начальных стадиях переработки зерна.

В ходе исследования, проведённого В.А. Федотовым и соавторами на 13 сортах яровой пшеницы различной твердозёрностью, трёх зон районирования Оренбургской области (западной, центральной и восточной), были

проведены пробные лабораторные помолы и выпечка хлеба безопасным способом. Выявлено, что в большей степени варьировали влажность теста и интенсивность его замеса, что отражалось на объёмном выходе хлеба и его органолептической оценки. Для муки из зерна с одинаковой твердозёрностью при влажности теста 45,5%, варьируя только продолжительность замеса, объёмный выход хлеба и балльная оценка изменялись нелинейно (Федотов В.А., 2017).

Для муки, полученной из зерна, имеющего повышенную твердозёрность, было установлено, что для получения хлеба с максимальным объёмным выходом и наивысшей органолептической оценкой оптимальные условия достигались при замесе теста с повышенной влажностью и увеличенной продолжительностью замеса теста. Полученные данные оценки твердозёрности показали высокую степень соответствия результатам, полученным с использованием стандартного метода измерения микротвёрдости на приборе ПМТ-3. На основе экспериментальных данных авторами было разработано регрессионное уравнение, позволяющее определять твердозёрность зерна с погрешностью не более 3%.

Согласно результатам, полученным при определении твёрдости зерна по показателю микротвёрдости, диапазон значений твёрдости (в кг/мм<sup>2</sup>) варьируется от 10 до 25 и более кг/мм<sup>2</sup> (таблица 2).

**Таблица 2. Классы твердозёрности зерна пшеницы**  
**Table 2. Classes of wheat grain hardness**

Класс твердозёрности зерна	Диапазон микротвёрдости, кг/мм <sup>2</sup>
Сверхтвердозёрное	более 20
Высокотвердозёрное	15-20
Среднетвердозёрное	10-15
Низкотвердозёрное	менее 10

В ходе десятилетнего исследования, охватившего 196 образцов, изучавшего воздействие твердозёрности на характеристики муки и выпечки – в частности, на сахарное печенье, изготовленное из пшеницы пяти различных групп по степени твердости, было выявлено, что время выпечки изделий из мягкозёрной пшеницы сокращается из-за более быстрой потери влаги в процессе нагрева. Приобретение печеньем характерного цвета, похожего на сахарное, наблюдается у изделий из мягкозёрной пшеницы на шестой минуте выпечки, при этом влажность снижается

до 4%. В то же время, у печенья, приготовленного из сверхтвердозёрной пшеницы, влажность падает до 4% уже на третьей минуте (Медведев П.В. и др., 2022).

**Заключение.** Для установления уточнённых норм по твердозёрности с целью дальнейшего введения в целевую классификацию по физико-химическим и реологическим показателям, рассматриваемый вопрос нуждается в дальнейшей проработке на большом количестве проб муки с широким диапазоном качества.

**Финансирование.** Работа выполнена по теме государственного задания № FGUS-2025–0002.

#### Библиографический список

- Абугалиева А.И., Пеня Х.Р., Буць А.А., Савин Т.В. Твердозёрность и состав глютеина озимой пшеницы и ее гибридов с дикими сородичами // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2012. № 2 (225). С. 105-112
- Гурьева К.Б., Хаба Н.А., Белецкий С.Л. Комплексный подход к оценке пшеницы при длительном хранении // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. Монография. МЦНС «Наука и просвещение». Пенза, 2023. С. 194-220
- Ефремова Т.Т., Арбузова В.С. Роль хромосом 5-й гомеологической группы в контроле твёрдозёрности и содержания белка в зерне замещённых линий мягкой пшеницы Саратовская 29 // Генетика. 2011. Т.47, № 5. С. 624-632
- Жиганова Е.С., Садыгова М.К., Черных В.Я., Цвета Н.М., Соловова Н.С., Осыка И.А. Комплексная оценка технологических свойств новых сортов пшеницы саратовской селекции для производства макаронных изделий // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. № 3. С. 92-103. DOI: 10.36107/spfr.2024.3.587
- Кошкин М.Н., Виноградова А.О., Потоцкая И.В. Анализ урожайности и качества зерна отечественных и зарубежных сортов яровой мягкой пшеницы в условиях западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2025. № 1 (214). С. 25-32. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-25-32
- Медведев П.В., Федотов В.А., Бочкарева И.А., Лукьянова Е.С. Формирование хлебопекарных свойств муки под влиянием структурно-механических качеств зерна пшеницы // Международный научно-исследовательский

журнал. 2022. № 7-1 (121). С. 6-8. DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.001

7. Мелешкина Е.П. Особенности и основные отличия стандартов на пшеницу в США и в России // Хлебопродукты. 2019. № 11. С. 22-26. DOI: 10.32462/0235-2508-2019-28-11-22-26

8. Нецветаев В.П., Козелец Я.О., Ащеулова А.П., Нерубенко О.Е., Акиншина О.В. Показатели качества зерна озимой мягкой пшеницы и роль в этом наследственных факторов, связанных с углеводным комплексом эндосперма // Генетика. 2020. Т. 56, № 12. С. 1399-1409. DOI: 10.31857/S0016675820120115

9. Панкратов Г.Н. Гранулометрический состав продуктов размола // Хлебопродукты. 2015. № 5. С. 46-49

10. Симонов А.В., Чистякова А.К., Морозова Е.В., Щукина Л.В., Бёрнер А., Пшеничникова Т.А. Создание нового для мягкой пшеницы генотипа -носителя двух локусов мягкозерности эндосперма // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 3. С. 341-346. DOI: 10.18699/VJ17.251

11. Федотов В.А. К вопросу оценки качества пшеницы по структурно-механическим свойствам зерна // Международный научный исследовательский журнал. 2017. № 8-3 (62). С. 80-82. DOI: 10.23670/IRJ.2017.62.028

12. Черных В.Я., Максимов А.С., Балуюн Х.А. Классификация технологических свойств пшеницы по показателям твердозёрности // Хлебопродукты. 2023. № 6. С. 54-60. DOI: 10.32462/0235-2508-2023-32-6-54-60

13. Campbell G.M. On Predicting Roller Milling Performance VI: Effect of Kernel Hardness and Shape on the Particle Size Distribution from First Break Milling of Wheat / G.M. Campbell, C. Fang. I.I. Muhamad // Food and Bioproducts Processing. 2007. 85 (1). PP. 7-23. <https://doi.org/10.1205/FBP06005/>

### References

1. Abugalieva A.I., Pen'ya Kh.R., Buts' A.A., Savin T.V. Tverdozernost' i sostav glyutenina ozimoi pshenitsy i ee gibridov s dikimi sorodichami [Grain hardness and glutenin composition of winter wheat and its hybrids with wild relatives] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2012. № 2 (225). С. 105-112

2. Gur'eva K.B., Khaba N.A., Beletskii S.L. Kompleksnyi podkhod k otsenke pshenitsy pri dlitel'nom khraneniі [An integrated approach to assessing wheat during a long-term storage] // Sovremennaya nauka: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii. Monografiya. MTsNS «Nauka i prosveshchenie». Penza, 2023. С. 194-220

3. Efremova T.T., Arbuzova V.S. Rol' khromosom 5-i gomeologicheskoi gruppy v kontrole tverdozernosti i sodержaniya belka v zerne zameshchennykh linii myagkoi pshenitsy Saratovskaya 29 [The role of chromosomes of the 5th homeologous group in controlling grain hardness and protein percentage in grain of substituted lines of common wheat Saratovskaya 29] // Генетика. 2011. Т.47, № 5. С. 624-632

4. Zhiganova E.S., Sadygova M.K., Chernykh V.Ya., Tsetva N.M., Solovova N.S., Osyka I.A. Kompleksnaya otsenka tekhnologicheskikh svoystv novykh sortov pshenitsy saratovskoi selektsii dlya proizvodstva makaronnykh izdelii [A comprehensive assessment of the technological properties of new wheat varieties bred in Saratov for pasta production] // Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya. 2024. № 3. С. 92-103. DOI: 10.36107/spfp.2024.3.587

5. Koshkin M.N., Vinogradova A.O., Pototskaya I.V. Analiz urozhainosti i kachestva zerna otechestvennykh i zarubezhnykh sortov yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh zapadnoi Sibiri [Analysis of productivity and grain quality of domestic and foreign spring common wheat varieties in Western Siberia] // Vestnik KrasGAU. 2025. № 1 (214). С. 25-32. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-25-32

6. Medvedev P.V., Fedotov V.A., Bochkareva I.A., Luk'yanova E.S. Formirovaniye khlebopekarnykh svoystv muki pod vliyaniem strukturno-mekhanicheskikh kachestv zerna pshenitsy [Formation of flour baking properties under the effect of the structural and mechanical properties of wheat grain] // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2022. № 7-1 (121). С. 6-8. DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.001

7. Meleshkina E.P. Osobennosti i osnovnye otlichiya standartov na pshenitsu v SShA i v Rossii [Characteristics and main differences among wheat standards in the USA and Russia] // Khleboprodukty. 2019. № 11. С. 22-26. DOI: 10.32462/0235-2508-2019-28-11-22-26

8. Netsvetaev V.P., Kozelets Ya.O., Ashcheuлова A.P., Nerubenko O.E., Akinshina O.V. Pokazateli kachestva zerna ozimoi myagkoi pshenitsy i rol' v etom nasledstvennykh faktorov, svyazannykh s uglevodnym kompleksom endosperma [Grain quality indicators of winter common wheat and the role of hereditary factors associated with the carbohydrate complex of the endosperm] // Генетика. 2020. Т. 56, № 12. С. 1399-1409. DOI: 10.31857/S0016675820120115

9. Pankratov G.N. Granulometricheskii sostav produktov razmola [Particle size composition of milled grains] // Khleboprodukty. 2015. № 5. С. 46-49

10. Simonov A.V., Chistyakova A.K., Morozova E.V., Shchukina L.V., Berner A., Pshenichnikova T.A. Sozdaniye novogo dlya myagkoi pshenitsy genotipa -nositelya dvukh lokusov myagkozernosti endosperma [Development of a new common wheat genotype carrying two endosperm softness loci] // Vavilovskii zhurnal genetiky i selektsii. 2017. Т. 21, № 3. С. 341-346. DOI: 10.18699/VJ17.251

11. Fedotov V.A. K voprosu otsenki kachestva pshenitsy po strukturno-mekhanicheskim svoystvam zerna [On the issue of evaluating wheat quality according to the structural and mechanical properties of grain] // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2017. № 8-3 (62). С. 80-82. DOI: 10.23670/IRJ.2017.62.028

12. Chernykh V.Ya., Maksimov A.S., Baluyan Kh.A. Klassifikatsiya tekhnologicheskikh svoystv pshenitsy po pokazatelyam tverdozernosti [Classification of technological properties of wheat according to indicators of grain hardness] // Khleboprodukty. 2023. № 6. С. 54-60. DOI: 10.32462/0235-2508-2023-32-6-54-60

13. Campbell, G.M. On Predicting Roller Milling Performance VI: Effect of Kernel Hardness and Shape on the Particle Size Distribution from First Break Milling of Wheat / G.M. Campbell, C. Fang. I.I. Muhamad // Food and Bioproducts Processing. 2007. 85 (1). PP. 7-23. <https://doi.org/10.1205/FBP06005/>

Поступила: 16.07.25; доработана после рецензирования: 21.10.25; принята к публикации: 24.11.25.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Бундина О.И. – научное руководство, написание текста статьи; Коломиец С. Н. – сбор и анализ данных; Герасина А. Ю. и В. В. Бумба – анализ литературных источников.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ГРИБОВ АРБУСКУЛЯРНОЙ МИКОРИЗЫ И ГРИБОВ РОДА TRICHODERMA ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ

**П.А. Иванов<sup>1</sup>**, аспирант лаборатории генетики растительно-микробных взаимодействий, ФГБНУ ВНИИСХМ, p.ivanov@arriam.ru, ORCID ID: 0009-0000-5181-9620;

**А.П. Юрков<sup>1</sup>**, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ФГБНУ ВНИИСХМ, ap.yurkov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0002-2231-6466;

**А.И. Беляева<sup>1</sup>**, инженер-исследователь лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ФГБНУ ВНИИСХМ, angelkapustnikova@yandex.ru;

**Ю.В. Лактионов<sup>1</sup>**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ФГБНУ ВНИИСХМ laktionov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0001-6241-0273;

**Ю.В. Косульников<sup>1</sup>**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ФГБНУ ВНИИСХМ, yv.kosulnikov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0003-1134-3503;

**К.Н. Бердышева<sup>1</sup>**, аспирант лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ФГБНУ ВНИИСХМ, k.berdysheva@arriam.ru; ORCID ID: 0000-0002-5102-6310;

**С.А. Васильченко<sup>2</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, ФГБНУ «АНЦ «Донской», wasilchenko12@gambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1587-2533;

**О.Г. Цирульник<sup>3</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ФГБОУ ВО СПбГАУ, red9027@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2340-0587;

**А.А. Крюков<sup>1</sup>**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ФГБНУ ВНИИСХМ, aa.krakov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-6723.

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», 196600, г. Санкт-Петербург, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: arriam2008@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (СПбГАУ), 196601, г. Санкт-Петербург, Петербургское шоссе, д. 2, e-mail: agro@spbgau.ru

В обзоре рассмотрены возможности использования микробных препаратов на основе грибов арбускулярной микоризы (АМ) и грибов рода Trichoderma (Тр) с целью повышения устойчивости сельскохозяйственных культур Российской Федерации к стрессам, связанным с дефицитом влаги. Рассматриваемые группы грибов оказывают схожее положительное воздействие на растения, способствуя их росту, повышению сопротивляемости абиотическим и биотическим факторам, улучшению минерального питания. Особое внимание уделено различиям в механизмах действия арбускулярной микоризы и триходермы, а также их возможному совместному применению в виде микробных препаратов. Показано, что грибы арбускулярной микоризы обеспечивают долговременные эффекты за счет глубокой интеграции с растением, тогда как триходерма характеризуется более быстрым ответом на стрессовые условия и относительной простотой культивирования, что делает их доступными для эффективного использования. Рассмотрены проблемы внедрения микробных препаратов в практику сельского хозяйства, включая возможный антагонизм компонентов, технологические трудности и сложность использования совместно с фунгицидами. Показано, что грибы рода триходерма и грибы арбускулярной микоризы показывают увеличение эффективности роста растений, повышение урожайности при совместном использовании, в частности для брокколи и кукурузы. В тоже время механизмы таких взаимодействий изучены не до конца. Сделан вывод о высокой перспективности разработок в этой области и необходимости создания микробных консорциумов, устойчивых к экстремальным температурам и недостатку влаги в южных областях европейской части территории России.

**Ключевые слова:** Trichoderma, арбускулярная микориза, засуха, совместное культивирование, микробные препараты.

**Для цитирования:** Иванов П.А., Юрков А.П., Беляева А.И., Лактионов Ю.В.\*, Косульников Ю.В., Бердышева К.Н., Васильченко С.А., Цирульник О.Г., Крюков А.А. Перспективы использования микробных препаратов на основе грибов арбускулярной микоризы и грибов рода Trichoderma для сельского хозяйства Российской Федерации в условиях дефицита влаги // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №2. С. 77-84. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-77-84



## PROSPECTS FOR THE USE OF MICROBIAL PRODUCTS WITH ARBUSCULAR MYCORRHIZA FUNGI AND TRICHODERMA FUNGI FOR THE RUSSIAN AGRICULTURE UNDER MOISTURE DEFICIENCY

**P.A. Ivanov**<sup>1</sup>, post graduate of the laboratory for genetics of plant-microbial correlations, p.ivanov@arriam.ru, ORCID ID: 0009-0000-5181-9620;

**A.P. Yurkov**<sup>1</sup>, Candidate of Biological Sciences, associate professor, leading researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, ap.yurkov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0002-2231-6466;

**A.I. Belyaeva**<sup>1</sup>, technician-researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, angelkapustnikova@yandex.ru;

**Yu.V. Laktionov**<sup>1</sup>, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, laktionov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0001-6241-0273;

**Yu.V. Kosulnikov**<sup>1</sup>, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, yv.kosulnikov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0003-1134-3503;

**K.N. Berdysheva**<sup>1</sup>, post graduate of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, k.berdysheva@arriam.ru; ORCID ID: 0000-0002-5102-6310;

**S.A. Vasilchenko**<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technologies of grain and row crops, wasilchenko12@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1587-2533;

**O.G. Tsirulnik**<sup>3</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, ORCID 0000-0003-2340-0587;

**A.A. Kryukov**<sup>1</sup>, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, aa.kryukov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-6723.

<sup>1</sup>FSBSI All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, 196600, Saint-Petersburg, Pushkin, Podbelskiy Sh., 3; e-mail: arriam2008@yandex.ru;

<sup>2</sup>FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru;

<sup>3</sup>FSBEI HE "Saint-Petersburg State Agrarian University" (SPb SAU), 196601, Saint-Petersburg, Peterburgskoe Sh, 2, e-mail: agro@spbgau.ru

The current review has considered the possibilities of using microbial products based on arbuscular mycorrhiza (AM) fungi and Trichoderma (Tr) fungi to improve the resistance of the Russian agricultural crops to a moisture deficiency stress. The fungi groups discussed here have demonstrated similar beneficial effects on plants, promoting their growth, improving resistance to abiotic and biotic factors, and mineral nutrition. Particular attention has been paid to the differences in the mechanisms of arbuscular mycorrhiza and Trichoderma, as well as their potential combined use as microbial products. There has been shown that arbuscular mycorrhizal fungi provide long-term effects due to deep integration with the plant, while Trichoderma fungi are characterized by a more rapid response to stress conditions and relative simplicity of cultivation, making them accessible for effective use. There have been considered challenges of introducing microbial products into agricultural practices, including potential antagonism between components, technological difficulties, and the difficulty of using them in combination with fungicides. There has been shown that Trichoderma fungi and arbuscular mycorrhiza fungi improve plant growth efficiency and productivity when used together, particularly for broccoli and maize. At the same time, the mechanisms of such interactions remain incompletely studied. There has been concluded that developments in this area are of great promise, and that it is necessary to develop microbial consortia resistant to the extreme temperatures and moisture deficits found in the southern regions of European Russia.

**Keywords:** *Trichoderma*, *arbuscular mycorrhiza*, *drought*, *co-cultivation*, *microbial products*.

**Введение.** Грибы арбускулярной микоризы (AM), образующие симбиоз с большинством наземных растений, повышают устойчивость растений к различным неблагоприятным факторам окружающей среды, таким как засоление, переувлажнение, тяжелые металлы, высокая кислотность, низкое содержание воды в почве, инфекции фитопатогенов. В первую очередь, AM значительно улучшает усвоение растениями фосфора и интенсифицирует минеральное питание в целом, способствует более эффективному использованию воды (Zenteno-Alegría et al., 2024).

Кроме грибов AM, другие представители почвенного сообщества, такие как грибы родов *Trichoderma* (Tr), *Penicillium*, *Fusarium*, *Curvularia*, *Mortierella*, *Glomus*, *Piriformospora* и др. также могут вступать в полезные

взаимодействия с растениями (Zenteno-Alegría et al., 2024). Они находятся в ризосфере и, изредка, в филлосфере; иногда могут колонизировать внутренние ткани растений как эндофиты, либо же быть свободноживущими.

В данном обзоре мы сосредоточимся на двух известных группах полезных почвенных грибов – грибах рода *Trichoderma* и грибах AM. В литературе именно они в первую очередь рассматриваются как возможные микробные препараты для использования в сельском хозяйстве. Позитивный эффект от взаимодействия растений с Tr и AM зачастую поверхностно схож, и практически всегда выражается в повышении их сопротивляемости абиотическим и биотическим стресс-факторам, росте массы надземной и подземной

частей, а также в нормализации окислительно-восстановительных процессов растения-хозяина (Harman, Uphoff, 2019; Szczałba et al., 2019).

Целью данного обзора является рассмотрение перспектив возможного совместного использования грибов АМ и грибов рода *Trichoderma* в условиях засухи в форме микробных препаратов для сельского хозяйства.

#### Грибные микробные препараты в сельском хозяйстве

Ранее в совместной работе ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБНУ ВНИИСХМ были проведены полевые исследования нескольких прототипов микробных препаратов (Васильченко и др., 2025). В засушливых условиях Ростовской области для кукурузы и сорго зернового использования данных препаратов привело к существенному росту урожайности и рентабельности. Одним из препаратов, показавших наилучшие результаты, был инокулянт на основе гриба АМ *Rhizophagus irregularis*, воздействие которого привело к росту урожайности на 10,1%, росту рентабельности на 15,1%.

Поддержка растений препаратами АМ не ограничивается засушливыми регионами. Так, например, в Орловской области, страдающей от избытка дождей, были проведены полевые испытания для нута и чины при обработке ризоторфином (препаратом, составляющей которого является микоризованная суданская трава). В итоге, биомасса инокулированных растений нута увеличилась на 21,1% к контролю, чины – на 35,1% к контролю. Семенная продуктивность нута увеличивалась на 25,9% к контролю у сорта Аватар и на 17,8% к контролю у сорта Краснокутский 123. Это привело к увеличению урожайности в вариантах с ризоторфином на 0,33-0,34 т/га (Донская, 2023). Это показывает, что применение биопрепаратов крайне перспективно на большей части территорий России.

В то же время, более широко в сельском хозяйстве используется такой род микромицетов, как *Trichoderma*. Различные виды грибов этого рода, такие как *T. longibrachiatum*, *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. atroviride* и некоторые другие, существенно повышают устойчивость растений к абиотическим и биотическим стрессам (Zenteno-Alegría et al., 2024). Одно из основных отличий в использовании препаратов, содержащих *Tr*, по сравнению с АМ заключается в том, что грибы рода *Trichoderma* возможно культивировать в биореакторах глубинным способом на полусинтетических питательных средах, в то время как грибы АМ являются облигатными симбионтами и чаще всего растут только на корнях растений-хозяев (Poudel et al., 2021). Исторически больше внимания ученых привлекало возможное использование *Tr* в качестве индуктора стрессоустойчивости, а также в защите растений от ряда грибковых фитопатогенов (в частности *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*). Антагонизм такого рода достигается посредством конкуренции за пространство и питательные вещества, аллелопатии и микопаразитизма (Poudel et al., 2021).

Помимо Ростовской области, практическая эффективность грибных микробных препаратов в сложных почвенно-климатических условиях засушливых регионов была показана в ходе различных полевых исследований в Египте (Metwally et al., 2025),

где при обработке АМ и *Tr* урожайность брокколи (сбор соцветий, в тоннах на гектар) увеличилась в 1,27 или 1,17 раз, соответственно. Улучшение состояния растений продемонстрировано и в ходе экспериментов в теплицах с искусственно созданными засушливыми условиями (Eftekhari et al., 2025; Zhang et al., 2025). Тем не менее, препараты на основе грибов АМ остаются достаточно дорогими для внедрения в промышленность и с логистической точки зрения, так как их облигатная форма существования вынуждает производить и перевозить не столько гифы грибов, сколько инокулированную почву или корни растений (Igiehon, Babalola, 2017).

В целом, стратегия использования грибных микробных препаратов является экономически эффективным и экологически безопасным инструментом для повышения адаптивного потенциала в растениях к различным стресс-факторам, в том числе – недостатку влаги и высокому засолению почв (Poudel et al., 2021).

#### Роль симбионтов в ответе на осмотический стресс-фактор.

В контексте борьбы с засухой симбиозы и ассоциации растений с АМ и *Tr* демонстрируют хорошие результаты. Происходит опосредованная регуляция биохимических процессов, протекающих в растительных тканях и определяющих адаптивные реакции растения. Регуляция сводится к двум стратегиям: снижение потерь влаги и поддержание водного статуса растения на нормальном уровне, либо обеспечение толерантности к таким потерям. В обеих стратегиях ответ выражается в нескольких вариантах адаптации (Poudel et al., 2021; Szczałba et al., 2019; Zenteno-Alegría et al., 2024):

- изменение метаболизма растения в отношении антиоксидантов (супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы, каталазы), что позволяет уменьшить пагубный эффект для растительных клеток со стороны активных форм кислорода (АФК);

- накопление и распределение осмолитов, таких как пролин, полиамины или моносахариды;

- изменение фитогормонального профиля для ускорения роста и развития корневой системы растения-хозяина, а также экссудация в ризосферу метаболитов (как от растения, так и от микосимбионта), улучшающих структуру почвы и доступность минеральных веществ в ней;

- регуляция работы устьиц, фотосистемы II, а также регуляция работы транспортеров моносахаридов и фосфора, транспортеров воды – аквапоринов (AQP);

- регуляция экспрессии различных генов (*P5CS* (пролин), *NCED* (метаболизм абсцизовой кислоты), *ZmPIP* (AQP) и др.);

В тоже время, между рассматриваемыми объектами, АМ и *Tr*, есть и отличительные черты, которые обуславливают разные механизмы действия, и отчасти разные преимущества для растения.

**Механизм действия и особенности для грибов АМ и *Tr*.** Основное различие между АМ-грибами и *Tr* заключается в характере их взаимодействия с растением-хозяином. Грибы АМ формируют с растением облигатный для них симбиоз, тогда как грибы триходермы либо являются свободноживущими обитателями ризосферы, либо факультативными

эндофитами. В литературе отмечены наблюдения, когда *T. harzianum* может проникать именно через гифы гриба АМ в корень растения при одновременной инокуляции (De Jaeger, Declerck, De La Providencia, 2010).

В общем случае, отличия в характере взаимодействия обуславливают разные подходы к поддержанию минерального питания растения. АМ-грибы осуществляют прямой транспорт фосфора и других элементов (см. табл. 1) через сеть гиф,

которая значительно увеличивает поглощающую поверхность корня. В свою очередь, грибы триходермы модифицируют минеральные вещества ризосферы посредством хелатирования и окисления в процессе своей жизнедеятельности, мобилизуя их из труднорастворимых почвенных минералов и, тем самым, повышая их доступность для растения (Szczalba et al, 2019).

**Таблица 1. Отличия и сходства в симбиотическом воздействии грибов рода *Trichoderma* и грибов АМ (Szczalba et al., 2019)**  
**Table 1. Differences and similarities in the symbiotic effects of *Trichoderma* fungi and AM fungi (Szczalba et al., 2019)**

<i>Trichoderma</i>	Грибы АМ
Перевод труднорастворимых фосфатов в почве в доступную растениям форму посредством окислительно-восстановительных процессов и хелатирования.	Распространение гиф за пределы корня, увеличение площади всасывающей поверхности корневой системы, усиление транспорта воды, а также N, Cu, Fe, Mn, Zn и других элементов, особенно фосфора.
Индукция синтеза растением жасмоната и этилена, что приводит к приобретению общей устойчивости. Синтез ауксинов для стимуляции роста растения.	
Специфические метаболиты способны индуцировать синтез фитоалексинов, либо же самостоятельно проявлять такую активность, как в случае харзиановой кислоты	Устойчивость растения-хозяина к фитопатогенам растет за счет: улучшенной хитиноподобной активности и лигнификации, уменьшения доступных для патогенов питательных веществ.
Опосредованная индукция СОД, индукция каталазной и пероксидазной активности растения, как элементов механизма защиты от АФК	
Фитогормональная регуляция закрытия устьиц с целью снижения потерь воды, включая регуляцию биосинтеза и катаболизма абсцизовой кислоты	Системная и локальная регуляция за счет аквапоринов, включая тканеспецифическую регуляцию экспрессии их генов

Антиоксидантная защита, хотя в основном и схожа для рассматриваемых симбионтов, у грибов АМ отличается большей превентивностью, накоплением неферментативных антиоксидантов, таких как аскорбат, токоферолы, глутатион в дополнение к ранее обозначенным ферментам, противодействующим АФК (Poudel et al., 2021).

В целом, грибы АМ характеризуются долгосрочными и устойчивыми эффектами, что обусловлено их глубокой интеграцией с растением-хозяином. Тр, в свою очередь, обеспечивает быстрый ответ на изменения условий и неблагоприятные стресс-факторы (Szczalba et al., 2019).

Итоговое влияние на растение при этом остается относительно равным и положительным для обоих вариантов. Так, например, у исследователей из Ирана инокуляция кукурузы триходермой привела к большей массе стебля (25,5 г против 21 г) и относительной активности СОД (85±1% против 78±2%) по сравнению с инокуляцией АМ. При этом инокуляция значительно улучшала состояние растения по сравнению с контролем, масса стебля которого составляла 10,75 г, активность СОД – 42±1%, а наиболее показательна общая масса растения, которая в случае контроля равна 15 г, а в случаях обработки триходермой или АМ – 37 г и 38,5 г, соответственно (Eftekhari et al., 2025).

Для брокколи при увлажнении, равном 40% от нормы, достоверных различий между обработкой Тр (*T. afroharzianum* и *T. longibrachiatum*) и грибами АМ (представителями родов *Glomus* и *Gigaspora*) практически не наблюдалось. При этом, в сравнении с

контролем оба варианта показывали улучшения. Так, для АМ и Тр, соответственно, содержание пролина увеличилось на 36,6% и 32,5% относительно контроля, средняя масса надземной части была равна 544.2±9.1 и 525.5±9.9 (при контроле 489.7±16.4), активность СОД увеличилась на 89,5% и 76,7%, активность пероксидазы – на 56,9% и 61,2% относительно контроля. Прочие оцениваемые в исследовании показатели (относительное содержание воды, содержание хлорофилла в листьях, индекс стабильности мембран) также преимущественно увеличивались. Увеличение наблюдалось не только при сильной засухе, но и при более мягких условиях (60%, 80% от нормы вплоть до оптимальных условий) (Metwally и др., 2025).

Последним фактором, отличающим Тр и грибы АМ друг от друга, можно назвать механизм влияния на регуляцию растением водного баланса, которая полностью отличается: если для Тр закрытие устьиц является в большей степени побочным эффектом усиленного накопления абсцизовой кислоты и жасмоната, то для АМ – это масштабная система регуляции генов AQP (Кудряшова и др., 2025). АМ-грибы осуществляют дифференциальную регуляцию различных типов AQP в зависимости от силы засухи. Их значительная часть при засухе и инокуляции грибом АМ подвергается снижению экспрессии, чтобы замедлить отток воды из растений. В эксперименте на кукурузе исследователи наблюдали индукцию экспрессии *ZmTIP2;3* – одного из ключевых аквапоринов, важных для засухоустойчивости растений. На ключевую роль этого транспортера воды указывает то, что мутация

гена *ZmTIP2;3* приводит к снижению массы растения (подземной части на 53,0%, надземной – на 39,6%), эффективности фотосинтеза (на 58,1%) и к снижению уровня экспрессии ряда генов, связанных с засухой (*LEA3*, *P5CS4* и *NECD1*), по сравнению с диким типом при инокуляции грибом АМ в условиях засухи. Подобная регуляция может наблюдаться на транскрипционном, трансляционном и посттрансляционном уровнях (Кудряшова и др., 2025).

Разница механизмов действия Тр и грибов АМ, вероятно, мало сказывается на конечном действии на инокулируемое растение. Между тем, итогом их совместного применения в качестве биопрепаратов может стать успешная адаптация агрокультур к засухе и, следовательно, лучшие показатели использования грибных инокулянтов в сельском хозяйстве (Hartan, Urhoff, 2019), что может быть полезно в засушливых регионах России, например, Республики Калмыкии, Курганской области, Ставропольского края и прочих (Исаев, 2025).

#### **Проблемы внедрения и использования микробных препаратов в России**

Практическое применение и стандартизация микробных препаратов на основе грибов АМ в значительной степени осложнена невозможностью культивирования без фитосимбионта. Еще больше вопросов возникает при попытке сочетания нескольких объектов в одном препарате. Для триходермы и грибов АМ такое объединение привело бы к совмещению защитных функций от Тр, укреплению корневой системы растения при микоризации и, возможно, синергическому эффекту в устойчивости к засухе.

Впрочем, ранее в литературе преобладало мнение об антагонистических отношениях между грибами рода *Trichoderma* и грибами АМ. Более того, до конца не было ясно, как именно происходило взаимодействие – в ранних статьях на данную тему встречаются противоречивые свидетельства как об агрессивной колонизации первого в гифах и спорах последнего (конкретно: *R. irregularis*), так и о полном подавлении развития *T. harzianum* путем конкуренции за питательные вещества при совместном культивировании (СК) с тем же *R. irregularis* в почве (Green et al., 1999).

Сейчас парадигма меняется и встречается все больше исследований, направленных на поиск эффективных ассоциаций макро- и микроорганизмов. Так, например, такая попытка была предпринята на кукурузе (Eftekhari et al., 2025) при анализе стресса от засухи и засоления. Исследователям из Ирана удалось показать, что СК действительно в некоторой степени объединяет достоинства каждого объекта в отдельности. При засухе относительная активность СОД и аскорбатпероксидазы в условиях СК либо находятся на уровне, либо превышают таковые в условиях одиночного культивирования тем более, контроля (СОД: 86±1%, 85±1%, 78±2%, 44±2%; аскорбатпероксидаза: 83±3%, 78±2%, 71±5%, 28±1% в условиях совместной инокуляции, инокуляции Тр, инокуляции АМ и контроля, соответственно).

В данном контексте было рассмотрено и накопление вторичных метаболитов у солодки: инокуляция *R. irregularis* увеличивала концентрации глицирризина и ликвиритина на 29,9% и в 3,3 раза, соответственно, в условиях засухи (Zhang et al., 2025). Совместная

инокуляция с *T. harzianum* дополнительно повышала выход глицирризина на 93,7%, что демонстрирует синергическое взаимодействие между этими двумя микроорганизмами.

Таким образом, оказывается, что перспективная идея объединения нескольких микробных агентов в составе одного микробного препарата сталкивается с их возможной несовместимостью или противодействием. Эту проблему можно расширить не только на взаимодействие грибов рода *Trichoderma* с грибами АМ, но и на другие возможные комбинации. Конечный благоприятный эффект на растение может нивелироваться вследствие снижения эффективности обоих агентов из-за взаимной конкуренции. Она может быть как прямой – за выделяемые растением вещества, так и косвенной – например, при подавлении грибами АМ ключевых метаболических путей, зависящих от салицилата и жасмоната. В свою очередь, Тр опосредованно стимулирует эти пути у растения-хозяина (Martínez-Medina et al., 2011).

Нельзя также забывать о близости мутуализма к паразитизму, о том, насколько легко полезный почвенный микроорганизм может обратиться против растения-хозяина (Szczałba et al., 2019). Возможность и пагубность такого события определяется генотипами гриба и растения, стадией развития, условиями роста участников взаимодействия. Этот фактор не может не ограничивать применение биопрепаратов в сельском хозяйстве. В данном контексте взаимное ослабление разных микробных агентов может, наоборот, представлять интерес как своеобразная система сдержек и противовесов. Нахождение баланса идеального как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения эффективности, является важнейшей задачей промышленного применения микробных препаратов. Наконец, в текущих реалиях зачастую оказывается, что уже на практике, при масштабировании производства в сельском хозяйстве, микробные препараты могут вовсе не работать. Особенно распространена эта проблема в отношении препаратов грибов АМ. Проводимый ВНИИСХМ контроль качества коммерческих препаратов различных производителей показывает, что их состав зачастую не соответствует заявленному. Вместо грибов АМ в них могут обнаруживаться бактериальные штаммы различных видов и посторонние микромикеты при полном отсутствии мицелия и спор грибов АМ. Схожая ситуация для препаратов триходермы: в большинстве случаев реальный титр препарата на 3-4 порядка ниже заявленного.

Помимо качества препаратов на основе грибов АМ и Тр, одним из основных вопросов является технологичность применения препаратов. Прежде всего, это связано с тем, что существующие методы инокуляции (например, обработка семян, внесение в почву или капельный полив) часто требуют специального оборудования и строгого соблюдения условий внесения (температуры, влажности, pH).

Особо актуален вопрос совмещения препаратов микромикетов с химическими средствами защиты растений. В частности, в сельскохозяйственной практике широко применяются химические фунгициды как для обработки семян, так и для полива. Данные вещества очевидным образом вредны для грибов при непосредственном контакте, более того, в

последующие годы остаточные количества пестицидов также способны ингибировать активность грибных препаратов. Аналогичным образом могут действовать и биопрепараты на основе микроорганизмов с фунгицидными свойствами, например, на основе бактерий рода *Bacillus*, для которых известна разная степень совместимости с грибами рода *Trichoderma* (Braga et al., 2025).

Другим критически важным требованием для микробиологических препаратов является разработка удобной препаративной формы (например, жидкой суспензии с мелкодисперсными частицами, гранулированной или порошкообразной с высокой растворимостью), которая не будет агрегировать, выпадать в осадок и забивать форсунки сельскохозяйственной техники при использовании. Неподходящая технологически или неадаптированная к современным методам обработки препаративная форма существенно ограничивает широкое внедрение даже потенциально эффективных препаратов в практике интенсивного земледелия.

**Заключение.** Применение микробных препаратов в сельском хозяйстве является крайне перспективной областью, которая, в то же время, требует внимательного подхода. С разработкой и внедрением таких препаратов связано множество проблем, в первую очередь относящихся к специфике биологических объектов, их возможного антагонизма. Не без оптимизма можно отметить, что многие из проблем решаемы в ближайшее время при наличии заинтересованности как со стороны разработчиков этих препаратов, так и со стороны сельскохозяйственных производителей. Перспективным направлением является создание поликомпонентных препаратов на основе как различных

грибов, так и совместимых штаммов бактерий и грибов с взаимодополняющими свойствами. Такие препараты сейчас находятся на стадии разработки и пока не внедрены в широкое использование. Задачей данного обзора также является попытка показать возможную эффективность таких препаратов и целесообразность их разработки и внедрения в сельское хозяйство.

Разработка таких микробных консорциумов, в идеале, не должна ориентироваться на регион применения и сельскохозяйственную культуру, на которой эти микробиологические препараты будут применяться. То, что было разработано, тестировано и произведено для Северо-Запада РФ, должно так же эффективно работать в условиях Республики Калмыкии, Курганской области, Ростовской области, Воронежской области и других регионов (Исаев, 2025). Высокая температура и недостаток влаги в южных регионах влияют не только на растения, но и на микроорганизмы, снижая их способность к колонизации, длину гиф и шансы на прорастание спор. Обзор литературы показал, что применение инокулянтов на основе грибов рода триходерма и грибы АМ приводит, как правило, к усилению роста растений и в ряде экспериментов привело к повышению урожайности при их совместном использовании. Это указывает на перспективность исследований для получения комплексных препаратов триходермы и АМ. В тоже время механизмы таких взаимодействий изучены не до конца. Необходимо разобраться в механизмах развития эффективного симбиоза растений с микроорганизмами и использовать эти знания для создания высокоэффективных микробных препаратов.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке РФФ № 24-26-00181.

#### Библиографический список

1. Васильченко С. А., Метлина Г. В., Юрков А. П., Лактионов Ю. В. Сравнительная оценка применения современных биопрепаратов ФГБНУ ВНИИСХМ на продуктивность кукурузы и сорго зернового в условиях южной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области. // Зерновое Хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 77–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-77-83
2. Донская М. В, Донской М. М. Использование микробиологических препаратов при возделывании перспективных сортов нута и чины в Орловской области // 2023. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-33-39
3. Исаев О. И. Повышение водообеспеченности засушливых регионов в условиях изменения климата // Вопросы степеведения. 2025. Т. 1. С. 25–34. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-1-25-34
4. Кудряшова Т. Р., Крюков А. А., Горенкова А. И., Юрков А. П. Аквалорины и их роль в растительно-микробных системах // Вавиловский Журнал Генетики И Селекции. 2025. Т. 29. № 2. С. 238–247. DOI: 10.18699/vjgb-25-27
5. Braga A. F., Santos L. D. C., Mendes S. P. D. S. C., Pires F. A., Geraldine A. M., Ferreira Junior W. N. Interaction between *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp. in the biological control of disease in the soya bean // Rev. Ciênc. AGRONÔMICA. 2025. Vol. 56, С. 1–9. DOI: 10.5935/1806-6690.20250041
6. Cheng S., Zou Y.-N., Kuča K., Hashem A., Abd\_Allah E. F., Wu Q.-S. Elucidating the Mechanisms Underlying Enhanced Drought Tolerance in Plants Mediated by Arbuscular Mycorrhizal Fungi // Front. Microbiol. 2021. Vol. 12, С. 809473. DOI: 10.3389/fmicb.2021.809473
7. De Jaeger N., Declerck S., De La Providencia I. E. Mycoparasitism of arbuscular mycorrhizal fungi: a pathway for the entry of saprotrophic fungi into roots: Mycoparasitism of arbuscular mycorrhizal fungi // FEMS Microbiol. Ecol. 2010. С. no-no. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2010.00903.x.
8. Eftekhari F., Sarcheshmehpour M., Lohrasbi-Nejad A., Boroomand N. Effects of mycorrhizal and *Trichoderma* treatment on enhancing maize tolerance to salinity and drought stress, through metabolic and enzymatic evaluation // BMC Plant Biol. 2025. Vol. 25, № 1. С. 687. DOI: 10.1186/s12870-025-06729-x.
9. Green H., Larsen J., Olsson P. A., Jensen D. F., Jakobsen I. Suppression of the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* by Mycelium of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus intraradices* in Root-Free Soil // Appl. Environ. Microbiol. 1999. Vol. 65, № 4. С. 1428–1434. DOI: 10.1128/AEM.65.4.1428-1434.1999
10. Harman G. E., Uphoff N. Symbiotic Root-Endophytic Soil Microbes Improve Crop Productivity and Provide Environmental Benefits // Scientifica. 2019. Vol. 2019. С. 1–25. DOI: 10.1155/2019/9106395
11. Igjehon N. O., Babalola O. O. Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi //

Appl. Microbiol. Biotechnol. 2017. Vol. 101, № 12. С. 4871–4881. DOI: 10.1007/s00253-017-8344-z

13. Martínez-Medina A., Roldán A., Albacete A., Pascual J. A. The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants // *Phytochemistry*. 2011. Vol. 72, № 2–3. С. 223–229. DOI: 10.1016/j.phytochem.2010.11.008

14. Metwally A. A., Riad G. S., Ghoname A. A., El-Sawy S. M., Salama D. S., Alkhawaga L., Shahin M. G., Saady H. S., et al. Physiological defensive modes to biologically induce drought tolerance in broccoli via inoculation with mycorrhiza and *Trichoderma* // *BMC Plant Biol.* 2025. Vol. 25, № 1. С. 934. DOI: 10.1186/s12870-025-06956-2

15. Poudel M., Mendes R., Costa L. A. S., Bueno C. G., Meng Y., Folimonova S. Y., Garrett K. A., Martins S. J. The Role of Plant-Associated Bacteria, Fungi, and Viruses in Drought Stress Mitigation // *Front. Microbiol.* 2021. Vol. 12, С. 743512. DOI: 10.3389/fmicb.2021.743512

16. Rousseau A., Benhamou N., Chat I., Piché Y. Mycoparasitism of the extramatrical phase of *Glomus intraradices* by *Trichoderma harzianum*. // *Phytopathology*. 1996. Vol. 86, № 5. С. 434–443

17. Szczalba M., Kopta T., Gąstoł M., Sękara A. Comprehensive insight into arbuscular mycorrhizal fungi, *Trichoderma* spp. and plant multilevel interactions with emphasis on biostimulation of horticultural crops // *J. Appl. Microbiol.* 2019. Vol. 127, № 3. С. 630–647. DOI: 10.1111/jam.14247

18. Zenteno-Alegria C. O., Yarzabal Rodríguez L. A., Ciancas Jiménez J., Álvarez Gutiérrez P. E., Gunde-Cimerman N., Batista-García R. A. Fungi beyond limits: The agricultural promise of extremophiles // *Microb. Biotechnol.* 2024. Vol. 17, № 3. С. e14439. DOI: 10.1111/1751-7915.14439

19. Zhang K., Sun M., Feng H., Wei X., Xie W., Fu W., Guo L., Zhang X., et al. Synergistic Effects of *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* Co-Inoculation on Enhancing Drought Tolerance and Secondary Metabolite Production in Licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) // *J. Fungi*. 2025. Vol. 11, № 7. С. 488. DOI: 10.3390/jof11070488.

### References

1. Vasil'chenko S. A., Metlina G. V., Yurkov A. P., Laktionov Yu. V. Svravnitel'naya otsenka primeneniya sovremennykh biopreparatov FGBNU VNIISKHM na produktivnost' kukuruzy i sorgo zernovogo v usloviyakh yuzhnoi prirodno-sel'skokhozyaistvennoi zony Rostovskoi oblasti. [Comparative assessment of the use of modern bioproducts from the FSBSI All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology on maize and grain sorghum productivity in the southern natural agricultural part of the Rostov Region] // *Zernovoe Khozyaistvo Rossii*. 2025. T. 17. № 4. С. 77–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-77-83

2. Donskaya M. V, Donskoi M. M. Ispol'zovanie mikrobiologicheskikh preparatov pri vozdeleyvanii perspektivnykh sortov nuta i chiny v Orlovskoi oblasti [The use of microbiological products in the cultivation of promising chickpea and vetch varieties in the Oryol region] // 2023. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-33-39

3. Isaev O. I. Povyshenie vodoobespechennosti zasushlivykh regionov v usloviyakh izmeneniya klimata [Water availability increase in arid regions under climate change] // *Voprosy stepovedeniya*. 2025. T. 1, S. 25–34. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-1-25-34

4. Kudryashova T. R., Kryukov A. A., Gorenkova A. I., Yurkov A. P. Akvaporiny i ikh rol' v rastitel'no-mikrobnnykh sistemakh [Aquaporins and their role in plant-microbial systems] // *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*. 2025. T. 29, № 2. С. 238–247. DOI: 10.18699/vjgb-25-27

5. Braga A. F., Santos L. D. C., Mendes S. P. D. S. C., Pires F. A., Geraldine A. M., Ferreira Junior W. N. Interaction between *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp. in the biological control of disease in the soya bean // *Rev. Ciênc. AGRONÔMICA*. 2025. T. 56, C. 1–9. DOI: 10.5935/1806-6690.20250041

6. Cheng S., Zou Y.-N., Kuča K., Hashem A., Abd\_Allah E. F., Wu Q.-S. Elucidating the Mechanisms Underlying Enhanced Drought Tolerance in Plants Mediated by Arbuscular Mycorrhizal Fungi // *Front. Microbiol.* 2021. Vol. 12, С. 809473. DOI: 10.3389/fmicb.2021.809473

8. De Jaeger N., Declerck S., De La Providencia I. E. Mycoparasitism of arbuscular mycorrhizal fungi: a pathway for the entry of saprotrophic fungi into roots: Mycoparasitism of arbuscular mycorrhizal fungi // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2010. C. no-no. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2010.00903.x.

9. Eftekhari F., Sarcheshmehpour M., Lohrasbi-Nejad A., Boroomand N. Effects of mycorrhizal and *Trichoderma* treatment on enhancing maize tolerance to salinity and drought stress, through metabolic and enzymatic evaluation // *BMC Plant Biol.* 2025. Vol. 25, № 1. С. 687. DOI: 10.1186/s12870-025-06729-x.

10. Green H., Larsen J., Olsson P. A., Jensen D. F., Jakobsen I. Suppression of the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* by Mycelium of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus intraradices* in Root-Free Soil // *Appl. Environ. Microbiol.* 1999. Vol. 65, № 4. С. 1428–1434. DOI: 10.1128/AEM.65.4.1428-1434.1999

11. Harman G. E., Uphoff N. Symbiotic Root-Endophytic Soil Microbes Improve Crop Productivity and Provide Environmental Benefits // *Scientifica*. 2019. Vol. 2019, S. 1–25. DOI: 10.1155/2019/9106395

12. Igiehon N. O., Babalola O. O. Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2017. Vol. 101, № 12. С. 4871–4881. DOI: 10.1007/s00253-017-8344-z

13. Martínez-Medina A., Roldán A., Albacete A., Pascual J. A. The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants // *Phytochemistry*. 2011. Vol. 72, № 2–3. С. 223–229. DOI: 10.1016/j.phytochem.2010.11.008

14. Metwally A. A., Riad G. S., Ghoname A. A., El-Sawy S. M., Salama D. S., Alkhawaga L., Shahin M. G., Saady H. S., et al. Physiological defensive modes to biologically induce drought tolerance in broccoli via inoculation with mycorrhiza and *Trichoderma* // *BMC Plant Biol.* 2025. Vol. 25, № 1. С. 934. DOI: 10.1186/s12870-025-06956-2

15. Poudel M., Mendes R., Costa L. A. S., Bueno C. G., Meng Y., Folimonova S. Y., Garrett K. A., Martins S. J. The

Role of Plant-Associated Bacteria, Fungi, and Viruses in Drought Stress Mitigation // *Front. Microbiol.* 2021. Vol. 12, S. 743512. DOI: 10.3389/fmicb.2021.743512

16. Rousseau A., Benhamou N., Chat I., Piché Y. Mycoparasitism of the extramatrical phase of *Glomus intraradices* by *Trichoderma harzianum*. // *Phytopathology.* 1996. Vol. 86, № 5. S. 434–443

17. Szczałba M., Kopta T., Gaštoł M., Sękara A. Comprehensive insight into arbuscular mycorrhizal fungi, *Trichoderma* spp. and plant multilevel interactions with emphasis on biostimulation of horticultural crops // *J. Appl. Microbiol.* 2019. Vol. 127, № 3. S. 630–647. DOI: 10.1111/jam.14247

18. Zenteno-Alegría C. O., Yarzabal Rodríguez L. A., Ciancas Jiménez J., Álvarez Gutiérrez P. E., Gunde-Cimerman N., Batista-García R. A. Fungi beyond limits: The agricultural promise of extremophiles // *Microb. Biotechnol.* 2024. Vol. 17, № 3. С. e14439. DOI: 10.1111/1751-7915.14439

19. Zhang K., Sun M., Feng H., Wei X., Xie W., Fu W., Guo L., Zhang X., et al. Synergistic Effects of *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* Co-Inoculation on Enhancing Drought Tolerance and Secondary Metabolite Production in Licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) // *J. Fungi.* 2025. Vol. 11, № 7. S. 488. DOI: 10.3390/jof11070488.

Поступила: 01.10.25; доработана после рецензирования: 10.12.25; принята к публикации: 19.01.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Иванов П.А., Крюков А.А. — концепция, название, план статьи; абстракт; введение; заключение; раздел «Роль симбионтов в ответе на осмотический стресс-фактор»; корректура; Юрков А.П., Косильников Ю.В. — разделы «Грибные микробные препараты в сельском хозяйстве», «Механизм действия и особенности для грибов АМ и Тр», «Проблемы внедрения и использования микробных препаратов в России»; Беляева А.И. — поиск литературы; подготовка черновика библиографического списка; Бердышева К.Н. — поиск литературы по взаимодействию *Trichoderma* и АМ; формирование итогового библиографического списка (включая DOI); Лактионов Ю.В. (\*) — координация; анализ полевых данных; финальное редактирование; Васильченко С.А. — полевые испытания в Ростовской области; агрономические аспекты; Цирульник О.Г. — совместимость биопрепаратов с фунгицидами и бактериями.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ПШЕНИЦЫ РАННИХ ФАЗ СПЕЛОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

**В. И. Пахомов**<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», v.i.pakhomov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

**Д. В. Рудой**<sup>1</sup>, профессор РАН, доктор технических наук, декан факультета «Агропромышленный», rudoy.d@gs.donstu.ru, ORCID ID: 0000-0002-1916-8570;

**Т. А. Мальцева**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии пищевых производств», tamaltseva.donstu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3973-6846;

**Е. Н. Косолапова**<sup>1</sup>, ассистент кафедры «Техника и технологии пищевых производств», 1, rewarewarewak@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4010-925X.

<sup>1</sup> *Донской государственный технический университет, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.*

Процесс экструдирования является важнейшим процессом при переработке сырья растительного происхождения в высокоценные корма. В процессе экструдирования повышается усвояемость белка, улучшаются органолептические свойства и происходит обеззараживание сырья. Однако, высокие температуры могут негативно сказываться на количестве белка и протеиногенных аминокислот. Цель исследований – изучение влияния процесса экструдирования на кормовую ценность зернового вороха пшеницы, убранной в ранних фазах спелости. Установлено, что экструзионная обработка приводит к незначительному снижению массовой доли сырого протеина (с 14,86% до 13,00%, т.е. на 1,86%). Анализ содержания аминокислот в исследуемых пробах выявил различную степень их термостабильности: наибольшие потери зафиксированы для фенилаланина (43,7%), гистидина (58,9%) и пролина (48,4%), тогда как содержание треонина, серина и лизина изменилось несущественно (потери лизина составили всего 6,11%). Несмотря на снижение абсолютного содержания белка, его усвояемость *in vitro* увеличилась с 58,7% до 74,9%, что на 16,2% выше исходных значений. Полученные данные согласуются с результатами международных исследований по экструдированию растительного сырья. Также отмечено улучшение физико-механических свойств экструдата: он приобретает более хрупкую структуру, что облегчает последующее измельчение и повышает однородность гранулометрического состава за счет частичной деструкции клетчатки. Применение экструдированного зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости в рационах сельскохозяйственных животных позволяет повысить биодоступность питательных веществ (на 16,2%), что способствует увеличению продуктивности животных и снижению себестоимости кормов.

**Ключевые слова:** зерновой ворох пшеницы, зеленая пшеница, пшеница ранних фаз спелости, растительное сырье, экструдирование, аминокислотный состав, содержание белка, качество зерна, корм.

**Для цитирования:** Пахомов В.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А., Косолапова Е.Н. Исследование влияния термической обработки зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости на показатели качества // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, № 2. С. 85–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-85-90



## THE STUDY OF EXTRUSIVE PROCESSING EFFECT OF GRAIN HEAP OF WHEAT OF EARLY MATURITY STAGES ON QUALITY INDICATORS

**V.I. Pakhomov**<sup>1</sup>, Corresponding Member of RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department “Technologies and equipment for processing products of “Agricultural Products”, v.i.pakhomov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

**D.V. Rudoy**<sup>1</sup>, Professor of RAS, Doctor of Technical Sciences, Dean of the Agribusiness faculty, rudoy.d@gs.donstu.ru, ORCID ID: 0000-0002-1916-8570;

**T.A. Maltseva**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Food production equipment and technologies”, tamaltseva.donstu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3973-6846;

**E.N. Kosolapova**<sup>1</sup>, Assistant of the Department “Food production equipment and technologies”, rewarewarewak@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4010-925X.

<sup>1</sup> *FSBEI HE “Don State Technical University” 344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.*

Extrusion is a critical process in the processing of plant-based raw materials into high-value feed. Extrusion increases protein digestibility, improves organoleptic properties, and disinfects the raw material. However, high temperatures can

negatively impact the amount of protein and proteinogenic amino acids. The purpose of the current work was to study the effect of extrusion on the nutritional value of wheat grain harvested at the early stages of maturity. There has been found that extrusion processing resulted in a slight decrease in crude protein percentage (from 14.86% to 13.00%, i.e. by 1.86%). The analysis of the amino acid content in the studied samples has identified varying degrees of their thermal stability with the greatest losses of phenylalanine (43.7%), histidine (58.9%) and proline (48.4%), but an insignificant change of threonine, serine, and lysine (lysine losses were 6.11%). Despite the decrease in absolute protein content, its *in vitro* digestibility increased from 58.7% to 74.9%, which is by 16.2% more than the basic values. These data are consistent with the results of international study on plant material's extrusion. There has been also established an improvement in the physical and mechanical properties of the extrudate, since it acquires a more brittle structure, which facilitates subsequent grinding and improves the homogeneity of the granulometric composition due to the partial destruction of fiber. The use of extruded grain heap of wheat of early maturity stages in the diets of farm animals allows increasing bioavailability of nutrients (by 16.2%), which contributes to an increase in animal productivity and a reduction in feed costs.

**Keywords:** wheat grain heap, green wheat, wheat of early maturity stages, plant material, extrusion, amino acid composition, protein percentage, grain quality, feed.

**Введение.** Пшеница является одним из основных видов сырья комбикормовой промышленности. В различных рецептурах ее содержание может достигать до 65% в зависимости от вида, возраста и содержания животного (Базылев и др., 2012; Акулов и др., 2021; Мухрамова и др., 2022; Пономарев и др., 2022). Например, для птиц содержание пшеницы варьируется в среднем от 20 до 65%, для КРС – до 20-30%, для рыб – до 26%. Для производства комбикормов используют, как правило, фуражное зерно, непригодное для пищевых целей. Такое зерно имеет низкое качество, в том числе невысокое содержание белка. Доказано, что на ранних стадиях спелости (молочно-восковая и восковая спелость) зерно пшеницы имеет более высокое содержание белка, в связи с чем целесообразно использовать именно такое зерно (Meskhi et al., 2025). Дополнительным источником растительного белка может служить незерновая часть – солома, которая содержит до 5% белка и 2% жира. До недавнего времени не представлялось возможным механизировано убирать зерно в стадии молочно-восковой спелости, поскольку существующие комбайны способны убирать зерно только при наступлении полной спелости и при кондиционной влажности. Для получения высокоценного кормового сырья был разработан агрегат для уборки зерна методом очеса на корню – патент на полезную модель RU 233080 U1 (Месхи и др., 2025). Он позволяет получать зерновой ворох пшеницы, состоящий из зерна и соломы, а также незначительного количества стеблей и листьев пшеницы.

Зерно пшеницы ранних фаз спелости, несмотря на положительные свойства, как и другое растительное сырье имеет низкую усвояемость. Особенно, его незерновая часть, где содержится большое количество клетчатки. Для повышения усвояемости сырья растительного происхождения подвергают процессу экструдирования – высокотемпературной обработке, при которой происходит повышение питательной ценности, обеззараживание и повышение сроков хранения. Экструдированный корм положительно сказывается на организме животного: увеличивается синтез белка из корма в мышцы, увеличивая прирост массы (продуктивность) животного (Слезко и др., 2021; Антимонов и др., 2023); снижается себестоимость получаемой продукции (мяса, молока) за счет повышения усвояемости кормов (Великанов и др., 2025). Однако, высокие температуры могут негативно сказываться на содержании белка и аминокислот. Целью данной работы является исследование

влияния процесса экструдирования зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости на содержание белка, аминокислот и усвояемость.

**Материалы и методы исследований.** Для исследования был взят образец зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости, убранного в июле 2025 года новым агрегатом для уборки зерна методом очеса на корню - RU 233080 U1 (Месхи и др., 2025). Убранный ворох был высушен при естественных условиях и измельчен.

Для экструдирования зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости использовали экструдер ИНЭК-110. Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости перед экструдированием увлажняли до 25% путем простого распыления воды и перемешивания. Количество воды  $V$ , кг, необходимой для увлажнения зернового вороха, определяли по формуле (1):

$$V = m \cdot \frac{w_2 - w_1}{100 - w_2} \quad (1)$$

где  $m$  – масса зернового вороха для увлажнения, кг;  $w_1$  – исходная массовая доля влаги зернового вороха, %;  $w_2$  – конечная массовая доля влаги зернового вороха, % (25%).

Температуру экструдирования измеряли за счет расположенной на рабочей камере нагревательной рубашки с датчиком. Информация от датчика поступает на пульт управления экструдером. Для повышения скорости разогрева рабочей камеры перед началом работы экструдера включали рабочую рубашку экструдера и выставляли температуру  $145 \pm 5$  °С. Выбор указанной температуры обусловлен требованиями инструкции к оборудованию и практическим опытом экструдирования растительного сырья с мелкодисперсной структурой на данной модели экструдера, что обеспечивает стабильное протекание технологического процесса.

Полученный экструдат перед анализом измельчали в порошок на лабораторной зерновой мельнице ЛЗМ-М2.

Определение массовой доли сырого протеина в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования проводили методом Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019. Анализ проводился с помощью установки для определения протеина, состоящей из полуавтоматического дистиллятора UDK 139, скруббера KS 1000 и блочного минерализатора.

Анализ аминокислотного состава исследуемых проб проводили с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель 105-М» по методике,

прилагаемой к прибору - «Методика М 04-38-2009 (изд. 2014 г.)», а также по ГОСТ Р 55569-2013 и ГОСТ 31480-2012.

Массовую долю влаги определяли методом высушивания с помощью сушильного шкафа ШС-80-02 СПУ в соответствии с ГОСТ 13586.5-2015.

Усвояемость определяли по методике, указанной в ГОСТ 24230-80 Корма растительные. Метод

определения переваримости *in vitro*. Для исследования использовали вспомогательное лабораторное оборудование - центрифугу лабораторную UC-4000E и сушильный шкаф ШС-80-02 СПУ.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 представлен зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования



а



б

**Рис.1.** Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости до (а) и после (б) экструдирования

**Fig. 1.** Grain heap of wheat of early maturity stages before (a) and after (b) extrusion

Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости не потерял свой цвет, что говорит о наличии хлорофилла – важного кормового компонента, обладающего антимикробным и антиоксидантным действием (Нестерук, 2022), способствующего снижению стресса при нахождении животного в критических условиях

(например, при высоких температурах – до 42 °С (Роцин и др., 2024).

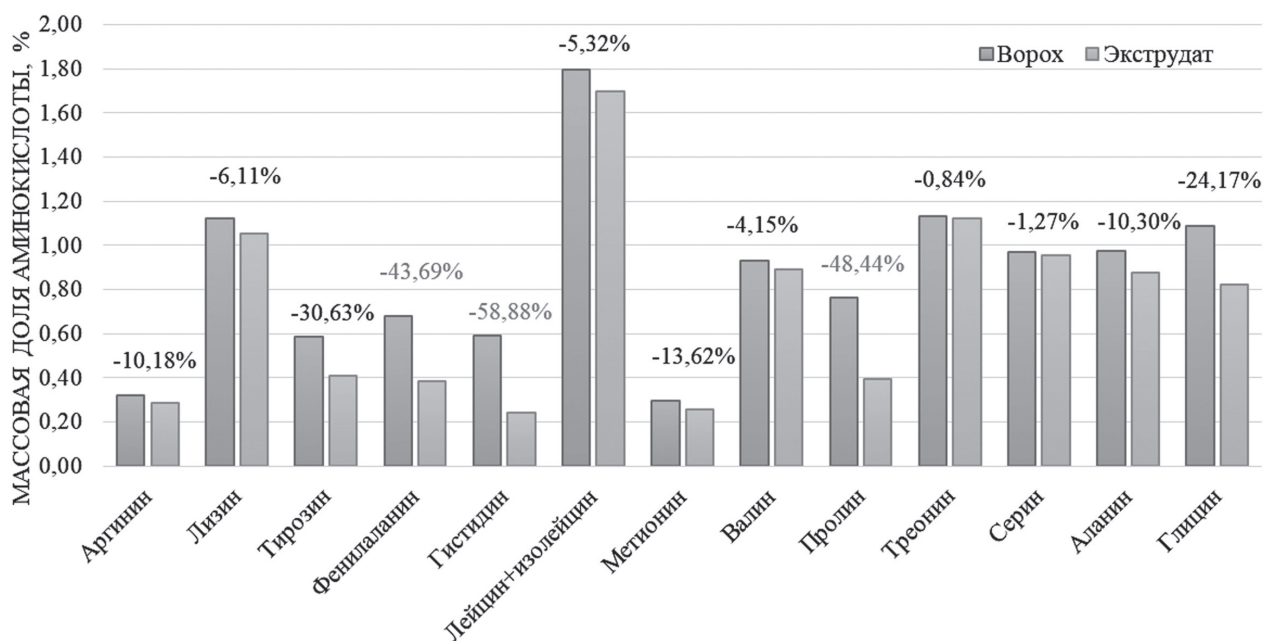
В табл. 1 и на рис. 2 представлен аминокислотный состав зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования.

**Таблица. 1. Результаты анализа аминокислотного состава зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования**

**Table 1. Results of the analysis of the amino acid composition of the grain heap of wheat of early maturity stages before and after extrusion**

Аминокислота	Ворох	Экструдат
Аргинин	0,3212 ± 0,1285	0,2885 ± 0,1154
Лизин	1,1210 ± 0,3811	1,0525 ± 0,3579
Тирозин	0,5883 ± 0,1765	0,4081 ± 0,1224*
Фенилаланин	0,6816 ± 0,2045	0,3838 ± 0,1153*
Гистидин	0,5902 ± 0,2951	0,2427 ± 0,1214*
Лейцин+изолейцин	1,794 ± 0,4664	1,6985 ± 0,4416
Метионин	0,2959 ± 0,1006	0,2556 ± 0,0869
Валин	0,9281 ± 0,3712	0,8896 ± 0,3558*
Пролин	0,7652 ± 0,199	0,3945 ± 0,1026*
Треонин	1,1335 ± 0,4534	1,1240 ± 0,4496
Серин	0,9678 ± 0,2516	0,9555 ± 0,2484
Аланин	0,9760 ± 0,2538	0,8755 ± 0,2276*
Глицин	1,0875 ± 0,3698	0,8246 ± 0,2804*
Общее количество	11,2502	9,3933

\* $p < 0.05$



**Рис. 2.** Результаты изменения аминокислотного состава зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости после процесса экструдирования

**Fig. 2.** Results of changes in the amino acid composition of the grain heap of wheat of early maturity stages after extrusion

Из графика (рис. 2) видно, что аминокислоты по-разному реагируют на кратковременную (около 5-6 с) термическую обработку, проходящую при температуре 145-150°C. В наибольшей степени снижается содержание 3 аминокислот: фенилаланина (незаменимая аминокислота) – на 43,69%, гистидина (незаменимая аминокислота) – на 58,88% и пролина (условно заменимая аминокислота) – на 48,44%.

Фенилаланин участвует в синтезе гормонов и процессах передачи нервных импульсов – синтезе нейромедиаторов. Гистидин участвует в синтезе белка, кроветворении – является компонентом гемоглобина и также, как и фенилаланин, участвует в процессах передачи нервных импульсов. Пролин, в отличие от двух предыдущих аминокислот, является условно незаменимым и при нормальных условиях синтезируется в организме животного. Однако, в период роста или в критических условиях (травмы, стресс, воспаление), должен поступать с кормом для нормального функционирования организма. Пролин участвует в формировании кожных покровов, обеспечивает стабильность коллагена, способствует быстрому заживлению кожи и укрепляет сосуды. Данные изменения в составе аминокислот зернового

сырья важно учитывать при балансировке кормов.

Полученные данные согласуется с данными (Peřaranda et al., 2025), где изучали изменение аминокислотного состава при экструдировании риса и гороха. Ученые отмечают, что аминокислоты в бобовых культурах в большей степени подвержены разрушению, чем аминокислоты в зерновых культурах. Кроме того, по данным авторов (Peřaranda et al., 2025), одна из наиболее не термостабильных аминокислот – лизин, содержание которой снижается в диапазоне от 12 до 49% в зависимости от условий экструдирования. Однако, в случае экструдирования зернового вороха снижение содержания лизина было незначительным – всего 6,11%. Помимо этого, аминокислотный состав зерновых культур более сбалансированный, чем у бобовых, однако, содержание белка в бобовых в разы больше, чем у зерновых.

Наиболее термоустойчивыми аминокислотами в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости оказались треонин (0,84%), серин (1,27%), валин (4,15%), лейцин+изолейцин (5,32%) и лизин (6,11%).

Результаты изменения массовой доли белка в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости после экструдирования представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Массовая доля сырого протеина в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости дои после экструдирования

**Table 2.** Mass fraction of crude protein in the grain heap of wheat of early maturity stages before and after extrusion

Наименование пробы	Содержание азота, $X \pm \Delta$ , %	Содержание влаги $W$ , %	Коэффициент пересчета на протеин	$r_n \leq r$	Сырой протеин**, % $\pm U$
Ворох пшеницы	2,22 $\pm$ 0,11	6,6	6,25	0,06 < 0,09	14,86 $\pm$ 0,45
Экструдат	1,94 $\pm$ 0,11	6,7	6,25	0,02 < 0,08	13,00 $\pm$ 0,39

\*\*Примечание: Содержание протеина приведено при фактической влажности.

Результаты анализа показывают, что при экструдировании содержание аминокислот и белка в пробе снижается. Содержание белка в экструдате меньше на 1,86%. Не смотря на снижение массовой доли белка, усвояемость после экструдирования увеличилась с 58,7 до 74,9%, т.е. на 16,2%. Это согласуется с данными (Reñaranda et al., 2025), где ученые исследовали изменение усвояемости каждой аминокислоты. В среднем, у рисового (растительного) белка значение усвояемости у заменимых аминокислот увеличилось с 53,3 до 63,4% (на 10,1%), у незаменимых с 43,0 до 68,4 %, т.е. средняя усвояемость протеиногенных аминокислот составила около 17,5%.

Помимо физико-химических показателей экструдата зернового вороха пшеницы, важно отметить физико-механические показатели, а именно способность к разрушению при размолу. Существенное влияние на эффективность измельчения зернового вороха оказывают его морфологические особенности, в частности наличие цветковых пленок (половы). Данный компонент, обладая высокой упругостью и малой толщиной, проявляет низкую восприимчивость к ударному и режущему воздействию рабочих органов измельчителей. При прохождении через сито некоторые частицы, представленные преимущественно пленчатыми фракциями, не достигают требуемых размеров и возвращаются на доизмельчение, что снижает общую эффективность процесса и увеличивает энергозатраты.

Применение экструзионной обработки кормового сырья приводит к существенной трансформации его структуры. Под воздействием высокого давления и температуры происходит частичная деструкция клетчатки (целлюлозно-лигнинного комплекса). Вследствие этого экструдат приобретает более хрупкую и пористую структуру по сравнению с нативным сырьем. Таким образом, последующее измельчение экструдированного продукта характеризуется:

- повышенной степенью дезинтеграции: материал легче поддается разрушению до более мелких фракций;
- гомогенностью гранулометрического состава: выход готового продукта отличается высокой однородностью;

- минимальными потерями при просеивании: снижается доля недоизмельченных частиц (сход с сита), что позволяет получить более качественный продукт с минимумом возврата на повторный цикл.

**Выводы.** Экструзионная обработка зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости при температуре 145–150 °С приводит к незначительному снижению массовой доли сырого протеина (на 1,86%), что связано с частичной денатурацией и реакциями взаимодействия аминокислот с другими компонентами.

Установлена различная степень термостабильности аминокислот. Наиболее уязвимы гистидин (снижение на 58,9%), пролин (48,4%) и фенилаланин (43,7%). Это необходимо учитывать при балансировании рационов для молодняка и животных в условиях стресса. Термостабильны треонин (потеря 0,84%), серин (1,27%) и лизин (6,11%).

Ключевым положительным эффектом экструдирования является значительное увеличение усвояемости корма *in vitro* – с 58,7% до 74,9%, что на 16,2% выше исходных значений. Прирост усвояемости компенсирует потерю абсолютного количества белка и делает корм биологически более доступным.

Экструдирование способствует частичной деструкции клетчатки, в результате чего экструдат приобретает хрупкую структуру. Это обеспечивает высокую степень измельчения, гомогенность гранулометрического состава и снижение потерь при просеивании (уменьшение схода с сита), повышая технологичность производства комбикормов.

Использование зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости в сочетании с экструдированием является перспективным технологическим приемом. Несмотря на небольшие потери белка, итоговая биологическая ценность корма возрастает за счет кратного увеличения усвояемости питательных веществ и инактивации антипитательных факторов, что подтверждает эффективность разработанной технологии для производства высококачественных кормов.

**Финансирование.** Работа проведена в рамках выполнения проекта «Разработка новой технологии дифференцированной уборки зерновых колосовых культур» (FZNE-2024-0014).

#### Библиографический список

1. Акулов В. И., Воробьев А. Л., Антюхов В. М., Видов П. О. Оптимизация рецептуры экструдированных комбикормов для крупного рогатого скота // Эффективное животноводство. 2021. №7 (173). С. 42–45. DOI: 10.24412/ci-33489-2021-7-42-45
2. Базылев М. В., Букас В. В., Левкин Е. А. Эффективность производства свинины на промышленной основе за счет интенсификации кормления свиней // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2012. №15 (1). С. 38–44
3. Мухрамова А. А., Асылбекова С. Ж., Сидорова В. И., Самбетбаев А. А., Исбеков К. Б. Стартовый комбикорм для *slaviae gariepinus*, разработанный в Казахстане: рецептура, показатели качества и эффективность в аквакультуре // Сельскохозяйственная биология. 2022. №4 (57). С. 791–802. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.791rus
4. Пономарев С. В., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А. Индустриальное рыбоводство: учебник. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 448 с. ISBN 978-5-8114-1367-6. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/211118> (дата обращения: 14.01.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей
5. Meskhi B., Pakhomov V., Rudoy D., Maltseva T., Olshevskaya A., Mazanko M. Early maturity wheat as a highly valuable feed raw material with prebiotic activity // Agriculture. 2025. Vol. 15. № 3. Article number: 317. DOI: 10.3390/agriculture15030317
6. Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Камбулов С.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А., Панфилов И.А. Очёсывающее устройство для уборки зерновых культур // Патент на полезную модель, RU 233080 U1, 03.04.2025, Россия, МПК A01D 41/08, A01D 41/12; заявл. 04.12.2024, опубл. 03.04.2025. Заявитель ФГБОУ ВО ДГТУ
7. Слезко Е. И., Гапонова В. Е. Влияние процесса экструдирования на питательные качества корма // Техника и

технологии в животноводстве. 2021. №1 (41). С. 66–70. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-66

8. Антимонов С. В., Соловых С. Ю., Кишкилев С. В. Исследования по влиянию экструдированного комбикорма, полученного с применением предварительно охлажденного измельченного зерна, на прирост живой массы поросят // МНИЖ. 2023. №1 (127). С. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.86>

9. Великанов В. В., Сологуб Р. М., Марусич А. Г. Влияние комбикорма с включением зерна озимой ржи с различными видами его обработки на физиологическое состояние и обмен веществ лактирующих коров // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2025. №28–2. С. 156–165

10. Нестерук, Е. В. Влияние суспензии хлореллы на динамику живой массы тела и гематологические показатели крови у гомеотермных животных // Животноводство и ветеринарная медицина. 2022. №2. С. 32–37

11. Рощин В. И., Юрина Н. А., Миксон Д. С., Короткий В. П., Рыжов В. А. Экстрактивные вещества хвойной кормовой фитодобавки и их влияние на продуктивность сельскохозяйственных животных при стрессах. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 366–382. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.366-382

12. Peñaranda I., Garrido M. D., García-Segovia P., Martínez-Monzó J., Igual M. Effect of protein texturization on amino acids and protein in vitro bioaccessibility of pea and rice protein // Food and Function. 2025. №16. P. 1820-1829. DOI: 10.1039/D4FO04829F.

#### References

1. Akulov V. I., Vorob'ev A. L., Antyuhov V. M., Vidov P. O. Optimizaciya receptury ekstrudirovannykh kombikormov dlya krupnogo rogatogo skota [Optimization of extruded cattle feed formulas] // Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2021. №7 (173). S. 42–45. DOI: 10.24412/cl-33489-2021-7-42-45

2. Bazylev M. V., Bukas V. V., Levkin E. A. Effektivnost' proizvodstva svininy na promyshlennoj osnove za schet intensivifikatsii kormleniya svinей [Efficiency of industrial pork production through intensified pig feeding] // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2012. №15 (1). S. 38–44

3. Muhramova A. A., Asylbekova S. Zh., Sidorova V. I., Sambetbaev A. A., Isbekov K. B. Startovyy kombikorm dlya clarias gariepinus, razrabotannyj v Kazahstane: receptura, pokazateli kachestva i effektivnost' v akvakul'ture [Starter feed for *clarias gariepinus* developed in Kazakhstan: formulas, quality indicators, and efficiency in aquaculture] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2022. №4 (57). S. 791–802. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.791rus

4. Ponomarev S. V., Grozesku YU. N., Bahareva A. A. Industrial'noe rybovodstvo: uchebnik. [Industrial pisciculture] 2-e izd., ispr. i dop. Sankt-Peterburg : Lan', 2022. 448 s. ISBN 978-5-8114-1367-6. Tekst : elektronnyj // Lan' : elektronno-bibliotchnaya sistema. URL: <https://e.lanbook.com/book/211118> (data obrashcheniya: 14.01.2026). Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej

5. Meskhi B., Pakhomov V., Rudoy D., Maltseva T., Olshevskaya A., Mazanko M. Early maturity wheat as a highly valuable feed raw material with prebiotic activity // Agriculture. 2025. Vol. 15. № 3. Article number: 317. DOI: 10.3390/agriculture15030317

6. Meskhi B.CH., Pahomov V.I., Kambulov S.I., Rudoy D.V., Mal'ceva T.A., Panfilov I.A. Ochyosyvyayushchee ustrojstvo dlya uborki zernovykh kul'tur [Stripper for harvesting grain crops] // Patent na poleznuyu model', RU 233080 U1, 03.04.2025, Rossiya, MPK A01D 41/08, A01D 41/12; zayavl. 04.12.2024, opubl. 03.04.2025. Zayavitel' FGBOU VO DGTU

7. Slezko E. I., Gaponova V. E. Vliyanie processa ekstrudirovaniya na pitatel'nye kachestva korma [The effect of extrusion on feed nutrition] // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2021. №1 (41). S. 66–70. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-66

8. Antimonov S. V., Solovyh S. YU., Kishkilev S. V. Issledovaniya po vliyaniyu ekstrudirovannogo kombikorma, poluchennogo s primeneniem predvaritel'no ohlazhdenного измельченного зерна, na prirost zhivoj massy porosyat [The study of the effect of extruded mixed feed obtained using pre-cooled grinded grain on live weight increase in piglets] // MNIZH. 2023. №1 (127). S. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.86>

9. Velikanov V. V., Sologub R. M., Marusich A. G. Vliyanie kombikorma s vklucheniem zerna ozimoy rzhi s razlichnymi vidami ego obrabotki na fiziologicheskoe sostoyanie i obmen veshchestv laktiruyushchih korov [The effect of mixed feed including winter rye with various processing methods on the physiological condition and metabolism of lactating cows] // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2025. №28–2. S. 156–165

10. Nesteruk, E. V. Vliyanie suspenzii hlorely na dinamiku zhivoj massy tela i gematologicheskie pokazateli krovi u gomeotermnykh zhivotnykh [The effect of chlorella suspension on live weight dynamics and hematological parameters in homeothermic animals] // Zhivotnovodstvo i veterinarnaya medicina. 2022. №2. S. 32–37

11. Roshchin V. I., YUrina N. A., Mikson D. S., Korotkij V. P., Ryzhov V. A. Ekstraktivnye veshchestva hvojnoj kormovoj fitodobavki i ih vliyanie na produktivnost' sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh pri stressah [Extractive substances of coniferous feed phytoadditive and their effect on livestock productivity under stress] // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2024. Vyp. 250. S. 366–382. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.366-382

12. Peñaranda I., Garrido M. D., García-Segovia P., Martínez-Monzó J., Igual M. Effect of protein texturization on amino acids and protein in vitro bioaccessibility of pea and rice protein // Food and Function. 2025. №16. P. 1820-1829. DOI: 10.1039/D4FO04829F

Поступила: 15.03.26; доработана после рецензирования: 22.03.26; принята к публикации: 23.03.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Пахомов В. И. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, написание публикации; Рудой Д. В. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, написание публикации; Мальцева Т. А. – проведение экструдирования зернового вороха, проведение анализа качества, анализ и интерпретация данных, написание публикации; Косолапова Е. Н. – проведение анализа качества, анализ и интерпретация данных, написание публикации.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТОВ «АГРОМАКСИМУМ 5» И «АГРОВЕРМ МАСТЕР» НА ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, КУЛЬТИВИРУЕМОЙ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**С.В. Косенко**<sup>1</sup> кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, e-mail: s.kosenko.pnz@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0003-3214-153X;

**А.А. Ермаков**<sup>2</sup>, соискатель, e-mail: a.ermakov@bioeragroup.ru

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур»,

170041, г. Тверь, Комсомольский пр., 17/56, e-mail: info@fncl.ru;

<sup>2</sup>ООО «Биокинетика», 412542, Саратовская область, Петровский р-н, г. Петровск, ул. Панфилова, д. 108, кв. 1.

Приведены результаты исследований по изучению влияния оптимальных норм расхода биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» и их воздействия на зимостойкость, урожайность и качество зерна. Биопрепараты «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» – это комплексное удобрение, содержащее азотфиксирующие бактерии, фосфатмобилизующие бактерии, калиймобилизующие бактерии, гуминовые кислоты и аминокислоты. Их используют для подкормки растений, как для обработки семян перед посевом, так и для внекорневой подкормки, что способствует улучшению питания, повышению урожайности и защите от болезней. Целью исследования является изучение эффективности применения биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» в установленных дозировках для повышения зимостойкости, продуктивности и улучшения качества зерна.

В контрольном варианте семена были обработаны фунгицидом Кинто Дуо в дозировке 2,5 л/т. Во втором варианте, помимо обработки семян Кинто Дуо (2,5 л/т), был добавлен биопрепарат «Агромаксимум 5» (1,25 л/т). В третьем варианте к обработке семян Кинто Дуо и «Агромаксимум 5» добавили опрыскивание посевов в фазу конец кущения - начало выхода в трубку биопрепаратом «АгроВерм мастер» в количестве 1,5 л/га. Полученные данные показывают, что предпосевная обработка семян биопрепаратом «Агромаксимум 5» в дозировке 1,25 л/т существенно увеличивала надземную биомассу (в среднем на 15,7%), коэффициент кущения (в среднем на 27,8%), глубину залегания узла кущения (в среднем на 21,8%), число узловых корней (в среднем на 22,2%) и зимостойкость (в среднем на 6,7%). Опрыскивание посевов биоудобрением «АгроВерм Мастер» в фазу конец кущения - начало выхода в трубку приводило к увеличению урожайности озимой пшеницы сорта Фотинья в среднем на 0,66 т/га (или 10,3%) и всех показателей индивидуальной зерновой продуктивности.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, биопрепараты, зимостойкость, продуктивность, качество зерна.

**Для цитирования:** Косенко С.В., Ермаков А.А. Анализ влияния препаратов «Агромаксимум 5» и «Агроверм мастер» на хозяйственно ценные признаки озимой пшеницы, культивируемой в Пензенской области // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, № 2. С. 91-96. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-91-96



## ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE PRODUCTS “AGROMAXIMUM 5” AND “AGROVERM MASTER” ON THE ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF WINTER WHEAT CULTIVATED IN THE PENZA REGION

**S.V. Kosenko**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding technologies, e-mail: s.kosenko.pnz@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0003-3214-153X;

**A.A. Ermakov**<sup>2</sup>, PhD student, e-mail: a.ermakov@bioeragroup.ru

<sup>1</sup>FSBSI “Federal Research Center of Fiber Crops”,

170041, Russian Federation, Tver, Komsomolsky Av., 17/56; e-mail: info@fncl.ru;

<sup>2</sup>Biokinetics LLC,

412542, Saratov region, Petrovsky district, Petrovsk, Panfilov Str., 1/108.

The current paper deals with the results of analyzing the effect of optimal application rates of the biological products “Agromaximum 5” and “AgroVerm Master” and their impact on winter resistance, productivity, and grain quality. The biological products “Agromaximum 5” and “AgroVerm Master” are complex fertilizers containing nitrogen-fixing bacteria, phosphate-mobilizing bacteria, potassium-mobilizing bacteria, humic acids, and amino acids. They are used for plant nutrition, both for pre-sowing seed treatment and foliar application, which improves nutrition and productivity, and protects against diseases. The purpose of the current study was to study the efficiency of the biological products “Agromaximum 5” and “AgroVerm Master” at specified doses to improve winter resistance, productivity, and grain quality. In the control

variant, seeds were treated with the fungicide Kinto Duo at a dose of 2.5 l/t. In the second variant, the biological product "Agromaximum 5" (1.25 l/t) was added to Kinto Duo (2.5 l/t). In the third variant, in addition to Kinto Duo and "Agromaximum 5" the seeds were treated with the biological product "AgroVerm Master" at a dose of 1.5 l/ha during late tillering to early booting stage. The obtained data have shown that pre-sowing treatment of seeds with 1.25 l/t of the biological product "Agromaximum 5" significantly increased the aboveground biomass (by an average of 15.7%), a tillering coefficient (by an average of 27.8%), a depth of the tillering node (by an average of 21.8%), a number of nodal roots (by an average of 22.2%) and winter resistance (by an average of 6.7%). The treatment of crops with the biofertilizer "AgroVerm Master" during late tillering to early booting stage has improved productivity of the winter wheat variety Fotiniya by 0.66 t/ha (or 10.3%) and all indicators of individual grain productivity.

**Keywords:** winter wheat, bioproducts, winter resistance, productivity, grain quality.

**Введение.** В условиях глобальных вызовов, связанных с изменением климата, деградацией почв и необходимостью снижения химической нагрузки на агроэкосистемы, возрастает значимость биологических препаратов в сельском хозяйстве. Мировой рынок сельскохозяйственных биологических препаратов демонстрирует уверенный рост, прогнозируемый в среднем на 15,20% в ближайшие пять лет, что подтверждает их ключевую роль в формировании устойчивых систем земледелия (Кененбаев и др., 2023; Aasfar et al., 2021; Allouzi et al., 2022; Soumare et al., 2020). Так, опыт ведущих аграрных стран, показывает активное внедрение новых биопрепаратов (Pathak et al., 2021; Kumar et al., 2022).

В Российской Федерации также наблюдается тенденция к расширению применения биологических удобрений, особенно в контексте развития органического земледелия (Безуглова и др., 2020; Новикова и др., 2023). Использование биопрепаратов, содержащих полезные микроорганизмы, играют ключевую роль в оптимизации питания растений, повышении их стрессоустойчивости и улучшении плодородия почв (Королькова и др., 2024). В контексте возделывания озимой пшеницы, являющейся одной из стратегически важных культур для обеспечения продовольственной безопасности, применение биопрепаратов позволяет не только увеличить урожайность, но и улучшить качественные показатели зерна, а также повысить морозостойкость и устойчивость к болезням (Гузенко и др., 2024). Это особенно важно для регионов с переменчивыми погодными условиями, таких как Пензенская область, где зимостойкость культуры напрямую влияет на конечный урожай. Таким образом, исследования, направленные на изучение эффективности новых биопрепаратов и их влияния на хозяйственно ценные признаки озимой пшеницы, имеют большое практическое значение для разработки адаптивных технологий возделывания и снижения пестицидной нагрузки на агроценозы.

**Целью исследования** является изучение эффективности применения биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» в установленных дозировках для повышения зимостойкости, продуктивности и улучшения качества зерна.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили в 2022–2023 гг. на полях ФГБНУ ФНЦ ЛК ОП Пензенский НИИСХ. В 2022 и 2023 годах наблюдались благоприятные условия для вегетации озимой пшеницы: количество осадков было достаточным (173,4 мм и 175,5 мм), среднесуточная температура соответствовала норме (15,2 °C и 15,6 °C), гидротермический коэффициент составил 1,16 и 1,22 соответственно. Зимние месяцы 2022 и 2023 годов характеризовались чередованием похолоданий

и потеплений. Наиболее низкие температуры воздуха наблюдались в первой и второй декадах января обоих лет: в ночные часы они достигали минус 25°C в 2022 году и минус 33°C в 2023 году. Глубина снежного покрова составляла 60-70 см в 2022 году и 7-15 см в 2023 году. Температура в зоне узла кущения не опускалась ниже 2°C в 2022 году и ниже 6°C в 2023 году. В целом осенне-зимне-весенний период 2022 и 2023 годов был благоприятным для перезимовки и вегетации озимой пшеницы.

Объектом исследования являлся сорт озимой мягкой пшеницы Фотинья. Учётная площадь делянки 10 м<sup>2</sup>, 3 повторения, предшественник – чистый пар. Схема опыта: вариант 1 – контроль, обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т; вариант 2 – обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т + биопрепарат «Агромаксимум 5» 1,25 л/т; вариант 3 – обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т + биопрепарат «Агромаксимум 5» 1,25 л/т + опрыскивание посевов в фазу конец кущения - начало выхода в трубку биопрепаратом «АгроВерм мастер» 1,5 л/га.

Уборку урожая с учётных делянок проводили малогабаритным комбайном «Сампо-130» с последующим взвешиванием бункерного веса, определением влажности и пересчетом на стандартную влажность и 100% чистоту.

Оценку зимостойкости проводили путём подсчёта погибших и сохранившихся к весне растений на учётных площадках размером 0,5 м<sup>2</sup>. Фенологические наблюдения, анализ структуры урожая выполняли по Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Физико-химические показатели качества зерна (натура зерна, стекловидность, количество и качество клейковины) определяли по стандартным методикам, изложенным (Беркутовой, 1991). Для статистической обработки экспериментальных данных применяли дисперсионный анализ (Доспехов, 2014).

**Результаты и их обсуждение.** Биопрепараты «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» положительно повлияли на зимостойкость растений, продуктивность и качество зерна. Данные препараты, содержат полезные микроорганизмы, которые способствуют улучшению питания растений, повышению их устойчивости к стрессовым факторам и болезням, а также улучшают структуру почвы. В результате растения становятся более крепкими, лучше переносят зимние холода, дают больший урожай и более качественное зерно.

Использование «Агромаксимум 5» в дозировке 1,25 л/т для предпосевной обработки семян позволило увеличить надземную биомассу (в среднем на 15,7%), коэффициент кущения (в среднем на 27,8%), глубину залегания узла кущения (в среднем на 21,8%), число узловых корней (в среднем на 22,2%) и зимостойкость (в среднем на 6,7%) (таблица 1).

**Таблица 1. Влияние «Агромаксимум 5» на морфометрические показатели зимостойкости озимой пшеницы сорта Фотинья, 2022-2023 гг.**

**Table 1. Effect of “Agromaximum 5” on the morphometric parameters of winter resistance of the winter wheat variety Fotiniya, 2022–2023**

Показатели	Контроль			Вариант 2			НСР <sub>05</sub>
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	
Высота надземной биомассы, см	18,2	22,6	20,4	22,4	24,8	23,6/15,7%	0,51
Коэффициент кущения	3,4	3,8	3,6	4,2	5,0	4,6/27,8%	0,90
Глубина залегания узла кущения, см	2,8	3,6	3,2	3,4	4,4	3,9/21,8%	0,44
Количество узловых корней, шт.	1,6	2,0	1,8	2,0	2,4	2,2/22,2%	0,32
Зимостойкость, %	86	94	90	94	98	96/6,7%	4,21

Итоговый показатель – урожайность зерна – на Вариант 2 превысил контроль на 0,24 т/га (4,0%), а контрольном варианте составил 5,8 т/га (таблица 2). вариант 3 на 0,66 т/га (10,3%).

**Таблица 2. Влияние применения биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» на урожайность озимой пшеницы (сорт Фотинья), 2022–2023 гг.**

**Table 2. Effect of “Agromaximum 5” and “AgroVerm Master” on productivity of the winter wheat (the variety Fotiniya), 2022–2023**

Вариант		Урожайность, т/га		
		± к контролю, т/га	± к контролю в %	
Контроль	2022 г.	5,75	0,0	0,0
	2023 г.	5,85	0,0	0,0
	среднее	5,80	0,0	0,0
Вариант 2	2022 г.	5,90	0,15	2,6
	2023 г.	6,18	0,33	5,4
	среднее	6,04	0,24	4,0
Вариант 3	2022 г.	6,30	0,55	8,8
	2023 г.	6,62	0,77	11,7
	среднее	6,46	0,66	10,3
НСР <sub>05</sub>		0,12		
Точность опыта, %		1,63		

Опрыскивание посевов биоудобрением «АгроВерм Мастер» в фазу конец кущения - начало выхода в трубку приводило к увеличению всех показателей индивидуальной зерновой продуктивности (таблица 3).

**Таблица 3. Влияние применения биоудобрения «АгроВерм Мастер» на элементы структуры урожая озимой пшеницы (сорт Фотинья), 2022–2023 гг.**

**Table 3. Effect of “AgroVerm Master” on the yield structure elements of the winter wheat (the variety Fotiniya), 2022–2023**

Вариант	Контроль	Вариант 2	Вариант 3	НСР <sub>05</sub>	Точность опыта, %
Число растений на м <sup>2</sup> , шт.	380	390	394	NS	0,63
Продуктивная кустистость	1,68	1,7	2,3 +36,9%	0,13	1,81
Длина колоса, см	7,7	7,8	8,8 +14,2%	0,21	0,67
Число колосков, шт.	15,4	15,6	17,9 +16,2%	0,27	0,61
Число зёрен в колосе, шт.	34,4	36,6 +6,4%	42,4 +23,2%	0,26	0,19
Масса зерна с колоса, г	1,63	1,70 +4,3%	1,93 +18,4%	0,06	1,77
Масса 1000 зёрен, г	38,8	39,7 +2,3%	42,9 +10,6%	1,23	0,67

Самое высокое достоверное увеличение продуктивной кустистости (в среднем 36,9%) было на варианте 3.

Длина колоса, увеличивалась при опрыскивании посевов на варианте 3 – прибавка составила в среднем 14,2%.

Непосредственно от длины колоса зависит количество колосков в колосе. На варианте 3 оно было достоверно выше, чем на контроле на 16,2%.

Выявлено, что опрыскивание посевов по вегетации достоверно увеличивало число и массу зерна с колоса на варианте 2 и 3. Число зёрен увеличивалось в среднем на 6,4 и 23,2% соответственно, а масса зерна – на 4,3 и 18,4% соответственно.

Масса 1000 зёрен, характеризую налив зерна, достоверно повышалась на варианте 3. Этот показатель увеличивался в среднем на 10,6%. Все прибавки статистически достоверны.

Из показателей качества определяли натуру зерна, стекловидность, клейковины в зерне, качество клейковины (таблица 4).

Опрыскивание посевов по вегетации биопрепаратом «АгроВерм Мастер» не оказало существенного влияния на натуру зерна, стекловидность, содержание клейковины в зерне, так как все показатели качества зерна на всех вариантах, в том числе и на контроле были высокими.

**Таблица 4. Влияние применения биоудобрения «АгроВерм Мастер» на показатели качества зерна, 2022–2023 гг.**

**Table 4. Effect of “AgroVerm Master” on grain quality parameters, 2022–2023**

Вариант	Контроль	Вариант 2	Вариант 3	НСР05
Натура зерна, г/л	795	799	800	NS
Стекловидность, %	100	100	100	NS
Содержание клейковины в зерне, %	23,4	23,2	23,6	NS
Качество клейковины, ед. ИДК	100 II группа	100 II группа	100 II группа	NS

Анализ экономической эффективности биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм» проводился с учетом рыночных цен, затрат на производство и

урожайности. Детальная информация представлена в таблице 5.

**Таблица 5. Экономическая эффективность биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм, 2022-2023 гг.**

**Table 5. Economic efficiency of the bioproducts “Agromaximum 5” and “AgroVerm Master”, 2022–2023**

Вариант	Урожайность семян т/га	Стоимость продукции, руб.	Производственные затраты, руб/га	Себестоимость продукции, руб./т	Условно чистый доход, руб.	Уровень рентабельности производства, %
2022 год						
Контроль - обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т	5,75	43125	21290	3702,6	21835	103
Вариант 1. Обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т + биопрепарат «Агромаксимум 5» 1,25 л/т	5,90	44250	21450	3635,6	22800	106
Вариант 2. Обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т + биопрепарат «Агромаксимум 5» 1,25 л/т + опрыскивание посевов в фазу конец кущения - начало выхода в трубку биопрепаратом «АгроВерм мастер» 1,5 л/га	6,30	47250	21890	3474,6	25360	116
2023 год						
Контроль - обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т	5,85	46800	23660	4044,4	23140	98
Вариант 1. Обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т + биопрепарат «Агромаксимум 5» 1,25 л/т	6,18	49440	23830	3855,9	25610	107
Вариант 2. Обработка семян фунгицидом Кинто Дуо 2,5 л/т + биопрепарат «Агромаксимум 5» 1,25 л/т + опрыскивание посевов в фазу конец кущения - начало выхода в трубку биопрепаратом «АгроВерм мастер» 1,5 л/га	6,66	53280	24320	3651,7	28960	119

Данные за 2022 и 2023 годы демонстрирует, что применение биопрепаратов «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» значительно повышают экономическую эффективность возделывания озимой пшеницы по сравнению с контрольным вариантом.

Максимальная экономическая эффективность достигается при обработке семян фунгицидом «Кинто Дуо» и «Агромаксимум 5» в сочетании с некорневой подкормкой «АгроВерм мастер» в фазе конец кущения - начало выхода в трубку (Вариант 2). В 2022 году этот вариант принес 25360 рублей чистого дохода и 116% рентабельности. В 2023 году показатели еще выше: 28960 рублей чистого дохода и 119% рентабельности. При этом наблюдается наибольшая урожайность (6,30 т/га в 2022 г. и 6,66 т/га в 2023 г.) и самая низкая себестоимость продукции (3474,6 руб./т в 2022 г. и 3651,7 руб./т в 2023 г.).

Применение только «Агромаксимум 5» (Вариант 1: фунгицид «Кинто Дуо» + «Агромаксимум 5») также показывает улучшение экономических показателей по сравнению с контролем, но уступает комплексному применению. В 2022 году чистый доход составил 22800 рублей, рентабельность 106%. В 2023 году чистый доход 25610 рублей, рентабельность 107%.

Контрольный вариант (только фунгицид «Кинто Дуо») имеет наименьшие показатели чистого дохода и рентабельности в оба года.

**Выводы.** Таким образом, обработка семян биопрепаратом «Агромаксимум 5» в концентрации 1,25 л/т приводила к увеличению зимостойкости в среднем на 6,7%. Опрыскивание посевов по вегетации биопрепаратом «АгроВерм Мастер» приводило к увеличению урожайности озимой пшеницы сорта Фотинья в среднем на 0,66 т/га (или 10,3%). При этом наблюдалось увеличение показателей индивидуальной зерновой продуктивности растений.

Биопрепараты «Агромаксимум 5» и «АгроВерм мастер» по сравнению с контролем, являются экономически обоснованным решением для повышения продуктивности и прибыльности производства озимой пшеницы, что обусловлено увеличением урожайности, снижением себестоимости производства и, как следствие, ростом чистого дохода и рентабельности.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS-2022-0008).

#### Библиографический список

1. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. Москва: Росагропромиздат. 1991. 205 с.
2. Гузенко, А.В., Гузенко А.Ю., Солонкин А.В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на каштановых почвах Волгоградской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. №16(3). С. 412–426. DOI:10.12731/2658-6649-2024-16-3-834
3. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Полиенко Е.А., Горюнов А.В. Гуминовые препараты и структурное состояние черноземных и каштановых почв Ростовской области: монография. Ростов н/Д: АзовПринт, 2020. 188 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е издание, перераб. и доп. М.: Альянс. 2014. 351 с.
5. Кененбаев С.Б., Есенбаева Г.Л., Жанбырбаев Е.А., Бектурганов А.Н. Влияние биоудобрений и биопрепаратов на показатели плодородия и продуктивности сероземных почв юго-востока Казахстана // Почвоведение и агрохимия. 2023. № 2. С. 44–56. DOI: 10.51886/1999-740X\_2023\_2\_44
6. Королькова Н.М., Черкашина Н.И., Гусева Е.В. Посевные характеристики сельскохозяйственных культур при использовании инновационных комплексов удобрений // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 580–592. DOI:10.32417/1997-4868-2024-24-05-580-592
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый (общая часть). М.: Колос. 2019. 329 с.
8. Новикова И.И., Попова Э.В., Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., Чекурова С.С. Устойчивость к болезням, продуктивность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) под влиянием полифункциональных биопрепаратов и комплексов на основе микроорганизмов и хитозана // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 158–183. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.158rus
9. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Kadmiri I.M. Nitrogen fixing azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability // Frontiers in Microbiology. 2021. Vol. 12. P. 1–19. DOI: 10.3389/fmicb.2021.628379
10. Allouzi M.M.A., Allouzi S.M.A., Keng Z.X., Supramaniam C.V., Singh A., Chong S. Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture // Heliyon. 2022. Vol. 8, № 12. Art. 12609. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12609
11. Kumar S., Diksha, Sindhu S.S., Kumar R. Biofertilizers: An eco-friendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability // Current Research in Microbial Sciences. 2022. Vol. 3. P. 1–26. DOI: 10.1016/j.crmicr.2021.100094
12. Pathak E., Sanjyal A., Regmi C., Paudel S., Shrestha A. Screening of potential plant growth promoting properties of Bacillus species isolated from different regions of Nepal // Nepal J Biotechnol. 2021. Vol. 9. P. 79–84. DOI: 10.3126/njb.v9i1.38672
13. Soumare A., Diedhiou A., Thuita M., Hafidi M., Ouhdouch Y., Gopalakrishnan S., Kouisni L. Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture // Plants. 2020. Vol. 9(8). P. 1011. DOI: 10.3390/plants9081011 P

#### References

1. Berkutova N.S. Metody ocenki i formirovanie kachestva zerna [Methods for estimating and forming grain quality]. Moskva: Rosagropromizdat. 1991. 205 s.
2. Guzenko, A.V., Guzenko A.YU., Solonkin A.V. Vliyanie makro- i mikroudobrenij na urozhajnost' i kachestvo zerna ozimoy pshenicy na kashtanovykh pochvakh Volgogradskoj oblasti [The effect of macro- and microfertilizers on productivity

and grain quality of winter wheat on chestnut soils in the Volgograd Region] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. №16(3). S. 412–426. DOI:10.12731/2658-6649-2024-16-3-834

3. Bezuglova O.S., Lyhman V.A., Polienko E.A., Gorovcov A.V. Guminovye preparaty i strukturnoe sostoyanie chernozemnyh i kashtanovyh pochv Rostovskoy oblasti: monografiya [Humic preparations and the structural state of blackearth and chestnut soils in the Rostov Region: a monograph]. Rostov n/D: AzovPrint, 2020. 188 s.

4. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with fundamentals of statistical processing of the study results)]. 5-e izdanie, pererab. i dop. M.: Al'yans. 2014. 351 s.

5. Kenenbaev S.B., Esenbaeva G.L., Zhanbyrbaev E.A., Bekturganov A.N. Vliyanie biudobrenij i biopreparatov na pokazateli plodorodiya i produktivnosti serozemnyh pochv yugo-vostoka Kazahstana [The effect of biofertilizers and bioproducts on the fertility and productivity of grey soils in Southeastern Kazakhstan] // Pochvovedenie i agrohimiya. 2023. № 2. S. 44–56. DOI: 10.51886/1999-740X\_2023\_2\_44

6. Korol'kova N.M., Cherkashina N.I., Guseva E.V. Posevnye karakteristiki sel'skohozyajstvennyh kul'tur pri ispol'zovanii innovacionnyh kompleksov udobrenij [Sowing characteristics of agricultural crops using innovative fertilizer complexes] // Agrarnyj vestnik Urala. 2024. T. 24, № 05. S. 580–592. DOI:10.32417/1997-4868-2024-24-05-580-592

7. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Methodology for the State Variety Testing of Agricultural Crops]. Vypusk pervyj (obshchaya chast'). M.: Kolos. 2019. 329 s.

8. Novikova I.I., Popova E.V., Kolesnikov L.E., Kolesnikova YU.R., Chekurova S.S. Ustojchivost' k boleznyam, produktivnost' i sodержание fotosinteticheskikh pigmentov v list'yah yarovoj myagkoj pshenicy (*Triticum aestivum* L.) pod vliyaniem polifunkcional'nyh biopreparatov i kompleksov na osnove mikroorganizmov i hitozana [Disease resistance, productivity, and photosynthetic pigments in foliar of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) under the influence of multifunctional bioproducts and complexes based on microorganisms and chitosan] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2023. T. 58, № 1. S. 158-183. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.158rus

Поступила: 26.05.25; доработана после рецензирования: 22.10.25; принята к публикации: 29.10.25.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Косенко С.В., Ермаков А.А. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Косенко С.В. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Косенко С.В., Ермаков А.А. – проведение полевого опыта.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## РЕАКЦИЯ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА АЗОТНУЮ ПОДКОРМКУ В КОЛОШЕНИЕ

**Н. А. Галушко**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна, ORCID ID: 0000-0002-2693-7024;

**Н. И. Соколенко**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации, ORCID ID: 0009-0001-6741-3403;

**Р. Г. Гаджиумаров**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологий возделывания сельскохозяйственных культур, ORCID ID: 0000-0002-4220-623X.

*ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»*,

*356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова 49, E-mail: info@fnac.center*

Решение проблемы стабилизации производства высококачественного зерна пшеницы является актуальным. Исследования проводили в 2023–2025 гг. на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» на черноземе обыкновенном среднесуглинистом среднемощном слабогумусированном в зоне с неустойчивым увлажнением Ставропольского края. Цель исследований – дать характеристику хозяйственно ценных признаков новых сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», проходящих государственное сортоиспытание и показать их реакцию на азотную подкормку в фазу колошения. В исследованиях использованы два новых сорта озимой мягкой пшеницы Таисия и Айдария. Изучение сортов проводили по Методике государственного сортоиспытания в сравнении со стандартом Гром. Урожайность сортов Таисии и Айдарии в среднем за три года испытаний соответственно составила 8,04 и 8,11 т/га, стандарта – 6,98 т/га, превышение над стандартом составило 15,2 и 16,2 %. От применения карбамида в среднем за три года наибольшая прибавка урожайности зерна получена у стандарта Гром – 0,23 т/га, у сортов Айдария – 0,14 т/га и Таисия – 0,07 т/га. Некорневая азотная подкормка способствовала достоверному увеличению количества клейковины у сортов Айдария и Таисия на 2,6 и 5,2 % соответственно, у стандарта Гром на 3,4 %. Новые сорта Таисия, Айдария и стандарт Гром проявили отзывчивость на азотную подкормку в колошение, сформировав лучшее зерно по комплексу показателей качества, что свидетельствует о перспективности применения некорневой подкормки азотом в колошение на озимой пшенице.

**Ключевые слова:** озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), селекция, сорт, признак, урожай зерна, клейковина.

**Для цитирования:** Галушко Н. А., Соколенко Н. И., Гаджиумаров Р. Г. Реакция новых сортов озимой мягкой пшеницы на азотную подкормку в колошение // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, № 2. С. 97-103. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-97-103



## RESPONSE OF NEW WINTER COMMON WHEAT VARIETIES TO NITROGEN TOP DRESSING DURING THE HEADING GROWTH STAGE

**N.A. Galushko**, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for grain quality, ORCID ID: 0000-0002-2693-7024;

**N.I. Sokolenko**, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for distant hybridization, ORCID ID: 0009-0001-6741-3403;

**R.G. Gadzhumarov**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of cultivation technologies of agricultural crops, ORCID ID: 0000-0002-4220-623X.

*FSBSI “North Caucasus Federal Agrarian Research Center”*,

*356241 Stavropol Region, Shpakovsky district, Mikhaylovsk, Nikonov Str., 49; e-mail: info@fnac.center*

The solution to the problem of stabilizing the high-quality wheat grain production is of great urgency. The current study was conducted at the experimental plot of the “North Caucasus FARC” on ordinary medium-loamy, moderately deep, low-humus blackearth in the unstable moisture area of the Stavropol Territory from 2023 to 2025. The purpose of the study was to characterize the economically valuable traits of new winter wheat varieties bred by the FSBSI “North Caucasus FARC” undergoing the state variety testing and to demonstrate their response to nitrogen top dressing during the heading growth stage. There have been studied two new winter common wheat varieties Taisiya and Aidariya. The varieties were studied according to the Methodology of the State Variety Testing and compared with the standard Grom. For three years of testing the average productivity of the varieties Taisiya and Aidariya was 8.04 and 8.11 t/ha, that of the standard variety was 6.98 t/ha, the productivity excess over the standard variety was 15.2 and 16.2%. The largest mean productivity increase due to the use of urea was obtained from the standard Grom (0.23 t/ha), the varieties Aidariya and Taisiya produced 0.14 t/ha and 0.07 t/ha, respectively. Foliar nitrogen top dressing significantly increased gluten percentage in the varieties Aidariya and Taisiya by 2.6% and 5.2%, respectively, and by 3.4% in the standard Grom. The new varieties Taisiya, Aidariya, and the standard Grom demonstrated responsiveness to nitrogen top dressing during the heading growth stage, producing better

grain according to a range of quality indicators, demonstrating the potential of foliar nitrogen top dressing during the heading growth stage.

**Keywords:** winter common wheat (*Triticum aestivum* L.), breeding, variety, trait, grain yield, gluten.

**Введение.** В южных регионах Российской федерации одной из основных возделываемых культур является озимая мягкая пшеница. В 2025 году в Ставропольском крае было получено рекордное количество зерна озимых, свыше 10 млн. тонн. Средняя урожайность озимой пшеницы составила 44,2 центнера с гектара, доля третьего и четвертого продовольственных классов была более 70 процентов, пятого - 23,7 %. (Сухарев, 2025; Калюжная, 2025).

Увеличение производства продовольственного зерна с высокими технологическими характеристиками основывается на внедрении в производство высокопродуктивных сортов с наследственными ценными признаками. Повысить урожайность высококачественного зерна пшеницы возможно при возделывании сортов отличающихся более эффективным сочетанием хозяйственно-биологических признаков с подбором пластичных генотипов адаптированных к условиям возделывания и отзывчивых на их улучшение (Грабовец, Бирюков, 2021; Гончаров, Косолапов, 2021). Оптимизация азотного питания пшеницы карбамидом в колосение способствует обогащению посевов азотом, который необходим растениям для синтеза белков, ферментов и хлорофилла (Федорова А. В. и др., 2022). Азот обеспечивает повышение урожайности и способствует улучшению качественных характеристик зерна (Оганян и др., 2023). Увеличение белкового состава определяет пищевую ценность зерна, влияя на хлебопекарные и технологические свойства муки (Митрофанова, Хакимова, 2016).

Азот стимулирует рост растений и увеличивает массу каждого отдельного зерна, что положительно сказывается на общей продуктивности культуры (Соколенко Н. И. и др., 2021).

Подкормка азотом помогает растениям лучше переносить стрессовые условия окружающей среды, такие как засуха, заморозки и болезни (Максимов и др., 2022; Годунова, 2023). Это особенно актуально для зоны неустойчивого увлажнения Ставрополья с нестабильными погодными условиями, что позволяет синхронизировать процессы роста и развития растений, обеспечивая равномерное созревание зерна (Магомедов Н. Р., и др., 2025).

Чаще всего с этой целью применяют карбамид, с довольно высоким содержанием азота – 46,2 %, по концентрации которого его превосходит только

безводный аммиак, содержащий 82,0 %  $N_2$ . Раствор, содержащий до 8 % карбамида в физическом весе, усваивается через листья за 1–2 суток, активируя синтез белков, ферментов и хлорофилла (Сапунков, Подгорный, 2025)

В связи с этим, создание новых высокопродуктивных сортов озимой мягкой пшеницы с высоким потенциалом адаптации и актуализация технологических приемов направленных на повышение качества продукции актуально.

Цель исследований – дать характеристику хозяйственно ценных признаков новых сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», проходящих государственное сортоиспытание и показать их реакцию на азотную подкормку в фазу колосения.

#### Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в зоне с неустойчивым увлажнением Ставропольского края (3-я зона) на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» по чистому пару в 2023–2025 гг. Зона проведения исследований характеризуется умеренно-континентальным климатом, жарким и сухим летом. Годовая сумма эффективных температур по многолетним данным (1991–2020 гг.) составляет 3371°C, среднегодовое количество осадков 553,8 мм, ГТК – 0,98.

Почвы опытного участка представлены черноземом обыкновенным среднесуглинистым среднемощным слабогумусированным с содержанием в пахотном слое до 4,5 % гумуса, 0,22 % общего азота, 19–22 мг/кг подвижного фосфора 200–220 мг/кг калия. Почвенно-климатические условия зоны исследований, да и в целом края не всегда благоприятны для выращивания озимой пшеницы. Негативно сказываются на развитии пшеницы непредсказуемые природные явления: раннеосенние или позднеосенние заморозки, продолжительное отсутствие осадков, приводящее к засухам, зачастую с пыльными бурями и суховеями, или их обильное неравномерное выпадение в течение вегетационного периода.

Анализ погоды в годы исследований свидетельствует, что с 2023 по 2025 сельскохозяйственные годы складывались вариативные условия вегетации для озимой пшеницы, как по температурному режиму, так и по влагообеспеченности и отличались от среднемноголетних показателей (Рис. 1, 2).

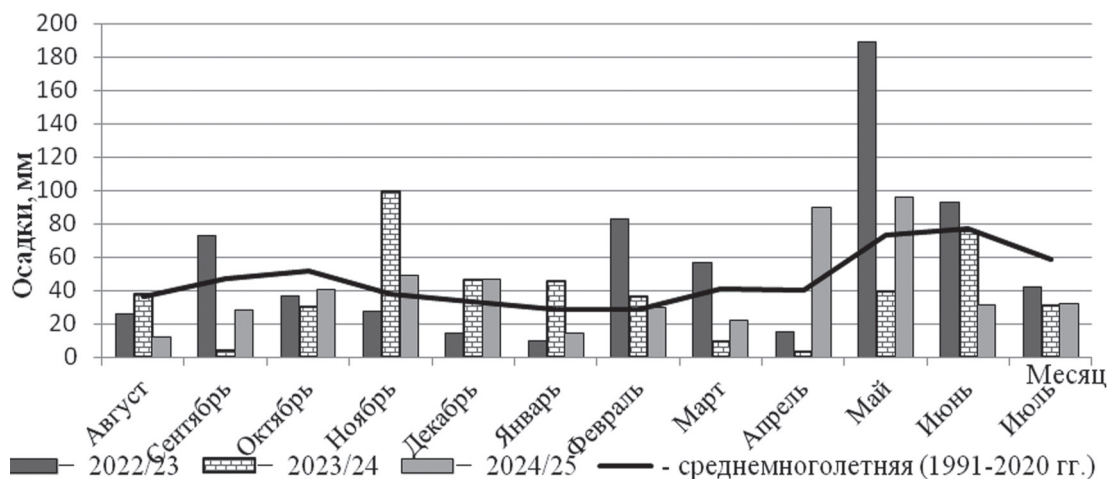


Рис. 1. Влагообеспеченность в годы исследований  
Fig. 1. Moisture availability during the years of study

В 2022/23 сельскохозяйственном году отмечали неравномерное выпадение осадков. Существенным недобор осадков относительно среднемноголетних показателей был в октябре (-18,5 мм) и в апреле (-17,3 мм), что отрицательно сказывалось на развитии

растений осенью и весной. Однако в мае, июне и июле их количество превысило среднемноголетние значения, наибольшее отклонение от нормы установлено в мае (183,7 % от нормы).

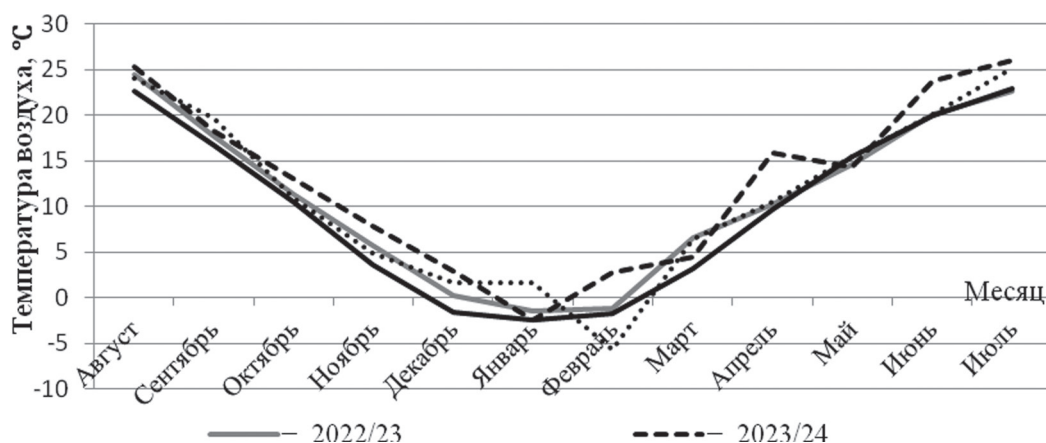


Рис. 2. Температурный режим в годы исследований  
Fig. 2. Temperature regime during the years of study

В 2023/24 сельскохозяйственном году сложились неблагоприятные для посевов условия влагообеспеченности. Выпало за год на 97,7 мм осадков меньше климатической нормы. В период закладки опытов и получения всходов озимых, недобор осадков в сентябре и октябре составил соответственно 42,7 и 21,9 мм. Весной, на фоне повышенных температур, выпало осадков меньше среднемноголетних показателей, в марте, апреле и мае соответственно на 31,6; 36,7 и 34,3 мм, что отрицательно сказалось на развитии озимой пшеницы.

Погодные условия 2024/2025 с/х года отличались от среднемноголетних значений повышенной среднемесячной температурой, за исключением зимних месяцев, и в среднем за год она была выше на 1,49°C от многолетних показателей (1991–2020 гг.). Наибольшее превышение температуры воздуха было в марте (+4,03°C). На развитии растений озимой пшеницы негативно отразились заморозки в апреле и мае. По влагообеспеченности в 2024/2025 сельскохозяйственном году осадков выпало на 62,1 мм меньше климатической нормы, причем засушливыми были 7 месяцев и переувлажненными 4 месяца. Осадков больше нормы было в апреле и мае соответственно по месяцам на 55,4 % и 32,4 %. Повышенная влагообеспеченность в апреле и мае определила формирование высоких урожаев озимых культур.

Объектами исследований послужили новые сорта озимой мягкой пшеницы Таисия и Айдария селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», переданные в 2025 году на государственное сортоиспытание.

Сорта относятся к ботанической разновидности лютеценс. По продолжительности вегетационного периода они являются среднеранними сортами, стандарт Гром среднеспелым. По высоте соломины – это низкорослые формы (80–85 см), с продуктивной кустистостью в среднем на уровне стандарта (1,4 шт.), устойчивые к полеганию. Сорта характеризуются высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью, имеют неломкий неосыпающийся колос. Устойчивость к прорастанию зерна на корню высокая, показатели числа падения у сортов: 280 – 340 секунд, у стандарта 350 секунд.

Проявляют большую устойчивость к засухе и грибным болезням, чем стандарт. Сорта превосходят стандарт по устойчивости к мучнистой росе, бурой и желтой ржавчине, септориозу и пиренофорозу. Не замечены на сортах и вирусные болезни: вирус желтой карликовости ячменя и полосатой мозаики пшеницы.

Для передачи сортов на государственное сортоиспытание оценивали их хозяйственно-биологические характеристики в среднем за 2022–2024 годы, оценку влияния некорневой подкормки карбамидом в колосение проводили в 2022–2025 годах.

Полевой опыт был заложен по чистому пару сеялкой «Клен» на делянках площадью 10 м<sup>2</sup> в четырех повторениях, расположение делянок систематическое (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 2019). Норма высева – 4 млн. всхожих семян на гектар. В качестве стандарта высевали сорт Гром селекции ФГБНУ Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко. Внесение раствора карбамида на посев проводили ручным ранцевым опрыскивателем в фазу колосения. Уборку урожая производили комбайном Wintersteiger.

Качество зерна оценивали по ГОСТ 9353-216 Пшеница. Технические условия. Обработка урожайных данных проводилась методом дисперсионного анализа (Доспехов Б. А., 2023).

**Результаты и их обсуждение.** Используемые в производстве сорта озимой мягкой пшеницы ставропольской селекции, отличаются высоким потенциалом продуктивности и качеством зерна на уровне продовольственной пшеницы. Однако неконтролируемые погодные условия, в том числе засухи отрицательно сказываются на урожайности зерна и его качестве.

Внедрение в производство новых более адаптивных сортов поможет снизить риски недобора качественной продукции. Среди новых сортов пшеницы выделяются комплексом хозяйственно ценных признаков такие сорта селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» как Таисия и Айдария, переданные в 2025 году на государственное сортоиспытание.

Комплекс хозяйственно-биологических признаков у новых сортов обеспечивает формирование высоких урожаев зерна. В среднем за три года урожайность новых сортов Таисия и Айдария составила соответственно 8,04 и 8,11 т/га, стандарта – 6,98 т/га, превышение над стандартом – 1,06 и 1,13 т/га (табл. 1).

Реализации генетического потенциала сортов могут способствовать и некоторые технологические приемы,

снижающие воздействие лимитирующих факторов. Одним из таких элементов технологии возделывания, влияющих на продуктивность озимой пшеницы и ее качество, является некорневая азотная подкормка в фазу колошения.

Исследования, проведенные на новых сортах показали, что отзывчивость на применение карбамида отличалась по сортам и годам.

**Таблица 1 . Влияние азотной подкормки в колошение на урожайность новых сортов озимой мягкой пшеницы, 2023–2025 гг.**

**Table 1. Effect of nitrogen top dressing during the heading growth stage on productivity of new winter common wheat varieties, 2023–2025**

Сорт	Вариант	Урожайность зерна, т/га				Коэффициент вариации (CV), %
		2023 г	2024 г	2025 г	среднее	
Таисия	контроль	9,23	6,30	8,59	8,04	19
	подкормка карбамидом	9,38	6,35	8,60	8,11	19
Айдария	контроль	9,34	6,40	8,58	8,11	19
	подкормка карбамидом	9,65	6,45	8,65	8,25	19
Гром (st)	контроль	7,52	5,25	8,16	6,98	22
	подкормка карбамидом	7,91	5,42	8,41	7,21	22
НСР <sub>05</sub>		0,29	0,32	0,28	-	-

В первый год, с достаточным увлажнением отзывчивость была выше у всех сортов, при этом достоверная прибавка урожайности отмечена у стандарта Гром – 0,39 т/га или 5,2 % и Айдарии – 0,31 т/га или 3,3 %. Прибавка урожая нового сорта Таисия от применения карбамида осталась в пределах ошибки опыта.

В другие годы также получена прибавка урожая зерна от применения азотной подкормки, однако ее величина была не достоверной. В среднем за три года наибольшая прибавка получена у стандарта Гром – 0,23 т/га, у новых сортов Айдария – 0,14 т/га и Таисия – 0,07 т/га, т. е. наблюдается тенденция в сторону увеличения.

Улучшение условий питания не повлияли на варьирование величины урожая зерна новых сортов

и стандарта. Новые сорта проявили себя как более пластичные, CV урожайности средний (19 %), тогда как у стандарта – значительный (22 %).

Вклад в урожай новых сортов наряду с другими признаками вносит лучшая озерненность колоса и большая масса 1000 зерен (табл. 2). Количество зерен в колосе у сортов Таисия и Айдария составило соответственно 32,2 и 33,7 штук, у стандарта Гром – 22, 6 штук. Сорта характеризуются средними размерами зерна, масса 1000 зерен составила соответственно 43,81 г и 39,40 г у стандарта 41,54 г.

Азотная подкормка в колошение оказала существенное влияние на показатели структуры урожая: количество зерен в колосе снизилось, но при этом существенно увеличилась масса 1000 зерен у всех сортов.

**Таблица 2. Структура урожая новых сортов озимой пшеницы, среднее 2023-2025 гг.**

**Table 2. Yield structure of new winter common wheat varieties, mean in 2023–2025**

Сорт	Вариант	Количество продуктивных стеблей, шт/м <sup>2</sup>	Масса зерна с 1 колоса, г	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Таисия	контроль	610	1,41	32,2	43,81
	подкормка карбамидом	614	1,32	28,0	47,61
Айдария	контроль	619	1,33	33,7	39,40
	подкормка карбамидом	620	1,33	32,0	41,98
Гром (st)	контроль	749	0,94	22,6	41,54
	подкормка карбамидом	751	0,96	22,0	43,64
НСР <sub>05</sub>		14,33	0,04	0,91	0,60

Новые сорта отличаются высокой натурой зерна 782 г/л и 803 г/л соответственно, у стандарта Гром 809 г/л (табл. 3).

**Таблица 3. Влияние азотной подкормки в колошение на качество зерна новых сортов озимой мягкой пшеницы, среднее за 2023–2025 гг.**

**Table 3. Effect of nitrogen top dressing during the heading growth stage on grain quality of new winter common varieties, mean in 2023–2025**

Сорт	Вариант	Натура, г	Стекло-видность общая, %	Сырой клейковины, %	ИДК	Группа	Белок, %	ЧП, с
Таисия	контроль	782	55,3	30,67	86,6	II	17,0	338
	подкормка карбамидом	786	60,7	35,87	76,2	I	20,0	342
Айдария	контроль	803	52,0	28,13	84,0	II	15,7	288
	подкормка карбамидом	807	61,7	30,77	77,2	I	17,3	308
Гром (st)	контроль	809	48,8	26,43	89,3	II	14,8	355
	подкормка карбамидом	812	54,2	29,83	91,6	II	16,7	359
НСР <sub>05</sub>		15,03	1,80	1,22	1,87	-	1,20	8,75

Качество зерна высокое, содержание сырой клейковины в зерне у сортов Таисия и Айдария составило 30,7 % и 28,1 %, белка – 17,0 % и 15,7 %. У стандарта в среднем соответственно по показателям 26,4 % и 14,8 %. Некорневая азотная подкормка мочевиной посевов новых сортов Таисия и Айдария в колошение по-разному сказалась на показателях качества зерна. В частности она способствовала незначительному увеличению натуре зерна в среднем на 4 г/л у Таисии и Айдарии и на 3 г/л у стандарта Гром.

В наших исследованиях величина натуре отрицательно коррелировала (уровень значимости 05) с массой 1000 зерен  $r = -0,58$ , (стандартная ошибка коэффициента корреляции  $s_r = 0,40$ ; при существенной корреляционной связи  $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ ) и массой зерна 1 колоса  $r = -0,71$  ( $s_r = 0,35$ ;  $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ ).

Обогащение азотного питания пшеницы карбамидом в колошение способствовало формированию более стекловидного зерна. У сорта Таисия на 5,4 %; у Айдарии на 9,7 %, стандарта Гром на 5,4 %. Отмечено достоверное увеличение в зерне и массовой доли клейковинно-белкового комплекса.

У сортов Таисия и Айдария на варианте с применением карбамида сформировано клейковины

соответственно на 5,20 и 2,64 % больше, у стандарта на 3,4 %.

На показатель деформации клейковины азотная подкормка достоверно повлияла, получена клейковина I и II группы качества. Улучшение условий питания повысило количество белка в зерне до 2 % на всех вариантах опыта. Количество сырой клейковины тесно положительно коррелирует с массой 1000 зерен (уровень значимости 05)  $r = 0,87$  ( $s_r = 0,24$ ;  $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ ). Величина показателя деформации клейковины тесно отрицательно коррелирует (уровень значимости 05) с массой зерна одного колоса  $r = -0,68$  ( $s_r = 0,29$ ;  $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ ) и количеством зерен в колосе  $r = -0,66$  ( $s_r = 0,25$ ;  $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ ).

По комплексу показателей качества зерна в зоне неустойчивого увлажнения Ставрополя с нестабильными погодными условиями сорт Таисия показал наибольшую отзывчивость на азотную подкормку в колошение.

На всех вариантах опыта сформировано зерно с низкой ферментативной активностью не склонное к прорастанию на корню (ЧП > 280 с).

Экономическая оценка возделывания сортов озимой мягкой пшеницы на контроле и при обработке карбамидом существенно различалась (табл. 4).

**Таблица 4. Экономическая эффективность возделывания сортов озимой пшеницы при обработке карбамидом, среднее за 2023–2025 гг.**

**Table 4. Economic cultivation efficiency of winter wheat varieties treated with urea, mean in 2023–2025**

Вариант	Урожайность, среднее по сортам, т/га	Себестоимость, руб./т	Прибыль руб./т	Рентабельность, %
Контроль	7,71	4912,78	101,43	269,11
Подкормка карбамидом	7,86	4980,60	120,87	309,90

Использование агротехнического приема по некорневой подкормке карбамидом увеличило затраты на производство продукции (зерна) на 1292 руб./га. Улучшение условий налива зерна позволило сформировать у сорта Таисия зерно первого класса и у сорта Айдария – второго класса качества, что увеличило стоимость продукции с 13800 руб./т до 18000 руб./т и 16000 руб./т соответственно. Достоверное улучшение качества зерна при обработке посевов карбамидом привело к росту стоимости продукции и повышению прибыли, в среднем по агроприему, на 19,4 руб./т и рентабельности на 40,8 %.

Таким образом, некорневая азотная подкормка в фазу колошения новых высокопродуктивных сортов озимой мягкой пшеницы является эффективным технологическим приемом, направленным на повышение качества зерна.

**Выводы.** Новые сорта озимой мягкой пшеницы Таисия и Айдария обладают высоким потенциалом урожайности. Средняя урожайность, полученная в исследованиях, составила по сортам 8,04 и 8,10 т/га соответственно, у стандарта Гром 6,98 т/га.

Внесение минеральных подкормок карбамидом в колошение способствовало достоверному увеличению количества клейковины у сортов Айдария и Таисия на 2,6 и 5,2 % соответственно и у стандарта Гром на 3,4 %, а также незначительному увеличению урожая зерна сортов озимой мягкой пшеницы. Азотная подкормка положительно повлияла на увеличение массы 1000 зерен на всех сортах от 2,10 г до 4,58 г, при одновременном снижении количества зерен в колосе.

Новые сорта Таисия, Айдария и стандарт Гром проявили отзывчивость на азотную подкормку в колошение, сформировав лучшее зерно по комплексу показателей качества, что свидетельствует о перспективности применения некорневой подкормки азотом в колошение на озимой пшенице в условиях Северо-Кавказского региона.

**Финансирование.** Работа выполнена при проведении исследований, финансируемых из средств федерального бюджета в рамках поисковой темы по селекции.

#### Библиографический список

1. Сухарев М. На Ставрополье собрали самый большой за всю историю края урожай зерна. Российская газета - Экономика Северного Кавказа: №171(9710): электрон. версия. 2025. URL: <https://rg.ru/2025/08/05/reg-skfo/na-stavropole-sobrali-samyj-bolshoj-za-vsiu-istoriiu-kraia-urozhaj-zerna.html>. (дата обращения: 01.10.2025 )
2. Калюжная Т. На Ставрополье начался мониторинг мягкой и твердой пшеницы. Газета Ставропольская правда: электрон. версия. От 25.07.2025 URL: [https://stavpravda.ru/20250718/na\\_stavropole\\_nachalsya\\_monitoring\\_myagkoj\\_i\\_tverdoj\\_pshenitsy\\_234603](https://stavpravda.ru/20250718/na_stavropole_nachalsya_monitoring_myagkoj_i_tverdoj_pshenitsy_234603). (дата обращения: 02.10.2025)
3. Грабовец А. И., Бирюков К. Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021. № 5. С. 40–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-0-1-48
4. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039
5. Федорова А. В., Бахвалова С. А., Демьеньева-Рой Г. Б. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Плодородие. 2022. № 5. С. 30 – 32. DOI:10.25680/S19948603.2022.128.08
6. Оганян Л. Р., Ерошенко Ф. В., Ковтун В. И., Сторчак И. Г. Агротехника возделывания озимой пшеницы сортов селекции Северо-Кавказского ФНАЦ // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 80–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86
7. Митрофанова О. П., Хакимова А. Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20, № 4. С. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16177
8. Соколенко Н. И., Галушко Н. А., Комаров Н. М. Источники высокого качества зерна в селекции озимой мягкой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 164–171. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-164-171. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-225-10-21-32
9. Максимов Н. И., Кишев А. Ю., Мнатсаканян А. А. Оптимизация питательного режима озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2022. № 10 (225). С. 21–32
10. Годунова Е. И. Хрипунов, Л. Р. Оганян, Е. Н. Криулина Современное состояние зерновой отрасли АПК Ставропольского края и пути его оптимизаций // АПК: Экономика, управление. 2023. № 5. (Агропромышленный рынок). С. 83–91. DOI 10.33305/235-83
11. Магомедов Н. Р., Магомедов Н. Н., Абдуллаев А. А., Абдуллаев Ж. Н. Влияние минеральных удобрений на продуктивность новых сортов озимой пшеницы в условиях орошения Дагестана // Плодородие. 2025. № 2. С. 19–23. DOI: 10.25680/S19948603.2025.143.04
12. Сапунков В. Л., Подгорный С. В. Влияние удобрений на урожайность и качество сортов озимой пшеницы в засушливой зоне каштановых почв Волгоградской области // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 3. С. 77–83. DOI:10.31367/2079-8725-2025-98-3-77-83
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск I. Общая часть. М., 2019. 329 с.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга, 2023. 349 с.

#### References

1. Suharev M. Na Stavropol'e sobrali samyj bol'shoj za vsyu istoriyu kraja urozhaj zerna [The largest grain harvest has been harvested in the history of the Stavropol Territory]. Rossijskaya gazeta - Ekonomika Severnogo Kavkaza: №171(9710): elektron. versiya. 2025. URL: <https://rg.ru/2025/08/05/reg-skfo/na-stavropole-sobrali-samyj-bolshoj-za-vsiu-istoriiu-kraia-urozhaj-zerna.html>. (data obrashcheniya: 01.10.2025)

2. Kalyuzhnaya T. Na Stavropol'e nachalsya monitoring myagkoj i tverdoj pshenicy [Monitoring of common and durum wheat has begun in the Stavropol Territory ]. Gazeta Stavropol'skaya pravda: elektron. versiya. Ot 25.07.2025 URL: [https://stpravda.ru/20250718/na\\_stavropole\\_nachalsya\\_monitoring\\_myagkoj\\_i\\_tverdoj\\_pshenitsy\\_234603](https://stpravda.ru/20250718/na_stavropole_nachalsya_monitoring_myagkoj_i_tverdoj_pshenitsy_234603). (data obrashcheniya: 02.10.2025)
3. Grabovec A. I., Biryukov K. N. Rol' sorta v stabilizacii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimaticheskikh faktorov [The role of varieties in grain production stabilization under a wide range of agroclimatic factors] // Zemledelie. 2021. № 5. S. 40–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-0-1-48
4. Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Selekcija rastenij – osnova prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii [Plant breeding is the foundation of Russia's food security] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2021. T. 25. № 4. S. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039
5. Fedorova A. V., Bahvalova S. A., Demen'teva-Roj G. B. Vliyanie azotnyh udobrenij na urozhajnost' i kachestvo zerna ozimoj pshenicy [The impact of nitrogen fertilizers on productivity and grain quality of winter wheat] // Plodorodie. 2022. № 5. S. 30 – 32. DOI:10.25680/S19948603.2022.128.08
6. Oganyan L. R., Eroshenko F. V., Kovtun V. I., Storchak I. G. Agrotehnika vzdelyvaniya ozimoj pshenicy sortov selekcii Severo-Kavkazskogo FNAC [Agrotechnologies for cultivating winter wheat varieties developed by the North Caucasus FARC] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2023. T. 15, № 3. S. 80–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86
7. Mitrofanova O. P., Hakimova A. G. Novye geneticheskie resursy v selekcii pshenicy na uvelichenie sodержaniya belka v zerne [New genetic resources in wheat breeding for increasing protein percentage in grain]// Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2016. T. 20. № 4. S. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16177
8. Sokolenko N. I., Galushko N. A., Komarov N. M. Istochniki vysokogo kachestva zerna v selekcii ozimoj myagkoj pshenicy [Sources of high-quality grain in winter common wheat breeding ] // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2021. № 3(27). S. 164–171. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-164-171. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-225-10-21-32
9. Maksimov N. I., Kisev A. YU., Mnatsakanyan A. A. Optimizaciya pitatel'nogo rezhima ozimoj pshenicy [Optimization of winter wheat nutrition] // Agrarnyj vestnik Urala. 2022. № 10 (225). S. 21–32
10. Godunova E. I. Hripunov, L. R. Oganyan, E. N. Kriulina Sovremennoe sostoyanie zernovoj otrasli APK Stavropol'skogo kraja i puti ego optimizacij [The current state of grain industry in the Stavropol AIC and the ways to optimize it]// APK: Ekonomika, upravlenie. 2023. № 5. (Agropromyshlennyj rynek). S. 83–91. DOI: 10.33305/235-83
11. Magomedov N. R., Magomedov N. N., Abdullaev A. A., Abdullaev ZH. N. Vliyanie mineral'nyh udobrenij na produktivnost' novyh sortov ozimoj pshenicy v usloviyah orosheniya Dagestana [The effect of mineral fertilizers on productivity of new winter wheat varieties under irrigation in Dagestan]// Plodorodie. 2025. № 2. S. 19–23. DOI: 10.25680/S19948603.2025.143.04
12. Sapunkov V. L. Podgornyj S. V. Vliyanie udobrenij na urozhajnost' i kachestvo sortov ozimoj pshenicy v zasushlivoj zone kashtanovyh pochv Volgogradskoj oblasti [The effect of fertilizers on productivity and quality of winter wheat varieties in the arid zone of chestnut soils in the Volgograd region]// Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2025. T. 17, № 3. S. 77–83. DOI:10.31367/2079-8725-2025-98-3-77-83
13. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Methodology for the State Variety Testing of Agricultural Crops ]. Vypusk I. Obshchaya chast'. M., 2019. 329 s.
14. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij [Methodology of a field trial: with fundamentals of statistical analysis of the study results]. M.: Kniga, 2023. 349 s.

Поступила: 01.12.25; доработана после рецензирования: 13.03.26; принята к публикации: 16.03.26.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Вклад авторов равноценный.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

## ПАМЯТИ УЧЕНОГО

### АКАДЕМИК САНДУХАДЗЕ БАГРАТ ИСМЕНОВИЧ



20 апреля 2026 года выдающемуся учёному-селекционеру, академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Баграту Исменовичу Сандухадзе исполнилось бы 95 лет. В истории отечественной селекционной науки он занимает важное место. Академик Б.И. Сандухадзе — блестящий российский селекционер по озимой мягкой пшенице, труд которого накормил не один миллион человек. Его авторитет как ученого распространяется далеко за пределы страны.

Главным итогом работы любого селекционера являются созданные им сорта, широко востребованные в производстве. Площади под сортами Б.И. Сандухадзе занимают миллионы гектаров. Его без сомнения можно поставить в один ряд с выдающимися отечественными учеными селекционерами — П.П. Лукьяненко, В.Н. Ремесло, И.Г. Калинин и другими.

Родился Баграт Исменович Сандухадзе в селе Орсантия Зугдидского района Грузинской ССР. После службы в армии окончил с отличием сельскохозяйственный техникум в Грузии. В 1962 году окончил агрономический факультет Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева. В 1962-1963 гг. был директором учебного хозяйства Диди-Джихаишского сельскохозяйственного техникума в Грузии. На протяжении последующих 62 лет трудовой путь и творческий поиск Б.И. Сандухадзе был неразрывно связан с Научно-исследовательским институтом сельского хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны НИИСХ ЦРНЗ (ныне ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка»): в 1963-1966 гг. — младший научный сотрудник в лаборатории селекции озимой ржи; в 1966-1969 гг. — аспирантура в лаборатории селекции яровой пшеницы; в 1969-

1979 гг. — старший научный сотрудник лаборатории селекции озимой пшеницы; в 1979 году — зав. лабораторией отдаленной гибридизации; в 1980-1983 гг. — заместитель директора Института по селекционной работе, заместитель руководителя селекцентра; с 1984 года — заведующий лабораторией селекции озимой пшеницы; с 2016 года — главный научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка».

В 1969 году Б.И. Сандухадзе защитил кандидатскую, а в 1993 — докторскую диссертацию. Член-корреспондент РАСХН с 2001 года, академик РАСХН с 2005 года, академик РАН с 2013 года — Отделение сельскохозяйственных наук.

Баграт Исменович Сандухадзе внес бесценный вклад в обеспечение продовольственной безопасности России. Более 55 лет он вёл целенаправленные исследования по разработке новых и усовершенствованию традиционных методов селекции важнейшей для условий Центрального региона России культуры озимой пшеницы. В озимом зерновом клине этого региона Немчиновские сорта с высокими генетически закрепленными хлебопекарными показателями качества зерна занимают основную долю — благодаря этому Центральный регион РФ стал одним из лидеров производства продовольственной пшеницы; так фундаментальные труды Б.И. Сандухадзе оказали значительное влияние на развитие отечественного агропромышленного комплекса. Разработка и применение оригинального метода прерывающихся беккроссов позволило создать сорта нового экотипа для условий Центрального района — короткостебельные, зимостойкие, устойчивые к полеганию и наиболее вредоносным патогенам, с высоким качеством зерна и потенциалом продуктивности свыше 10 т зерна с гектара.

Сандухадзе Б.И. в соавторстве было создано 25 сортов озимой пшеницы, среди них: Заря, Янтарная 50, Немчиновская 52, Немчиновская 86, Московская низкостебельная, Инна, Памяти Федина, Московская 39, Галина, Ангелина, Немчиновская 24, Московская 56, Немчиновская 57, Московская 40, Немчиновская 17, Московская 82, Немчиновская 85, которые включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ и возделываются на площади около 2 млн. га., ещё 8 новых сортов находятся в Государственном сортоиспытании. Созданные сорта сочетают высокую урожайность и высокие хлебопекарные качества зерна. Ареал наиболее пластичного сорта Московская 39 — это практически вся территория России, а также ряд стран зарубежья.

Является заслуженным деятелем науки РФ. Награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, орденом Александра Невского, медалью «Ветеран труда». Первым среди представителей аграрной науки стал лауреатом Демидовской премии.

Под руководством Б.И. Сандухадзе были подготовлены и защищены 9 кандидатских и 1 докторская диссертация. Можно смело заявить, что в России существует селекционная школа его имени, так как он проявил себя не только как блестящий селекционер, но и как ответственный, активный, творческий и целеустремлённый наставник молодых ученых.

Сандухадзе Б.И. был человеком строгим, но справедливым, непререкаемым авторитетом и примером для подражания. Баграт Исменович прожил яркую, насыщенную жизнь, его всегда отличали оптимизм, глубокая человечность, высокий профессионализм и неутомимое трудолюбие.

*Коллектив лаборатории селекции  
и первичного семеноводства  
озимой пшеницы и администрация ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка»*