

ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

Научно–теоретический журнал
Российского государственного аграрного университета —
МСХА имени К.А. Тимирязева

Сообщаются результаты экспериментальных, теоретических и методических исследований в различных областях сельскохозяйственной науки и практики, выполненных в разных природно–экономических зонах страны

Основан в 1878 году
6 номеров в год

Выпуск

5

сентябрь–октябрь

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2023

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, проф. **В.И. Трухачев**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., профессор **С.Л. Белопухов**; доктор наук, PhD, профессор **Р. Валентини** (Италия);
д.б.н., профессор **И.И. Васенев**; д.э.н., профессор **Р.С. Гайсин**;
д.э.н., профессор **А.В. Голубев**; д.с.-х.н., профессор **С.А. Грикшас**;
д.с.-х.н., профессор **Ж. Данаилов** (Болгария); д.б.н., профессор **Ф.С. Джалилов**;
профессор **Д.А. Джукич** (Сербия); д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Н.Н. Дубенок**;
д.в.н., профессор **Г.П. Дюльгер**; д.б.н., профессор **А.А. Иванов**;
д.б.н., профессор, академик РАН **В.И. Кирюшин**; д.б.н., профессор **В.Н. Корзун** (Германия);
д.в.н., профессор **Р.Г. Кузьмич** (Беларусь); д.б.н., профессор **Я.В. Кузяков** (Германия);
д.с.-х.н., профессор **Н.Н. Лазарев**; д.с.-х.н., профессор **В.И. Леунов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **В.М. Лукомец**; д.б.н., профессор **А.Г. Маннапов**;
д.б.н., профессор, академик НАНУ и НААНУ **Д.А. Мельничук** (Украина);
к.э.н., PhD MSU, **Р.А. Мигунов**; к.с.-х.н. **Г.Ф. Монахос**; д.с.-х.н., профессор **С.Г. Монахос**;
д.б.н., профессор **В.Д. Наумов**; д.т.н., профессор, академик РАН **В.А. Панфилов**;
д.б.н., профессор **С.Я. Попов**; д.х.н., профессор **Н.М. Пржевальский**;
д.с.-х.н., профессор **А.К. Раджабов**; д.с.-х.н., профессор **Г.В. Родионов**;
д.б.н., профессор **В.С. Рубец**; д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН **Н.М. Светлов**;
д.б.н., профессор **М.И. Селионова**; к.б.н., доцент **О.В. Селицкая**;
д.б.н., профессор **А.А. Соловьев**; д.б.н., профессор **И.Г. Тараканов**;
д.б.н., профессор **С.П. Торшин**; д.в.н., профессор **С.В. Федотов**;
д.б.н., профессор **Л.И. Хрусталева**; д.с.-х.н., профессор **В.А. Черников**;
д.э.н., профессор **С.А. Шелковников**; д.т.н., профессор **И.Н. Шило** (Беларусь);
д.с.-х.н., профессор **А.В. Шитикова**; д.с.-х.н., профессор **А.С. Шуварики**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Ю.А. Юлдашбаев**

Редакция

Научный редактор – **Р.А. Мигунов**
Редактор – **В.И. Марковская**
Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**
Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**

Журнал входит в перечень
ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК

Журнал включен в базы данных BIOSIS (WoS), RSCI (WoS),
CA(pt), CrossRef, AGRIS, РИНЦ, ядро РИНЦ

Правила оформления научных статей для опубликования в журнале «Известия ТСХА»
размещены в Интернете (https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf)

Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается

ISSN 0021-342X

IZVESTIYA

of

Timiryazev Agricultural Academy

Academic Journal
of Russian Timiryazev State Agrarian University

The journal publishes the results of experimental,
theoretical and procedural research in different areas
of agricultural science and practice carried out
in various natural and economic zones of the country

Founded in 1878
Six issues per year

Issue

5

September–October

Moscow
Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University
2023

EDITOR-IN-CHIEF: Prof. **Vladimir I. Trukhachev**,
DSc (Ag), DSc (Econ), Full Member of RAS

EDITORIAL BOARD

Prof. **Sergey L. Belopukhov**, DSc (Ag); Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy);
Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio); Prof. **Rafkat S. Gaysin**, DSc (Econ);
Prof. **Aleksei V. Golubev**, DSc (Econ); Prof. **Styapas A. Grikschas**, DSc (Ag);
Prof. **Zhivko Danailov**, DSc (Ag) (Bulgaria); Prof. **Fevzi S. Dzhailov**, DSc (Bio);
Prof. **Dragutin A. Djukic** (Serbia); Prof. **Nikolai N. Dubenok**, DSc (Ag), Full Member of RAS;
Prof. **Georgy P. Dulger**, DSc (Vet); Prof. **Aleksei A. Ivanov**, DSc (Bio);
Prof. **Valerii I. Kiryushin**, DSc (Bio), Full Member of RAS; Prof. **Victor N. Korzun**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Rostislav G. Kuzmich**, DSc (Vet) (Belarus); Prof. **Yakov V. Kuzyakov**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Nikolay N. Lazarev**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir I. Leunov**, DSc (Ag);
Prof. **Vyacheslav M. Lukomets**, DSc (Ag), Full Member of RAS; Prof. **Alfir G. Mannapov**, DSc (Bio);
Prof. **Dmitrii A. Melnichuk**, DSc (Bio), Member of NASU and NAASU (Ukraine);
Rishat A. Migunov, CSc (Econ), PhD MSU; **Grigory F. Monakhos**, CSc (Ag);
Prof. **Sokrat G. Monakhos**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir D. Naumov**, DSc (Bio);
Prof. **Victor A. Panfilov**, DSc (Eng), Full Member of of RAS; Prof. **Sergei Ya. Popov**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Przhevalskiy**, DSc (Chem); Prof. **Agamagomed K. Radzhabov**, DSc (Ag);
Prof. **Gennady V. Rodionov**, DSc (Ag); Prof. **Valentina S. Rubets**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Svetlov**, DSc (Econ), Corresponding Member of RAS;
Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya**, CSc (Bio);
Prof. **Alexander A. Soloviev**, DSc (Bio); Prof. **Ivan G. Tarakanov**, DSc (Bio);
Prof. **Sergei P. Torshin**, DSc (Bio); Prof. **Sergei V. Fedotov**, DSc (Vet);
Prof. **Ludmila I. Khrustaleva**, DSc (Bio); Prof. **Vladimir A. Chernikov**, DSc (Ag);
Prof. **Sergey A. Shelkovnikov**, DSc (Econ); Prof. **Ivan N. Shilo**, DSc (Eng) (Belarus);
Prof. **Aleksandra V. Shitikova**, DSc (Ag); Prof. **Anatolii S. Shuvarikov**, DSc (Ag);
Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbayev**, DSc (Ag), Full Member of RAS

EDITORIAL STAFF

Scientific editor – **Rishat A. Migunov**

Editor – **Vera I. Markovskaya**

Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**

Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**

The journal is listed in the VAK (Higher Attestation Commission) register
of the top peer reviewed journals and editions

The journal is also included in BIOSIS (WoS), RSCI (WoS), CA(pt), CrossRef, AGRIS,
Russian Index of Science Citation, Core Collection of Russian Index of Science Citation

Article submission guidelines of the journal “Izvestiya of TAA” are available
at https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf

Articles submitted by postgraduates are exempt from the processing charge

© Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University, 2023

© Publishing House of Russian Timiryazev Agrarian University, 2023

ДИНАМИКА УГЛЕРОДНОГО СТАТУСА ПОЧВЫ
НА РАННЕЙ СТАДИИ РОСТА РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ
ПОД ВЛИЯНИЕМ СРЕДСТВ БИОАКТИВАЦИИ ПОЧВЫА.Х. ЗАНИЛОВ^{1,2}, М.Р. АЗНАЕВА², Д.Г. ДУДАРОВА², А.М. ЛЕШКЕНОВ¹

(¹ Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»;

² ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»)

В условиях модельного эксперимента продолжительностью 24 сут. на почвенных образцах чернозема обыкновенного ($C_{org} = 3,6\%$, $pH = 7,4$) была произведена оценка влияния биопрепаратов на биологическую активность почвы и на динамику содержания двух форм почвенного органического вещества: $S_{эв}$ и C_{org} . Было установлено, что используемые в процессе эксперимента биопрепараты по результатам их влияния на интенсивность субстрат-индуцированного дыхания могут быть отнесены к средствам биологической активации почвы. Биологическая активность почвы от предпосевного внесения биопрепаратов в почву возрастает в ряду Ризоплан-Спорекс-Бисолби-Трихозан-Бактофит, меняясь в пределах 57–156,7 мкл $CO_2/ч/г$ почвы, при показателе в эталонном варианте 28,6 мкл $CO_2/ч/г$ почвы. Средства биоактивации демонстрируют ярко выраженную способность деструкции почвенного органического вещества, что в свою очередь выражается в снижении содержания валового углерода. Фракция органического углерода, экстрагируемого горячей водой, отрицательно коррелирует с биомассой растений ($r = -0,845$), что может являться свидетельством участия данной фракции в непосредственном формировании биомассы на ранней стадии развития растений ячменя. В то же время углерод микробной биомассы на исследуемом отрезке времени отличается слабой корреляционной связью с биомассой растений ($r = 0,298$).

Ключевые слова. Биоактивация почвы, биопрепараты, углеродный статус почвы, биомасса растений.

Введение

Глобальная роль почвенного покрова сводится к поддержанию относительного равновесия в биосфере, которое препятствует критическим непрогнозируемым изменениям климата.

При оптимальных условиях функционирования почва способна предотвращать избыточное накопление парниковых газов в атмосфере (в частности, CO_2) и обеспечивать его отрицательный баланс, то есть почва одновременно является и эмиттером, и поглотителем двуокиси углерода [1–3]. Общепризнанной причиной смещения баланса органического вещества почвы в сторону его активного распада признается вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот. С момента масштабной интенсификации сельскохозяйственного производства потери органического углерода почвы составили более 35% [4].

Сегодня как никогда климатический фактор выступает в качестве ведущего катализатора масштабных технологических преобразований. Модернизация затронула в первую очередь углеродоемкие секторы экономики. При этом ущерб от выбросов парниковых газов предлагается компенсировать климатическими проектами¹. Наиболее распространенными среди них являются лесоклиматические и проекты на основе технологий геологического захоронения [5].

Практика утилизации парниковых газов в сельском хозяйстве России не является еще распространенной, тем не менее все чаще звучат предложения по вовлечению и сельскохозяйственных земель в климатические проекты. В частности, интенсивный сценарий реализации Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года предусматривает использование поглощающей способности почв в качестве поглотителей углекислого газа.

На конференции ООН по изменению климата (Глазго, 2021) была представлена Декларация о продуктах питания и климата, в которой также было предложено использовать почву в качестве резервуара CO₂. В то же время механизм преобразования углекислого газа в углерод почвы представляет собой сложный процесс. Для управления им требуются достоверные параметры, которые позволят установить интенсивность деструкции и синтеза органического вещества почвы, но по причине высокой их динамики вопрос баланса углерода в агроэкосистеме остается открытым [6].

В преобразовании углерода в биосфере и его накоплении в почве важную роль играют почвенные микроорганизмы [7]. В течение сезона отмирающие клетки бактерий, грибов, актиномицетов и дрожжей подвергаются трансформации и вовлечению в процесс гумификации [8]. Микробное сообщество активно участвует также в регулировании газового состава атмосферы [9, 10].

Свойство почвенных микроорганизмов воспроизводить плодородие используется при создании агротехнологий, предусматривающих повышение биологической активности почвы [11]. Для этого используются биологические препараты на основе почвенных грибов и бактерий, которые позволяют создать высокую концентрацию полезных форм микроорганизмов в нужном месте и в нужное время, за счет чего внесенные формы могут занимать экологические ниши, предоставляемые им растениями [12, 13].

Для учета экологических функций почвы в общем, и определения интенсивности биотического закрепления углерода – в частности, требуется всестороннее их изучение. Особого внимания заслуживают функции, связанные с процессами депонирования, сорбции, десорбции и трансформации веществ. Благодаря такому расширенному подходу можно не только оценить их значение в рациональном использовании ресурсов и охране окружающей среды [14], но и разработать прикладные решения по адресному управлению соответствующими функциями.

Функционирование микробного сообщества почвы изучается чаще всего с использованием ряда интегральных параметров ее биологической активности, так как некоторым происходящим изменениям в почве, вызванным хозяйственной деятельностью человека, в большей степени подвержена почвенная микробиота как наиболее чувствительная часть биоценоза [15, 16]. Такие параметры включают в себя показатели дыхания почвы, целлюлозоразлагающей активности (ЦА), углерода микробной биомассы и др. Доля лабильного органического вещества почвы также может отражать направленность функционирования почвенной экосистемы.

¹ Климатический проект – комплекс мероприятий, обеспечивающих сокращение (предотвращение) выбросов парниковых газов или увеличение поглощения парниковых газов // Об ограничении выбросов парниковых газов: Федеральный закон от 2 июля 2021 г. № 296-ФЗ.

Цель исследований: определение влияния средств биоактивации почвы в виде коммерческих форм биопрепаратов на изменение ее углеродного статуса в динамике на ранних стадиях роста растений ячменя и на их биомассу.

Материал и методы исследований

Почвенные образцы для проведения модельного опыта были отобраны на участке длительных полевых исследований, входящих в Геосеть многолетних опытов № 82, принадлежащих Институту сельского хозяйства КБНЦ РАН (с.п. Опытное, КБР). Почва представлена черноземом обыкновенным. Содержание углерода по Тюрину составляло 3,6%, рН = 7,4. Эксперимент заложен в лаборатории центра декарбонизации АПК и региональной экономики КБГУ им. Х.М. Бербекова в сосудах объемом по 1 л, повторность трехкратная. Из средств повышения плодородия почв использован органоминеральный комплекс «АКМ», представляющий собой однородную измельченную смесь природного минерала серпентинита и бурого угля в соотношении 5:1 [17]. Норма внесения – из расчета 300 кг/га.

В качестве средств биоактивации почвы использованы коммерческие биопрепараты на основе живых клеток микроорганизмов и их спор (табл. 1). Способ внесения биопрепаратов – предпосевная обработка почвы за 10 дней до посева. Семена ячменя высеяны в количестве 24 шт. на сосуд, дата высева – 4 августа 2023 г. Спустя 21 сут. вегетации производится учет биомассы, по которой может быть проведена сравнительная оценка эффективности используемых средств биоактивации почвы, так как элементы продуктивности растений закладываются на начальных этапах развития растений [18, 19].

Биологические свойства почвы определялись по параметрам: содержание углерода микробной биомассы [20]; углерод, экстрагируемый горячей водой [21], как показатель разлагаемой части почвенного органического вещества [22]; валовое содержание почвенного органического вещества (ПОВ) на элементарном анализаторе серии Multi EA-200CS.

Факт почвенной биоактивации определялся по интенсивности субстрат-индуцированного дыхания почвы спустя 10 дней после их внесения, непосредственно перед высевом семян.

Таблица 1

Схема опыта

Варианты	Средства		Описание
Эталон	АКМ по 2 г/сосуд	Вода	H ₂ O _{дист}
Вариант 1		Бактофит (0,1 мл)	Bacillus subtilis шт. ИПМ-215
Вариант 2		Спорекс (0,1 мл)	Bacillus megaterium var phosphaticum
Вариант 3		Ризоплан (0,1 мл)	Pseudomonas fluorescens
Вариант 4		Трихозан (0,1 мл)	Trichoderma viride
Вариант 5		Бисолби (0,1 мл)	Bacillus subtilis, штамм Ч-13

Результаты и их обсуждение

Оценка приема биоактивации почвы спустя 10 сут. после их внесения продемонстрировала, что рост скорости субстрат-индуцированного дыхания отмечился во всех вариантах. При этом степень изменения зависела от вида средства биоактивации (рис. 1).

Из диаграммы следует, что максимальное влияние на скорость СИД оказали продукты Трихозан, Бактофит и Бисолби. Рост биологической активности почвы составил 398, 448 и 299% соответственно. В меньшей степени показатель биоактивации на этапе высева семян проявляется от внесения Ризоплана (98%) и Спорекса (149%). $НСР_{0,5} = 15,8$.

Для оценки влияния средств биоактивации почвы на рост растений был проведен ряд метрических наблюдений: количество всходов, высота растений и биомасса наземной части растений.

Из диаграммы (рис. 2) следует, что микробиологические препараты, используемые на фоне органоминерального комплекса АКМ, отличаются по своему влиянию на дружность всходов. В первый день всходов (3 сут. после высева семян) максимальная всхожесть была отмечена в вариантах с использованием таких биопрепаратов, как Трихозан (37,5%), Бисолби (41,7%) и Спорекс (41,7). В вариантах с препаратами Бактофит и Ризоплан всхожесть была минимальной (рис. 3).

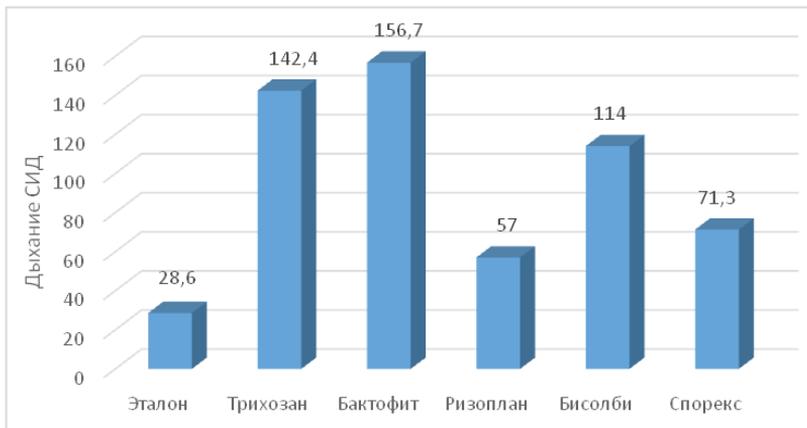


Рис. 1. Интенсивность СИД, мкл CO₂/ч/г почвы

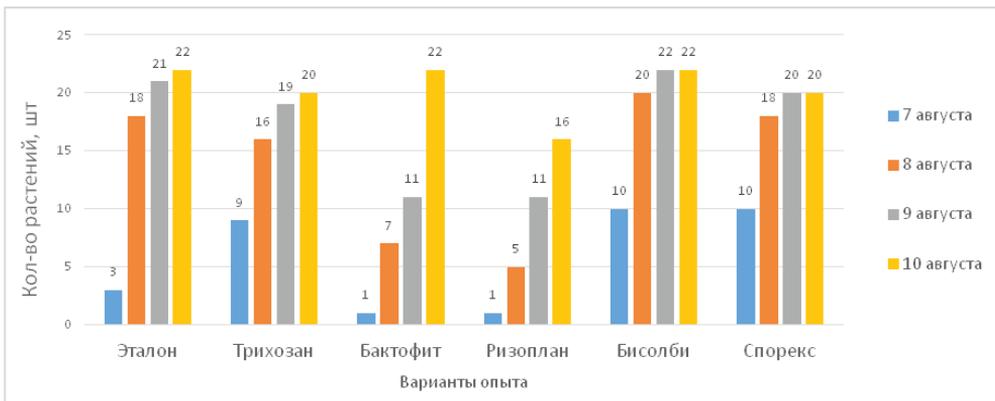


Рис. 2. Влияние средств биоактивации на всхожесть растений, шт.

На 7 сут. после высева семян процент всхожих семян по всем вариантам относительно выравнился и находился в пределах 83,3–91,7%. Исключением был вариант с биопрепаратом Ризоплан, в котором всхожесть составила 66,7%.

Учет средней биомассы наземной части растений на 21 сут. после появления всходов также выявил зависимость данного параметра от использованных биопрепаратов ($НСР_{0,5} = 0,14$). Рост биомассы отмечался в убывающем ряду: Бисолби-Ризоплан-Трихозан-Спорекс-бактофит-Эталон.

Анализируя данные рисунков 2 и 4, можно отметить, что причина задержки появления всходов и минимальное накопление биомассы растений в варианте с использованием Бактофита может быть связана с тем, что основным свойством препарата является его фунгицидная активность. На рисунке 1 отмечен максимальный рост биологической активности почвы. Занимая пространство вокруг корневой системы растения и угнетая окружающую микрофлору фунгицидными соединениями, штамм Бактофита может ограничивать концентрацию ростстимулирующих веществ, продуцируемых в почве аборигенной микрофлорой.

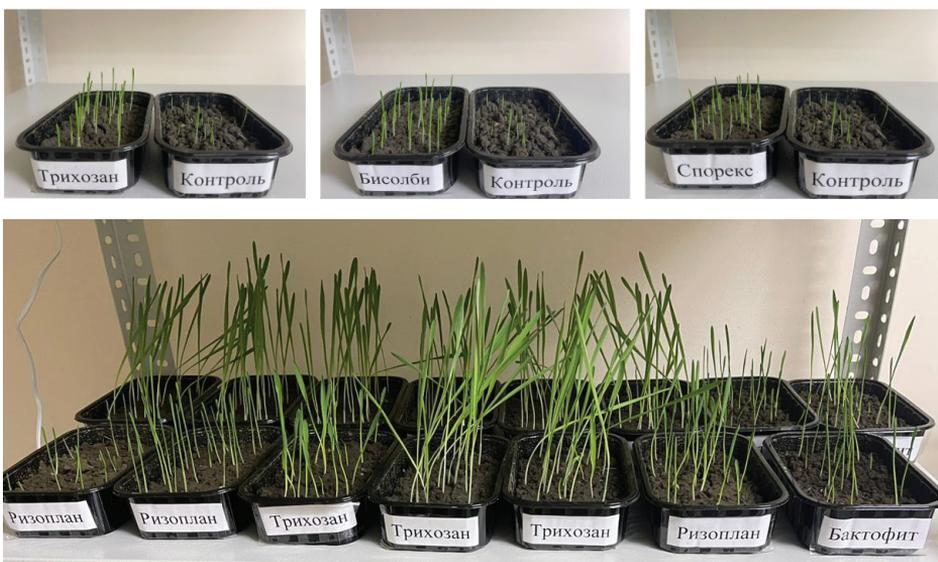


Рис. 3. Вид растений ячменя в лотках

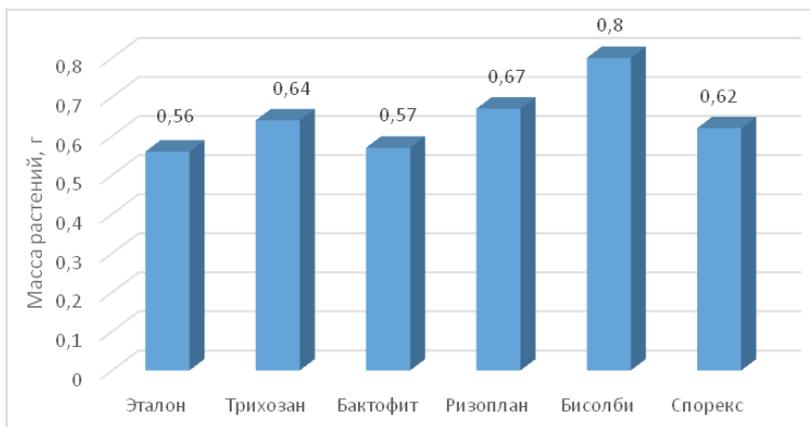


Рис. 4. Влияние биопрепаратов на биомассу растений, г

Наибольший набор биомассы (0,8 г) стимулировался биопрепаратом Бисолби, что выше, чем в эталонном варианте, на 42,9%. За ним следуют Ризоплан (19,6%), Трихозан (14,3%), Спорекс (10,7%). Биомасса растений в варианте с Бактофитом существенно не отличается от эталонного варианта (1,8%).

Действие Ризоплана также заслуживает внимания, так как его влияние на биологическую активность почвы из всех исследуемых препаратов к началу эксперимента было минимальным (рис. 1). Возможно, действующими активными агентами в большей степени выступали продуцируемые клетками физиологически активные вещества, чем непосредственно сами живые клетки. Показатели всхожести также были минимальными, и механизм действия может быть схожим с механизмом действия биопрепарата Бактофит, то есть являться сильным фунгицидом. При этом к моменту учета биомассы растений проявляется значимый эффект (0,67 г), который уступал только варианту с Бисолби.

В качестве предварительного вывода можно заключить, что программируемого действия средств биоактивации можно добиться учетом их характеристик, регулированием сроков их внесения и, возможно, их сочетанием.

Влияние биопрепаратов на углеродный статус почвы. Наиболее востребованными, воспроизводимыми и экспрессными показателями функционирования, а значит, и экологического состояния почвы, наряду с другими биологическими показателями является ее микробная биомасса [23, 24]. Во многих странах микробиологические свойства служат информативным индикатором качества и здоровья почвы. Следовательно, в качестве одного из приемов повышения плодородия почвы может быть рассмотрена интродукция эффективных штаммов почвенных микроорганизмов (рис. 5).

При анализе диаграммы прослеживается закономерность в динамике изменения содержания углерода микробной биомассы. Во всех вариантах с биопрепаратами пиковые значения проявляются на 17 сут. после высева семян (21.08.2023 г.), которые в последующие 7 сут. снижаются. К концу эксперимента (28.08.2023 г.) максимальная микробная биомасса в почве биоактивированных вариантов накапливается при внесении Спорекса (252 г/м^2) и Бисолби (185 м^2). От стартовых значений $S_{\text{мик}}$ возрастает на 255 и 62,3% соответственно. Концентрация $S_{\text{мик}}$ далее убывает в ряду Ризоплан (106 г/м^2), Бактофит (71 г/м^2) и Трихозан (52 г/м^2). В данных вариантах отмечается отрицательный баланс углерода микробной биомассы, который составляет, соответственно, -86% ; -124% ; -173% .

Процесс накопления $S_{\text{мик}}$ в эталонном варианте имеет противоположную остальным вариантам динамику. Так, при минимальных стартовых значениях $28,6 \text{ г/м}^2$ к концу наблюдений отмечается максимальная его концентрация (280 г/м^2) среди всех вариантов. Прирост составляет 879%. Возможно, развитие аборигенной микрофлоры в естественных условиях представляет собой более плавный, менее динамичный процесс, чем в случае интродуцирования искусственно культивированных штаммов в почву.

Углерод, экстрагируемый горячей водой. Почвенная микробиота формирует пул органического вещества через накопление его лабильной фракции (ЛОВ) (рис. 6), представляя собой комплекс неспецифических органических соединений – таких, как негумифицированные углеводы, органические кислоты, спирты, аминокислоты, полисахариды и др. [25]. Эта часть ЛОВ активнее всего реагирует на антропогенные воздействия и является материальной и энергетической основой всей почвенной биоты и растений. По содержанию $S_{\text{эв}}$ оценивается степень обеспеченности почв органическим веществом [26].

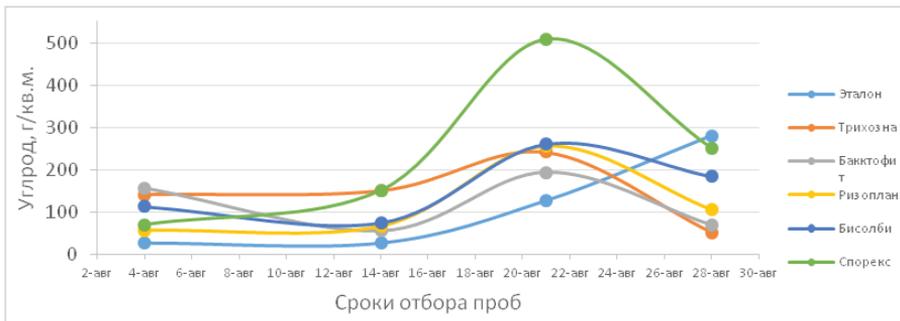
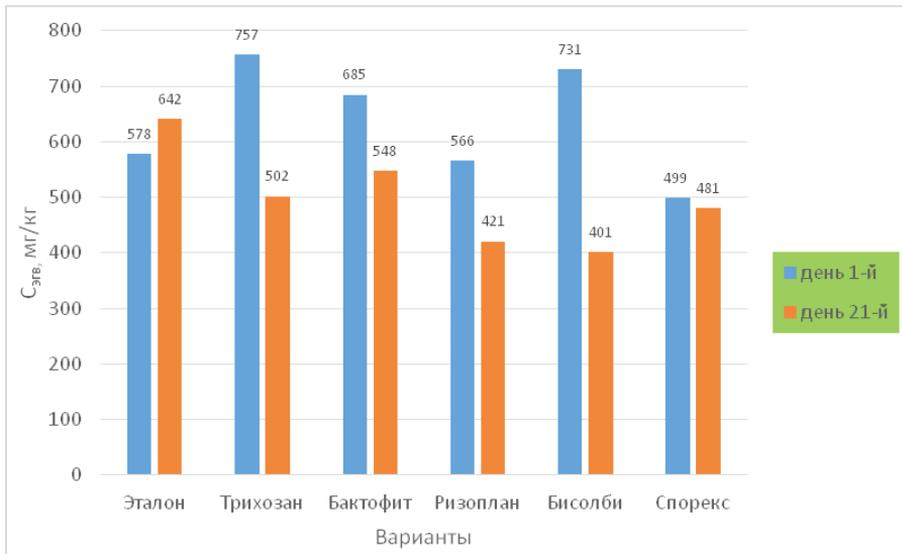


Рис. 5. Динамика углерода микробной биомассы, г/м³



Примечание. $HCP_{0,5}$ (день 1) = 54,1. $HCP_{0,5}$ (день 21) = 89,2.

Рис. 6. Концентрация ЛОВ, $C_{эгв}$, мг/кг

Как следует из диаграммы (рис. 6), в отличие от значений углерода микробной биомассы в динамике значительный разброс концентрации углерода, экстрагируемого горячей водой, не отмечается. Если значение $C_{мик}$ на старте и при завершении исследований колеблется в пределах $-63,4-879\%$, то $C_{эгв}$ меняется в пределах $-45,1-11\%$. В то же время между концентрациями $C_{мик}$ и $C_{эгв}$ на старте эксперимента отмечается высокая положительная корреляционная связь ($r = 0,778$). К концу наблюдения данная связь существенно ослабляется до $r = 0,298$. На диаграмме также ярко выражен отрицательный баланс $C_{эгв}$ в вариантах с использованием средств биологической активации почвы. Единственный случай, при котором растет содержание углерода, экстрагируемого горячей водой, отмечается в эталонном варианте, что можно опосредованно связать со степенью участия углерода в формировании биомассы.

Известно, что лабильное органическое вещество почвы рекомендуется использовать в качестве показателя ее потенциального плодородия. Но для этого, с учетом полученных результатов проведенного эксперимента, следует учесть ряд условий.

Во-первых, если речь идет об искусственном повышении биологической активности почвы, важно владеть информацией о функциональных характеристиках средств. Во-вторых, более точные заключения можно сделать на основе наблюдений

за изменениями параметров в динамике, пусть и в краткосрочной. Об этом можно судить по коэффициенту корреляции между $C_{эгв}$ и $C_{мик}$ в начале наблюдений ($r = 0,778$) и к концу эксперимента ($r = 0,298$). В-третьих, каждый из параметров может отражать отдельную специфическую функцию почвы и не являться универсальным показателем плодородия почвы или повышения продуктивности растений. Так, анализ данных таблицы 2 свидетельствует о том, что $C_{эгв}$, экстрагируемый горячей водой, в большей степени, чем $C_{мик}$, отвечает за накопление биомассы растений. Наиболее тесная обратная связь отмечена на момент завершения наблюдений между биомассой растений и содержанием $C_{эгв}$ ($r = -0,845$), что может быть расценено как непосредственное участие лабильного органического вещества в построении биомассы растений. При этом можно было бы предположить, что его снижение связано с поглощением почвенной микробиотой, но в таком случае с $C_{мик}$ также прослеживалась бы обратная корреляционная связь, в то время как ее нет. Более того, она является положительной, хотя и слабой ($r = 0,298$).

Валовое содержание углерода в почве принято считать наиболее фундаментальным ее параметром, в связи с чем было осуществлено его определение.

По данным диаграммы (рис. 7) можно оценить сопутствующие свойства используемых биопрепаратов. В частности, видим, что все средства обладают ярко выраженной деструктурирующей способностью, но в различной степени. Максимальный распад органического вещества относительно эталонного варианта отмечается от внесения Спорекса, Ризоплана и Бактофита. Столь существенные изменения в содержании органического вещества почвы могут быть связаны с незначительностью объема почвы, органическое вещество которой подвержено деструкции растительно-микробной ассоциацией.

Результатом формирования стабильных органических соединений почвы является активное накопление его лабильных фракций, в частности, тех, которые определяются экстрагированием горячей водой. Корреляционная зависимость между валовым содержанием ПОВ и $C_{эгв}$ по шкале Чеддока характеризуется как заметная, $r = 0,689$.

Таблица 2

Корреляционная зависимость биомассы растений ячменя и уровня биологической активности почвы

Варианты	Биомасса растений, г	Смик, г/м ²			Сэгв, мг/кг		
		день 1-й	день 21-й	динамика, %	день 1-й	день 21-й	изменение, %
Эталон	0,56±0,02	28,6±1,5	280±14	879	578±18	642±23	11
Трихозан	0,64±0,03	142±8,6	52±3	-63,4	757±26	502±16	-33,7
Бактофит	0,57±0,02	157±9	71±4	-54,8	685±23	548±19	-20
Ризоплан	0,67±0,03	57±3,4	106±5	86	566±21	421±15	-25,6
Бисолби	0,80±0,04	114±6	185±9	62,3	731±25	401±13	-45,1
Спорекс	0,62±0,03	71±4	252±13	255	499±17	481±16	-3,6
R =	-	0,151	-0,066	-0,406	0,379	-0,845	-0,787

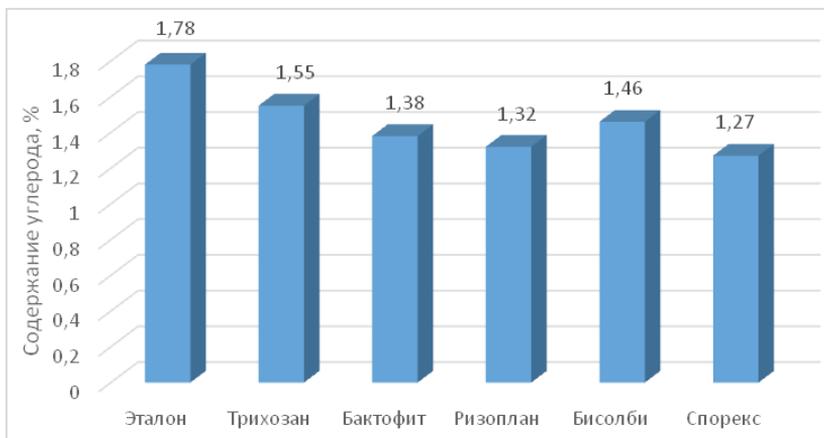


Рис. 7. Валовое содержание ПОВ, %. $HCp_{0,5} = 0,41$

Выводы

Предпосевное внесение биопрепаратов в почву может быть использовано в качестве приема ее биологической активации и повышения биопродуктивности культурных растений. При этом рассмотренные средства биоактивации почвы на ранних стадиях приводят к активной деструкции почвенного органического углерода. Интенсивность деструкции возрастает в ряду Спорекс-Ризоплан-Бактофит-Бисолби-Трихозан.

По показателям коэффициентов корреляции установлено, что фракция органического углерода, экстрагируемая горячей водой, принимает активное участие в формировании биомассы растений ячменя на ранних стадиях развития ($r = -0,845$). Вклад углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) не принимает участия в формировании биомассы растений на исследуемом отрезке времени, что подтверждается коэффициентом корреляции между $C_{\text{мик}}$ и биомассой, $r = 0,298$.

Для оценки поддержания бездефицитного, а возможно, и положительного баланса углерода в почве и вовлечения сельскохозяйственных угодий в климатические проекты рекомендуется продолжить исследования через призму оценки соотношения $C_{\text{мик}}/C_{\text{эгв}}$ в сезонной динамике, где $C_{\text{мик}}$ будет отражать углеродсеквестрирующий потенциал почвы, а $C_{\text{эгв}}$ – ее производственный потенциал. На основе полученных данных возможен подбор средств и агротехнических приемов для развития карбонового земледелия.

Библиографический список

1. Уилфред М. Пост, Кьюол Квон. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential // *Global Change Biology*. – 2000. – № 6. – Pp. 317–327. – DOI: 10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x.
2. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник Российской академии наук*. – 2006. – Т. 76, № 1. – С. 14–24.
3. Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2008. – № 81. – Pp. 169–178.
4. Dyson F.J. Can we control the carbon dioxide in the atmosphere? // *Energy*. – 1977. – № 2 (3). – Pp. 287–291. – DOI: 10.1016/0360-5442(77)90033-0.

5. *Переверзева С.А., Коносовский П.К., Тудвачев А.В., Хархордин И.Л.* Захоронение промышленных выбросов углекислого газа в геологические структуры // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – Вып. 1. – Серия 7. – С. 5–21.
6. *Васенев И.И.* Почвенные сукцессии. – М.: ЛКИ, 2008. – 320 с.
7. *Abdullahi A.Ch., Siwar Ch., Shaharudin M.I., Anizan I.* Carbon Sequestration in Soil: The Opportunities and Challenges. – 2018. – P. 196. – DOI: 10/5772/intechopen.79347.
8. *Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И. и др.* Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации: Монография. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
9. *Anderson T. – H., Domsch K.H.* Soil microbial biomass: The eco-physiological approach // Soil Biol. Biochem. – 2010. – V. 42, Iss. 12. – Pp. 2039–2043.
10. *Гринец Л.В., Сенькова Л.А., Мингалев С.К.* Биологическая активность почвы // Аграрное образование и наука. – 2019. – № 2. – С. 14.
11. *Завалин А.А.* Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – С. 9–11.
12. *Никитин С.Н.* Совершенствование системы удобрения яровой пшеницы с использованием биопрепаратов и микроэлементов (ЖУСС-2) в условиях лесостепи Поволжья: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Ульяновск, 2002. – 136 с.
13. *Добровольский В.В.* География почв с основами почвоведения: Учебник. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.
14. *Рукавицина И.В., Чуркина Г.Н., Кунанбаев К.К.* Оценка биологической активности черноземных почв в зависимости от технологии возделывания пшеницы и рапса в условиях Северного Казахстана // Вестник Карагандинского университета. – 2018. – № 3 (91). – С. 24–32.
15. *Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Сушко С.В.* Микробные показатели городских почв и их роль в оценке экосистемных сервисов (обзор) // Почвоведение. – 2021. – № 10. – С. 1231–1246.
16. *Селезнёва А.Е., Иващенко К.В., Сушко С.В., Журавлева А.И., Ананьева Н.Д., Благодатский С.А.* Дыхательная активность микробного сообщества почвы и его функциональное разнообразие при смещении верхней границы леса в горах Северо-Западного Кавказа // Вестник Российского университета дружбы народов. – Серия «Агрономия и животноводство». – 2021. – Т. 16, № 3. – С. 226–237. – DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-3-226-237.
17. Патент № RU2762361. Комплексное удобрение: № 2021114146: заявл. 19.05.2021; опубл. 20.12.2021 / Конов Магомед Абубекирович. – 11 с.
18. *Куперман Ф.М.* Рост конуса нарастания как морфофизиологический показатель зимостойкости сортов озимых культур // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 1980. – № 9. – С. 56–60.
19. *Яркова Н.Н., Федорова В.М.* Семеноведение сельскохозяйственных растений: Учебное пособие. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. – 116 с.
20. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
21. *Шульц Е., Деллер Б., Хофман Г.* Метод определения углерода и азота, экстрагируемых горячей водой // Методы исследований органического вещества почв. – М.: РАСХН-ВНИПТИОУ, 2005. – С. 230–241.
22. *Русакова И.В.* Динамика общего и экстрагируемого горячей водой углерода в полевом опыте с длительным применением соломы // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего. – СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2019. – С. 609–616.

23. Nielsen M.N., Winding A. Microorganisms as indicator of soil health // NERI Technical Report. – 2002. – № 388. – 84 p.

24. Иващенко К.В. Обилие и дыхательная активность микробного сообщества почвы при антропогенном преобразовании наземных экосистем: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Москва, 2017. – 22 с.

25. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 890–894.

26. Кужел С., Коларж Л., Штиндл П., Байбеков Р.Ф., Ганжара Н.Ф. Метод определения кинетики минерализации разлагаемой части органического вещества почв // Известия ТСХА. – 2007. – Вып. 3. – С. 57–59.

DYNAMICS OF SOIL CARBON STATUS AT THE EARLY STAGE OF BARLEY PLANT GROWTH UNDER THE INFLUENCE OF SOIL BIOACTIVATION AGENTS

A.KH. ZANILOV^{1,2}, M.R. AZNAEVA², D.G. DUDAROVA², A.M. LESHKENOV¹

(¹Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

²Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov)

Under the conditions of a 24-day model experiment on soil samples of ordinary chernozem (C_{org}=3.6%, pH=7.4), the effect of biopreparations on the biological activity and on the dynamics of the content of two forms of soil organic matter (Chwl and C_{org}) was evaluated. Based on the results of the effect of the used biopreparations on the intensity of substrate-induced soil respiration, they can be classified as means of biological activation of soil. The biological activity of the soil increased in the Rizoplan-Sporex-Bisolbi-Trichosan-Baktofit series when the biopreparations were applied to the soil before sowing, varying in the range of 57–156.7 μl CO₂/h/g of soil, while the indicator in the reference variant was 28.6 μl CO₂/h /g soil. The bioactivation agents show a pronounced ability to destroy soil organic matter, which is expressed in a reduction of the gross carbon content. The fraction of organic carbon extracted by hot water is negatively correlated with plant biomass (r = -0.845), which may indicate the involvement of this fraction in the direct formation of biomass at the early stage of barley plant development. At the same time, the carbon of the microbial biomass is characterized by a weak correlation with the plant biomass (r=0.298) in the period studied.

Keywords: soil bioactivation, biopreparations, soil carbon status, plant biomass.

References

1. Post W.M., Kwon K.C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biology*. 2000;6:317–327. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>

2. Zavarzin G.A., Kudiyarov V.N. Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2006;76(1):12–26. (In Russ.)

3. Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 2008;81:169–178.

4. Dyson F.J. Can we control the carbon dioxide in the atmosphere? *Energy*. 1977;2(3):287–291. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(77\)90033-0](https://doi.org/10.1016/0360-5442(77)90033-0)

5. Pereverzeva S.A., Konosavskiy P.K., Tudvachev A.V., Kharkhordin I.L. Disposal of carbon dioxide industrial emissions in geological structures. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2014;1(7):5–21. (In Russ.)
6. Vasenev I.I. Soil succession. M.: LKI, 2008:320. (In Russ.)
7. Abdullahi A.Ch., Siwar Ch., Shaharudin M.I., Anizan I. Carbon Sequestration in Soil: The Opportunities and Challenges. In book: *Carbon Capture, Utilization and Sequestration*. 2018:196. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79347>
8. Shil'nikov I.A., Sychev V.G., Sheudzhen A.Kh., Akanova N.I. et al. Losses of plant nutrition elements in the agrobiogeochemical cycle of substances and methods for their minimization: monograph. M.: VNIIA, 2012:351. (In Russ.)
9. Anderson T. – H., Domsch K.H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. *Soil Biol. Biochem.* 2010;42(12):2039–2043.
10. Grinets L.V., Sen'kova L.A., Mingalev S.K. Soil biological activity. *Agrarnoe obrazovaniye i nauka*. 2019;2:14. (In Russ.)
11. Zavalin A.A. The use of biologics in the cultivation of field crops. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;8:9–11. (In Russ.)
12. Nikitin S.N. Improving the spring wheat fertilization system using biologics and microelements (ZHUSS-2) in the forest-steppe conditions of the Volga region. CSc (Ag) thesis: 01.06.04. Ulyanovsk, 2002:136. (In Russ.)
13. Dobrovolskiy V.V. Geography of soils with fundamentals of soil science. Textbook for a geographer. M.: Vysshaya Shkola, 1989:320. (In Russ.)
14. Rukavitsina I.V., Churkina G.N., Kunanbayev K.K. Assessment of the biological activity of chernozem soils, depending on the technologies of cultivation of wheat and rape in the conditions of Northern Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda University*. 2018;3(91):24–32. (In Russ.)
15. Ananyeva N.D., Ivashchenko K.V., Sushko S.V. Microbial indicators of urban soils and their role in assessment of ecosystem services (review). *Eurasian Soil Science*. 2021;10:1231–1246. (In Russ.)
16. Selezneva A.E., Ivashchenko K.V., Sushko S.V., Zhuravleva A.I., Ananyeva N.D., Blagodatsky S.A. Microbial respiration and functional diversity of soil microbial community under treeline shifts in the Northwestern Caucasus. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021;16(3):226–237. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2312-797X2021-16-3-226-237>
17. Konov M.A. Complex fertilizer: Patent RU2762361, 2021:11. (In Russ.)
18. Kuperman F.M., Turkova E.V. Increase of the growth cone as a morphophysiological indicator of winter hardiness of winter crop varieties. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 1980;9:56–60. (In Russ.)
19. Yarkova N.N., Fedorov V.M. Seed science of agricultural plants: textbook. Perm: IPTs “Prokrost”, 2016:116. (In Russ.)
20. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Gavrilenko E.G. Determination of the soil microbial biomass carbon using the method of substrate-induced respiration. *Eurasian Soil Science*. 2011;11:1327–1333. (In Russ.)
21. Schultz E. Deller B., Hofman G. Method for determining carbon and nitrogen extracted with hot water. *Methods for studying soil organic matter*. M.: RASKhN-VNIP-TIOU, 2005:230–241. (In Russ.)
22. Rusakova I.V. Dynamics of total and hot water extractable organic carbon in long-term field experience with straw introduction. *Tendentsii razvitiya agrofiziki: ot aktual'nykh problem zemledeliya i rasteniyevodstva k tekhnologiyam budushchego*. Proceedings of the II International Scientific Conference in memory of Academician E.I. Ermakov. S.-P.: Agrofizicheskii nauchno-issledovatel'skiy institut RASKHN, 2019:609–616. (In Russ.)

23. *Nielsen M.N., Winding A.* Microorganisms as indicator of soil health. *NERI Technical Report*. 2002;388:84.

24. *Ivashchenko K.V.* Abundance and respiratory activity of the soil microbial community during anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems. CSc (Bio) thesis: 03.02.03. Moscow, 2017:22. (In Russ.)

25. *Schultz E., Kershens M.* Characteristics of the decomposed part of soil organic matter and its transformation using hot water extraction. *Eurasian Soil Science*. 1998;7:890–894. (In Russ.)

26. *Kuzhel S., Kolarzh L., Shtindl P., Baybekov R.F., Ganzhara N.F.* Method for determining the kinetics of mineralization of the decomposed part of soil organic matter. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2007;3:57–59. (In Russ.)

Занилов Амиран Хабилович, старший научный сотрудник, канд. с.-х. наук, руководитель центра декарбонизации АПК и региональной экономики КБГУ, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: amiran78@inbox.ru;

старший научный сотрудник, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Кирова, 224; e-mail: kbniish2007@yandex.ru; тел.: 8(662) 72–27–17

Азнаева Милана Аркадьевна, лаборант-исследователь центра декарбонизации АПК КБГУ, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: miazn@mail.ru

Дударова Динара Гумарбиевна, лаборант-исследователь центра декарбонизации АПК КБГУ ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: dudarova.dinara00@mail.ru

Лешкенов Аслан Мухамедович, научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии и почвенных исследований, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН; 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224; e-mail: aslan.leshckenov@yandex.ru

Amiran Kh. Zanirov, CSc (Ag), Senior Research Associate, Head of the Center for Decarbonization of the Agro-Industrial Complex and Regional Economy, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov (173, Chernyshevskogo Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: amiran78@inbox.ru)

Milana A. Aznaeva, Laboratory Assistant-Researcher, Center for Decarbonization of the Agro-Industrial Complex and Regional Economy, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov (173, Chernyshevskogo Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: miazn@mail.ru)

Dinara G. Dudarova, Laboratory Assistant-Researcher, Center for Decarbonization of the Agro-Industrial Complex and Regional Economy, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov (173, Chernyshevskogo Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: dudarova.dinara00@mail.ru)

Aslan M. Leshkenov, Research Associate, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Soil Research, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (224, Kirova Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: aslan.leshckenov@yandex.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ
В СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ И ПРОСА

С.Д. ВИЛЮНОВ, В.С. СИДОРЕНКО, Н.А. СТЕПАНОВА, М.А. ШАПОРОВА

(ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»)

В статье изложен подход к обработке данных, расширяющий критические показатели структурного анализа растений новыми характеристиками вегетационных индексов. Подтверждена возможность выявления различий в генотипе растений показателями вегетационных индексов на примере проса посевного. Показано использование кластерного анализа в целях группировки испытываемых селекционных линий в кластеры с оптимальными характеристиками сортообразцов для дальнейшей селекционной работы. В 2021...2023 гг. получены практические результаты в виде переданных новых сортов озимой мягкой пшеницы, выделяющихся или имеющих большую продуктивность в кластерах с оптимальными показателями: Аист орловский, Зуша, Памяти Каткова и Аквамарин. Сделан вывод о перспективном использовании в селекционном процессе групп с редуцированным кущением на основе сортообразца Тимирязевская одностебельная. Выявлены перспективные селекционные линии с высокопродуктивным колосом на базе разновидности ферругинеум и новые формы ферругинеум и мильтурум с высокими значениями вегетационных индексов в сочетании с комплексом показателей, характеризующих урожайность и качество зерна.

Ключевые слова: селекционные индексы, вегетационные индексы, кластерный анализ, корреляционный анализ, структурный анализ, пшеница, просо, селекционный процесс.

Введение

Селекционный процесс в растениеводстве без детального описания включает в себя 3 этапа: получение исходного материала для отбора, собственно отбор и испытание. Но изначально селекция начинается с постановки задач выделения сорта, предназначенного для выращивания в определенных почвенно-климатических условиях и на современном уровне технологии возделывания. При формировании дальнейшего процесса селекции учитывается множество контролируемых параметров. Выбор анализируемых характеристик и различных методов селекции влияет на время и стоимость реализации задуманного проекта. Но в любом случае важнейшим методом селекции при отборе является оценка исходного материала по фенотипическим абсолютным показателям (структурный анализ), и чем больше характеристик в анализе, тем более точным ожидается результат.

В идеале создаваемый сорт должен отвечать не отдельным требованиям абсолютных показателей, а их взаимосвязанному комплексу. Поэтому характеристики, позволяющие одновременно контролировать уровень проявления нескольких количественных признаков, на промежуточных этапах селекции являются более значимыми, чем окончательные абсолютные величины. Это заметно при проведении

физиологических исследований, когда уровень транспирации или интенсивность фотосинтеза в абсолютном значении не имеют смысла (в отличие от «массы зерна с колоса» или «числа зерен в колосе», напрямую влияющих на продуктивность). Физиологи рассчитывают эти проявления признаков в виде отношений показателя интенсивности на единицу площади листа, на число хлоропластов в клетке, на единицу массы листа или урожая (сырой или сухой) и т.п. [1]. Такая процедура перехода к относительным величинам есть не что иное, как индексная оценка.

На растении можно найти и измерить в общем десятки и сотни тысяч характеристик, и совершенно очевидно, что их число не ограничивается числом генов в геноме. Таким образом, при изучении генетики признаков можно получить объемный массив экспериментальной информации. Естественно, что такой объем вряд ли будет осмыслен селекционером. В то же время комплексный индекс дает возможность одновременно контролировать и улучшать несколько признаков, сопряженных его формулой, а также производить отбор по интегрированной оценке или по связанным значениям. Эффективность использования индексов возрастает в сравнении с другими показателями, особенно при увеличении числа совмещенных признаков.

В селекции растений различные индексы, связывающие несколько количественных признаков, применяются с начала XX в., и анализ индексов имеет преимущества перед использованием абсолютных величин только в тех случаях, когда они выявляют известную закономерность, незаметную на абсолютных значениях, или когда оказываются менее изменчивыми, чем абсолютные величины [2]. Отмечается, как пример, что селекция на повышение продуктивности растений привела к изменению их анатомического строения: на протяжении всей длины стебля сортов пшеницы разных экотипов произошло увеличение диаметра междоузлий и толщины стенок соломины, и это способствует повышенной устойчивости растений к полеганию [3].

В настоящее время десятки различных селекционных индексов периодически используются в генетико-селекционной практике и в литературе, но наиболее широко применяемыми являются «Канадский, или удельный урожай колоса» (**Ки**, Число зерен в колосе, шт/длину колоса, см), и «Мексиканский индекс» (**Мх**, Масса зерна с колоса, г/высота растения, см) [4]. В настоящее время широко находят применение вегетационные индексы отражения, выражающие многие физиологические индексы и характеризующие общее состояние посевов растений. Значения этих индексов определяются содержанием хлорофилла и уровнем влагообеспеченности.

Определение абсолютных значений какого-либо признака по данным дистанционного зондирования пока невозможно, так как требует дополнительного изучения и сопряжения наземных наблюдений, но все же вегетационные индексы фиксируют связь с физиологическими процессами в косвенном проявлении многих признаков достаточно точно. Такие индексы подбираются экспериментально исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв. Соответственно целесообразным является использование относительных показателей состояния растительности, получаемых на основе спектральных индексов и тесно коррелирующих с уровнем обеспеченности растений хлорофиллом и влагой [5]. Существует более 150 вегетационных индексов вместе с дополнительными индексами, разрабатываемыми по мере развития датчиков и появления новой информации. Аэрофотосъемка с помощью беспилотных летательных аппаратов и мультиспектральной камеры позволяет получать значения индексов с малых площадей с разрешением до 1 см на пиксель. Такие объективные характеристики

вегетационных индексов в комплексе с уже применяемыми параметрами, используемыми в селекционном анализе, способны более точно и на ранних этапах выявить различия в исследуемых образцах. Известно, что такой подход хорошо фиксирует оценку перезимовки озимых культур в селекционных посевах [6].

В селекции намного важнее создание экспрессных методов точной идентификации 7 главных физиолого-генетических систем, повышающих урожай в данной конкретной среде (аттракции, микрораспределений, адаптивности, горизонтального иммунитета, толерантности к загущению, генетической вариабельности длин фаз онтогенеза), а не генетическая характеристика количественного признака, которая обязательно изменится в другой среде [1]. Поэтому для селекционера встает вопрос об оперативном получении и аналитическом подходе при сопряжении этой информации по качественным и количественным характеристикам, в рамках бесспорной традиции селекции «Изучение генетики признаков».

Цель исследований: Обоснование функциональности и эффективности использования в селекционном процессе простых в получении вегетационных индексов на примере озимой мягкой пшеницы и проса посевного.

Материал и методы исследований

Посевы размещались на полях селекционного севооборота ФГБНУ ФНЦ ЗБК в блоке конкурсного испытания лаборатории селекции зерновых крупяных культур. Предшественник – пар. Почвы темно-серые лесные, среднесуглинистые, среднекультуренные. Общая площадь каждой делянки – 10,5 кв. м (ширина – 1,5 м, длина – 7 м), учетная площадь делянки – 10 кв. м.

В 2021 г. анализировалось 180 делянок (29 сортообразцов) озимой мягкой пшеницы, размещенных в блоке 10×18 делянок. В 2022 г. исследовалось 120 делянок (43 сортообразца) озимой мягкой пшеницы, расположенных в блоке 24×5, и 72 делянки (27 сортообразцов) проса посевного, расположенных в блоке 24×3. В 2023 г. анализировали 130 делянок (39 сортообразцов) озимой мягкой пшеницы, размещенных в двух блоках 13 × 5 делянок. Зачетная урожайность соответствует 14%-ной влажности зерна, пересчитанной по формуле Дюваля.

Вегетационные индексы получены с использованием квадрокоптера DJI Matrice 200 v2 с установленной ГНСС L1/L2 антенной, оснащенного модифицированной камерой DJI X4S20Mp (5472×3648) с трехосевым стабилизатором. Полеты осуществлялись с помощью мобильного приложения DJI Pilot, в рамках научного сотрудничества привлеченные сотрудниками ФГБНУ Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Съемки были произведены 21.04.2021 г., 03.06.2021 г., 23.06.2021 г., 26.10.2021 г., 05.05.2022 г., 25.05.2022 г., 16.06.2022 г., 28.06.2022 г., 12.07.2022 г., 26.07.2022 г., 12.07.2022 г., 11.08.2022 г., 24.08.2022 г., 08.11.2022 г., 18.04.2023 г.

Корреляционный анализ данных осуществлялся встроенными средствами MS Excel, кластерный анализ нормированных параметров проводился собственными средствами по правилам объединения или связи UPGMC (невзвешенный центроидный метод) с вычислением меры дистанции, как Евклидово расстояние.

Результаты и их обсуждение

Для проверки стабильности проявления исследуемых признаков был проведен корреляционный анализ показателей ядра из испытываемых ежегодно сортов озимой мягкой пшеницы между годами (табл. 1).

Таблица 1

Стабильность проявления корреляционной связи признака в 12 сортах озимой мягкой пшеницы между годами, конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

Показатели	2021/2022 гг.	2021/2023 гг.	2022/2023 гг.
Урожайность, т/га	-0,112	-0,179	0,378
Высота растения, см	0,647	0,702	0,856
Длина колоса, см	0,853	0,717	0,670
Число зерен в колосе, шт.	0,758	0,218	0,221
Масса 1000 семян, г	0,853	0,645	0,743
Кустистость	0,538	0,254	-0,132
Выход зерна	0,736	0,366	0,096
Белок, %	0,256	0,428	0,486
Крахмал, %	0,100	0,475	0,706
Канадский индекс, Ки	0,643	0,399	0,722
Мексиканский индекс, Мх	0,709	-0,337	-0,295
Индекс линейной плотности, ИПК	0,825	0,833	0,656
NDVI	0,116	0,404	-0,247
CIGreen	-0,192	0,510	-0,112
NDRE	-0,080	0,424	-0,167

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод о том, что независимо от погодных условий наблюдаются сортовые особенности образцов в ядре, явно выражающиеся через 3 признака (высота растения, длина колоса и масса 1000 семян) и 2 селекционных индекса (Канадский индекс и индекс линейной плотности, или индекс потенциала колоса ИПК). Это подтверждают и многолетние работы других исследователей на яровой пшенице, доказавших, что метеорологические условия меньше всего влияют на натуру, массу 1000 зерен и выход муки [7]. Селекционные индексы связаны с этими тремя показателями в формуле и имеют значение зачастую выше, чем у самих показателей. Имеются и признаки, проявляющие высокие и средние показатели корреляции по сортам в связях отдельных лет. Остальные показатели между годами проявляют слабые корреляционные связи или не проявляют их совсем.

Селекционный процесс подразумевает испытание, браковку и отбор селекционных линий в сравнении со стандартом на продуктивность, но урожайность имеет слабую корреляционную связь между годами. Следовательно, наращивать продуктивность необходимо, отталкиваясь от комплекса присущих лучшим сортообразцам признаков. А поскольку в исследованиях ежегодно испытывается разнообразный набор образцов и сделать сравнительный корреляционный анализ по годам

не представляется возможным, то необходимо анализировать разницу в связях между стабильно сцепленными признаками всего массива и многолетнего однородного ядра испытуемых контрольных сортов образцов (рис. 1).

Анализ ежегодных колебаний отклонений в показателях корреляции исследуемых признаков с канадским селекционным индексом на всем испытуемом массиве и ядра из 12 базовых сортов дает картину о возможном присутствии в испытуемых селекционных линиях образцов, вносящих такие отклонения. Эти отклонения вызваны наличием образцов вне ядра с меньшим сцеплением по второму признаку с первым. Все это дает представление о проявлении признаков как о некой динамической системе, принимающей различное состояние в зависимости от проявления генотипа сорта образца в различных почвенно-климатических условиях.

Определение взаимосвязей между переменными (показатели признаков) до уровня многомерных линейных и нелинейных отображений является сложной и, возможно, неразрешимой задачей. Соответственно для отбора испытуемых селекционных образцов необходимо упорядочить все исследуемые образцы в сравнительно однородные группы с уже проверенными временем базовыми сорта образцами и признаками через многомерные наблюдения их различных показателей. Поэтому для группировки селекционных образцов был применен метод кластерного анализа, при котором объекты подразделяют на группы по важным показателям структурного анализа и различным индексам, объединяющим несколько критериев.

Уникальными показателями, характеризующими генотип сорта образца, являются различные вегетационные индексы. Индексы усиливают контраст между почвой и растительностью, но сводят к минимуму влияние условий освещения. Нормализованный разностный вегетационный индекс $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ (*Normalized Difference Vegetation Index*) и индекс хлорофилла (*Green Chlorophyll Index*) – $GCI (CI_{Green}) = NIR / Green - 1$ наиболее популярны и часто используются. Для растительности NDVI принимает положительные значения, и чем больше вегетирующая фитомасса, тем он выше. Этот индекс характеризует плотность растительности, что позволяет оценить всхожесть, рост, развитие и т.п. CI_{Green} служит для выявления сезонных изменений фотосинтетического потенциала растений, так как интенсивность отражения зеленого и ближнего инфракрасного линейно коррелирует с общим содержанием хлорофилла.

Ранее нами [8] был рассмотрен вопрос о применении различных вегетационных индексов для картирования поведения генотипа озимой мягкой пшеницы на всем периоде вегетации с целью применения в селекционном процессе на продуктивность. Следовательно, показатели вегетационных индексов можно использовать в группировке однородных групп в селекционном испытании наравне с другими признаками, полученными в результате структурного анализа.

Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были засушливыми ($ГТК = 0,83$), повышенные температуры в июне-июле существенно повлияли на формирование урожая отдельных сортов образцов. В анализ были включены вегетационные индексы, имеющие максимальное значение в период начала колошения (03.06.2021 г.). В результате проведенного кластерного анализа по данным 2021 г. были получены группы сортов (табл. 2, 3) (рис. 2).

Заслуживает внимания кластер № 1, который состоит из одной короткостебельной селекционной линии лютеценс № 16 с высокими значениями вегетационных индексов и содержанием белка. Резко отличается от изучаемых сортов образцов одностебельная форма Тимирязевская одностебельная, которая образует отдельный кластер № 2 с высокой массой зерна колоса и редуцированной кустистостью (1,5). В кластере № 3 сгруппированы сорта образцы с повышенной ранневесенней кустистостью. Кластер 4 включает в себя новые линии озимой мягкой пшеницы с высоким содержанием

белка в зерне, существенно не уступающие стандарту Скипетр по урожайности (кластер № 5). В кластер № 6 вошли сорта и селекционные линии с наиболее высокими вегетационными и селекционными индексами, адаптированные к погодным условиям 2022 г. Кластер № 7 включает в себя крупнозерную форму лютеценс № 158.

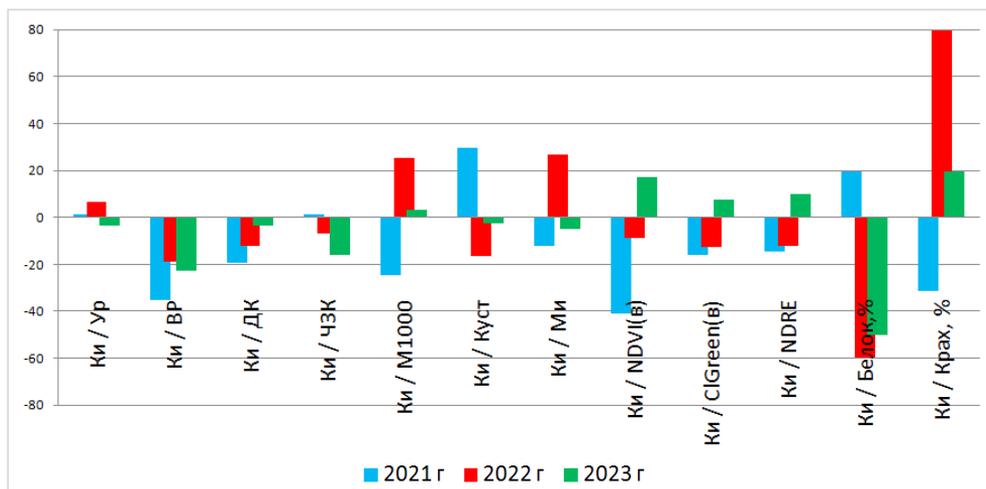


Рис. 1. Отклонение по годам корреляции исследуемых признаков с канадским селекционным индексом в массиве всех образцов и ядра 12 сортов озимой мягкой пшеницы, конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

Таблица 2

Селекционные образцы озимой мягкой пшеницы, вошедшие в кластеры по 2021 г., конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

№ п.п.	Варианты, вошедшие в кластер	Объем группы	Дистанция			SS
			Min	среднее	Max	
1	3. Лютеценс № 16 (Памяти Каткова)	1				
2	10. Одностебельная	1				
3	12. Аист х Ф-17; 16. М-39 х Синева; 24. Почаевка х Леонида	3	0,3680	0,4664	0,5663	0,0066
4	2. Лютеценс № 13 (Зуша); 4. Лютеценс № 17; 5. Лютеценс № 21; 6. Лютеценс № 22; 8. Лютеценс 982; 11. Леон. х АВС; 13. Аист х Ф-17; 14. Синева; 15. Валторна; 17. Леонида; 18. Междуреченка; 19. Эритро К-8 х Ф-17; 20. Эритро к-с 27; 21. Немчиновская 85; 22. Эритро 185; 25. М-39 х Синева	16	0,1402	0,5022	0,9163	0,0263
5	1. Скипетр, ст.; 26. Александра	2	0,4097	0,4097	0,4097	0,0000
6	7. Орловская 32; 9. А-71 (Аист орловский); 23. Тим. Юбил.; 27. № 132; 28. № 134	5	0,2712	0,4201	0,6788	0,0142
7	29. № 158	1				

Средние показатели анализируемых параметров структурного анализа, селекционных и вегетационных индексов в кластерах 2021 г.

№ кластера	Урожайность, т/га	Высота растения, см	Кусти-стость, шт.	Дли-на колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 семян, г	Содержание белка, %	Содержание крахмала, %	Канадский индекс	NDVI	CIGreen
1	5,74	82,6	4,3	10,60	38,1	1,16	30,30	15,7	63,1	3,594	0,915	9,293
2	4,97	92,8	1,4	11,60	55,2	2,11	38,20	14,2	65,7	4,759	0,875	6,862
3	5,95	106,0	4,9	10,68	48,1	1,88	39,43	14,8	65,7	4,504	0,903	7,599
4	6,12	103,2	3,2	9,83	38,6	1,52	39,03	14,8	65,0	3,931	0,903	7,632
5	6,47	103,8	3,4	10,00	53,4	2,20	41,20	14,0	65,1	5,378	0,889	7,102
6	6,09	91,8	2,9	8,67	42,1	1,40	33,44	15,3	63,6	4,859	0,918	9,531
7	6,07	107,5	2,3	11,20	30,4	1,58	51,60	14,9	66,5	2,714	0,904	7,498

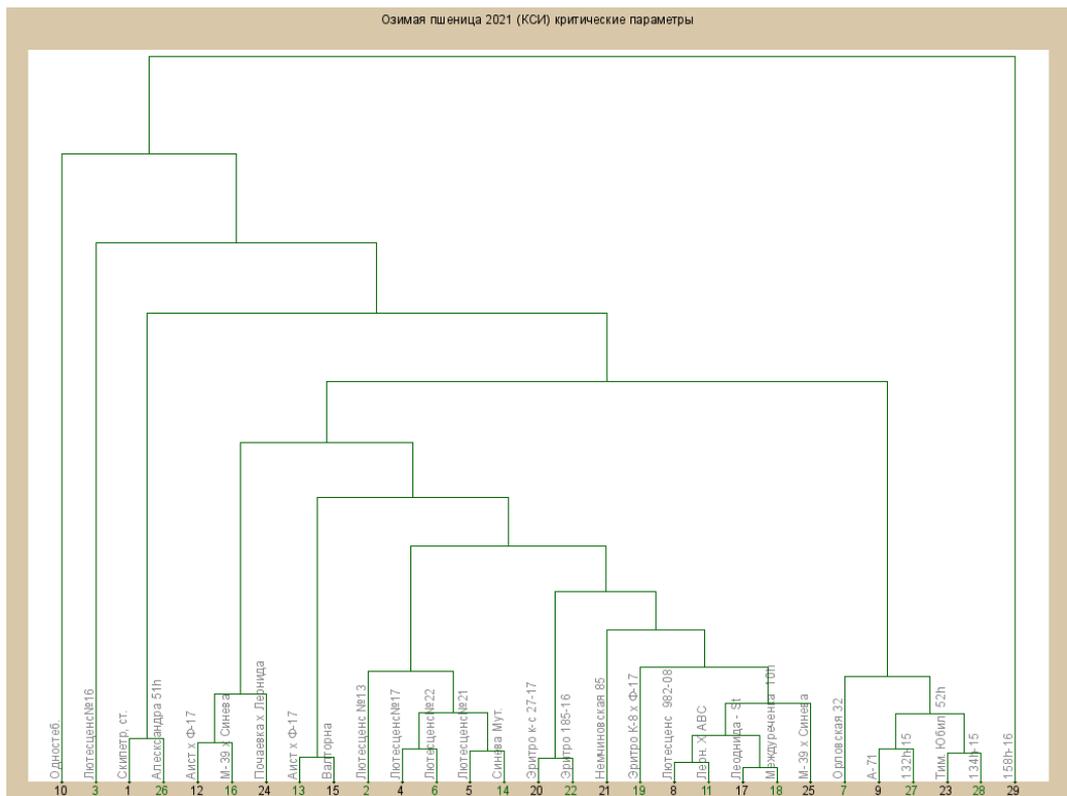


Рис. 2. Дендрограмма кластеризации селекционных образцов озимой мягкой пшеницы за 2021 г., конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

Погодные условия вегетационного периода 2022 г. были слабозасушливыми (ГТК = 1,01). В результате проведенного кластерного анализа по показателям, полученным в 2022 г., было получено 8 групп сортообразцов озимой мягкой пшеницы (табл. 4, 5) (рис. 3). В анализ были включены вегетационные индексы, имеющие максимальное значение в период начала колошения (25.05.2022 г).

Кластер № 1 представлен раннеспелыми сортами Гром, Ермак, широко распространенными в Орловской области. Резко отличается от изучаемых сортообразцов Тимирязевская одностебельная № 2 с высокой массой зерна колоса (3,29 г) и редуцированной кустистостью (1,2). Новые сорта и селекционные линии из кластера № 3 по большинству показателей превосходят сорта (кластер № 1). Заслуживает внимания кластер № 4, в котором сгруппированы самые высокоурожайные новые селекционные линии: лютесценс № 13 (сорт Зуша) и лютесценс № 132, которые имеют высокое значение канадского индекса.

В кластере № 5 сгруппированы высокоурожайные сортообразцы с высокими показателями вегетационных индексов. В кластер № 6 выделена высокорослая линия Мильтурум 7 с высоким содержанием протеина и сырой клейковины в зерне. Кластер 7 представлен остистыми и безостыми формами и включает в себя новый сорт Скипетр 2. В наиболее многочисленный кластер № 8 вошли высокоурожайные новые сорта и селекционные линии, в том числе линии с окрашенным колосом (разновидностей ферругинеум и мильтурум), хорошо адаптированные к погодным условиям 2022 г.

Таблица 4

Селекционные образцы озимой мягкой пшеницы, вошедшие в кластеры по 2022 г., конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

№ п.п.	Варианты, вошедшие в кластер	Объем групп	Дистанция			SS
			Min	среднее	Max	
1	11. Ермак; 19. Гром	2	0,5108	0,5108	0,5108	0,0000
2	26. Тим. Одностеб.	1				
3	1. Леонида; 10. Междуреченка; 16. № 16; 17. Московская 982; 20. Орловская 32; 21. Безостая100; 27. Александра	7	0,3259	0,6087	0,9082	0,0276
4	15. № 13 Зуша; 28. № 132/16	2	0,5846	0,5846	0,5846	0,0000
5	14. Скипетр; 24. А-71; 32. Аист × Ф17 (мил2); 33. Синева; 34. Аист × Ф17(мил3)	5	0,4053	0,5868	0,9357	0,0287
6	39. Ф17 Фав(мил7)	1				
7	2. Бирюза × Леонида; 3. (Л × Ф17) × Ф17(ферр1); 4. Московская 27; 5. Отб. 4 × Ф17(ферр2); 12. Московская 39; 29. Валторна; 35. Аист × Ф17(мил4); 37. Аист × Ф17(мил6); 40. Скипетр2	9	0,2323	0,6402	1,0407	0,0329
8	6. Отб. 4 × Ф17 (ферр3); 7. Отб. 4 × Ф17 (ферр4); 8. Отб. 4 × Ф17 (ферр5); 9. Немчиновская 85; 13. Дентро; 18. Б-20; 22. Юлия; 23. № 22; 25. Ф17 А71(мил1); 30. Л × АВС д80; 31. Аист; 36. Аист × Ф17(мил5); 38. Фаворитка; 41. Аист × Ф17 × А(блонд); 42. Аист × Ф17 × А(шат); 43. Киев 8Фрид	16	0,2718	0,6906	1,2491	0,0401

Средние показатели анализируемых параметров структурного анализа, селекционных и вегетационных индексов в кластерах 2022 г.

№ кластера	Урожайность, т/га	Высота растения, см	Кусти-стость, шт.	Длина колоса, см	Число зерен вколосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 семян, г	Со-дер-жание белка, %	Содер-жание крах-мала, %	Канад-ский индекс	NDVI	CIGreen
1	3,33	70,5	4,2	8,30	49,4	2,13	42,74	14,4	66,0	5,979	0,666	3,624
2	4,44	72,5	1,2	13,25	73,3	3,29	44,64	15,4	65,5	5,532	0,422	2,418
3	6,81	76,9	3,0	9,64	53,0	2,39	45,29	14,6	65,4	5,515	0,503	2,446
4	9,03	80,0	2,6	8,80	51,9	2,09	40,34	14,4	65,8	5,988	0,608	3,816
5	7,61	99,4	3,1	10,49	50,5	2,22	43,96	15,3	64,6	4,897	0,859	8,039
6	6,94	113,0	4,0	8,60	29,5	1,38	46,55	17,5	64,0	3,430	0,795	6,285
7	6,91	99,6	4,1	10,95	51,5	2,35	45,94	16,3	64,3	4,706	0,575	2,842
8	8,03	94,3	3,5	10,18	49,4	2,23	45,57	15,3	65,1	4,837	0,742	5,128

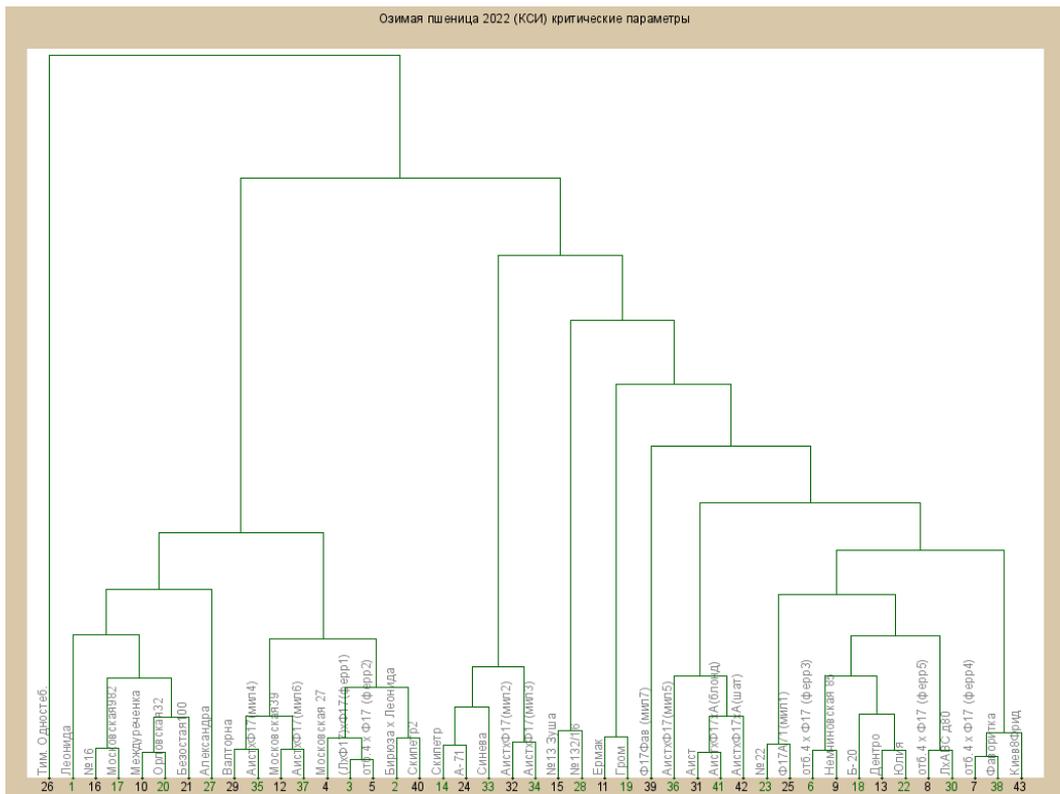


Рис. 3. Дендрограмма кластеризации селекционных образцов озимой мягкой пшеницы за 2022 г., конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

Погодные условия вегетационного периода 2023 г. были засушливыми (ГТК = 0,74), однако раннее возобновление весенней вегетации способствовало формированию высокой урожайности. В результате проведенного кластерного анализа по показателям, полученным в 2023 г., выявлено 8 групп сортов озимой мягкой пшеницы (табл. 6, 7) (рис. 4). В анализ были включены вегетационные индексы, полученные после перезимовки (18.04.2023 г).

Впервые в отдельные кластеры № 1 и № 2 вошли линии разновидности ферругинеум. Линия Ферр Б11 (кластер № 2) имеет рыхлый, хорошо озерненный колос и высокие значения вегетационных индексов. Кластер № 3 представлен формами эритроспермум, которые не превысили стандарт по урожайности. Наиболее низкорослая селекционная линия Лютесценс Е5 образует отдельный кластер № 4. Самые высокие значения канадского индекса имеют сортообразцы, представленные в кластерах № 5 и № 6. Для многочисленного кластера № 7, а также кластера № 8 характерны высокие значения вегетационных индексов в начале весенней вегетации, что обеспечило высокий уровень урожайности в 2023 г.

Таблица 6

Селекционные образцы озимой мягкой пшеницы, вошедшие в кластеры по 2023 г., конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

№ п/п	Варианты, вошедшие в кластер	Объем группы	Дистанция			SS
			Min	среднее	Max	
1	9. Отб № 4 x Ф17 д. 3–5	1				
2	11. Ферр Б11	1				
3	3. Немчиновская 85; 15. Блондинка	2	0,2695	0,2695	0,2695	0,0000
4	30. Лютесценс Е5	1				
5	22. Юлия; 24. № 22; 31. Аист д14	3	0,2655	0,3509	0,4221	0,0042
6	2. Эритро К8 × Фрид; 8. Междуреченка; 19. Зуша; 20. Орловская 32; 21. Семён; 25. Александра; 26. № 132–15; 35. Аист орловский	8	0,1910	0,4265	0,6297	0,0126
7	1. Тим. Юбилей; 4. Леонида × Ф20; 6. Леонида; 10. Лебедина 17; 12. Ферр Г6; 13. Ферр Ж1; 14. Шатенка; 16. Тим юбил. 2; 17. Скипетр; 18. № ; 23. Безостая 100; 27. № 141; 28. Тим. одност.; 29. Синева; 32. Акварин; 34. Мильтурум Ф17 × А71; 37. Скипетр 2; 38. Мильтурум АФ17 Е1 д. 601	18	0,1881	0,4914	0,8890	0,0190
8	4. Моск 39; 7. Л×Ф17×Ф17; 33. Лютесценс 158–16; 36. Мильтурум АФ17 д. 14–4роза; 39. Мильтурум; АФ17 д. 17–1	5	0,2290	0,3514	0,5436	0,0058

Средние показатели анализируемых параметров структурного анализа, селекционных и вегетационных индексов в кластерах, 2023 г.

№ кластера	Урожайность, т/га	Высота растения, см	Кустистость, шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 семян, г	Содержание белка, %	Содержание крахмала, %	Кандидский индекс	NDVI	CIGreen
1	6,29	79,2	2,8	7,85	31,7	1,65	52,02	16,0	65,1	4,038	0,297	1,139
2	7,14	81,3	1,1	12,05	57,3	2,51	43,79	14,8	65,8	4,755	0,380	1,448
3	7,02	78,9	1,6	6,83	30,9	1,44	46,55	15,1	66,0	4,522	0,416	1,539
4	7,97	70,5	1,1	8,70	34,7	1,23	35,36	15,2	66,2	3,989	0,368	1,409
5	7,68	86,2	1,8	9,18	46,7	2,36	50,47	14,2	66,8	5,080	0,313	1,228
6	7,57	73,7	2,0	7,61	40,1	1,75	43,88	13,6	66,4	5,290	0,327	1,255
7	7,94	81,1	1,6	8,86	42,9	1,87	43,84	13,9	67,0	4,856	0,378	1,452
8	7,60	99,5	1,9	9,35	38,5	1,86	48,46	14,6	67,4	4,123	0,367	1,421

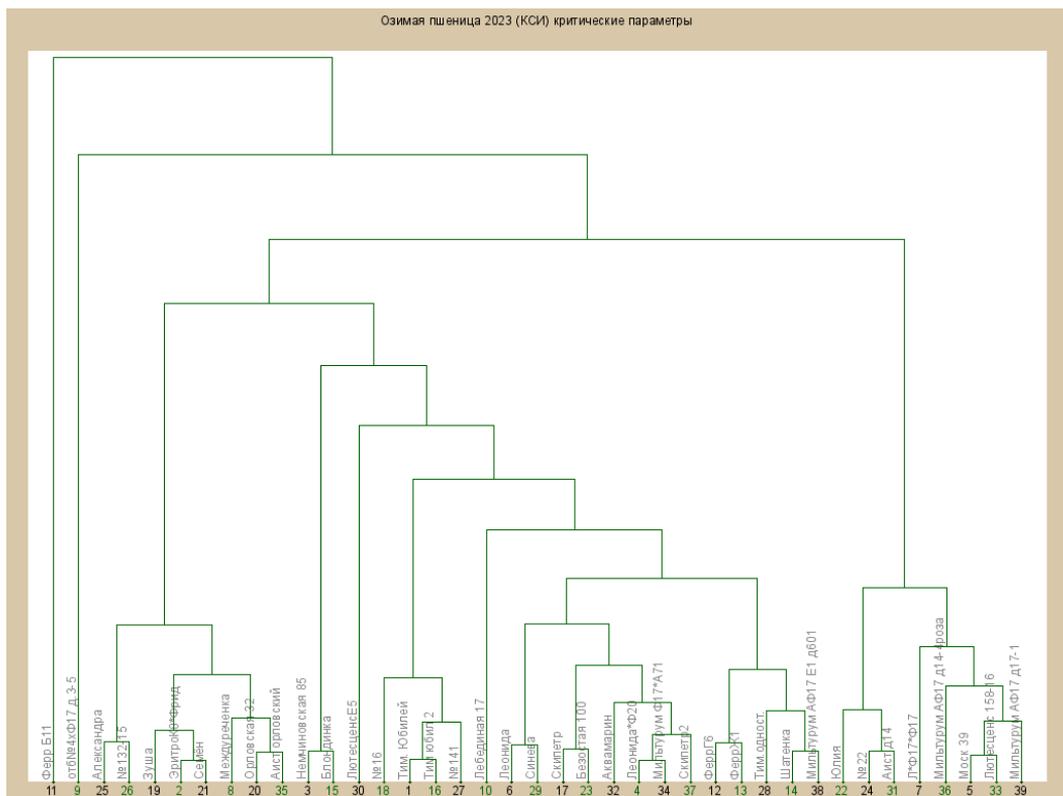


Рис. 4. Дендрограмма кластеризации селекционных образцов озимой мягкой пшеницы за 2023 г., конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

В результате проведенной работы получены новые знания об урожайности, продуктивности колоса, биохимических показателей зерна озимой мягкой пшеницы, определены селекционные и вегетационные индексы исходного и селекционного материала. Ежегодно на основе кластерного анализа растений сортообразцы были сгруппированы по урожайности и 11 независимым показателям и индексам. Выделены отдельные кластеры, отличающиеся от изучаемого набора сортов и селекционных линий и превышающие стандарты по урожайности и комплексу показателей включая вегетационные индексы. Выявлены перспективные селекционные линии и переданы на Государственное испытание: Лютесценс А71 (новый сорт Аист орловский); Лютесценс № 13 (новый сорт Зуша); Лютесценс № 16 (новый сорт Памяти Каткова); Лютесценс А158 (новый сорт Аквамарин); Лютесценс № 132. Перспективным является использование в селекционном процессе кластеров с редуцированным кущением на основе сортообразца Тимирязевская одностебельная, с высокопродуктивным колосом на базе разновидности ферругинеум (Ферр Б11) и новых форм ферругинеум и мильтурум с высокими значениями вегетационных индексов в сочетании с комплексом показателей, характеризующих урожайность и качество зерна.

Просо. Для визуализации значимости применения вегетационных индексов в селекционном процессе рассмотрим группировку селекционных сортообразцов по другой культуре с другим типом фотосинтеза (тип С4) – на просе посевном и в процессе вегетационного периода (рис. 5).

Для упрощения визуализации динамики вегетационного индекса произведем группировку кластерным анализом. Получили 5 групп кластеров сортообразцов и селекционных линий с одинаковой динамикой по признаку изменения фотосинтетического потенциала растений (рис. 6) (табл. 8).

Сформированные таким образом группы проявляют уникальность поведения в динамике. Можно отметить, что самые низкоурожайные образцы (№ 5) имеют самые низкие показатели вегетационного индекса, но в то же время высокоурожайный кластер (№ 3) расположен посередине графика на рисунке 5. Можно еще отметить, что максимальные показатели вегетационных индексов приходятся на конец июля-начало августа (момент цветения и начало созревания). Расширяя максимальные вегетационные показатели (26.07.2022 г.) ценными селекционными признаками структурного анализа, получаем похожие характеристики групп (рис. 7) (табл. 9, 10).

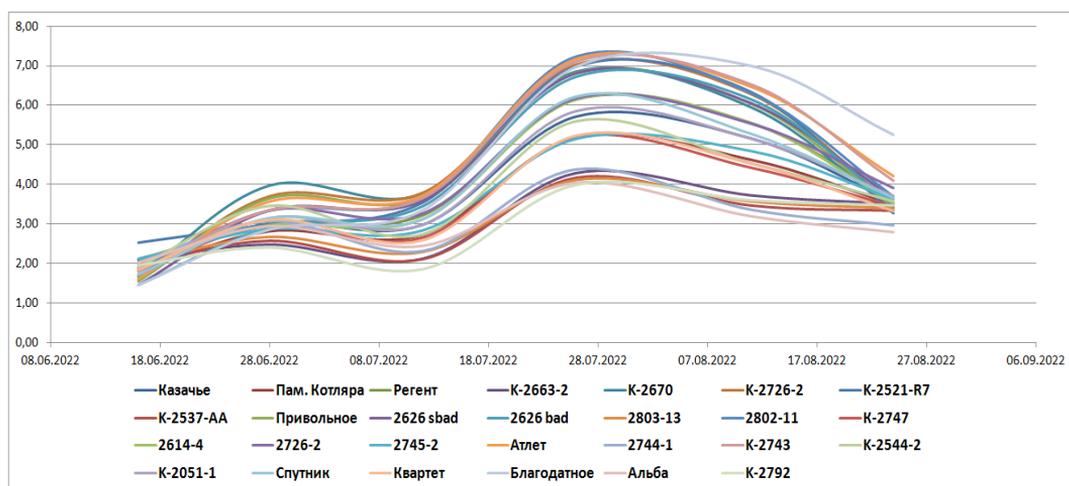


Рис. 5. Динамика вегетационного индекса CIGreen в процессе вегетации проса посевного, конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

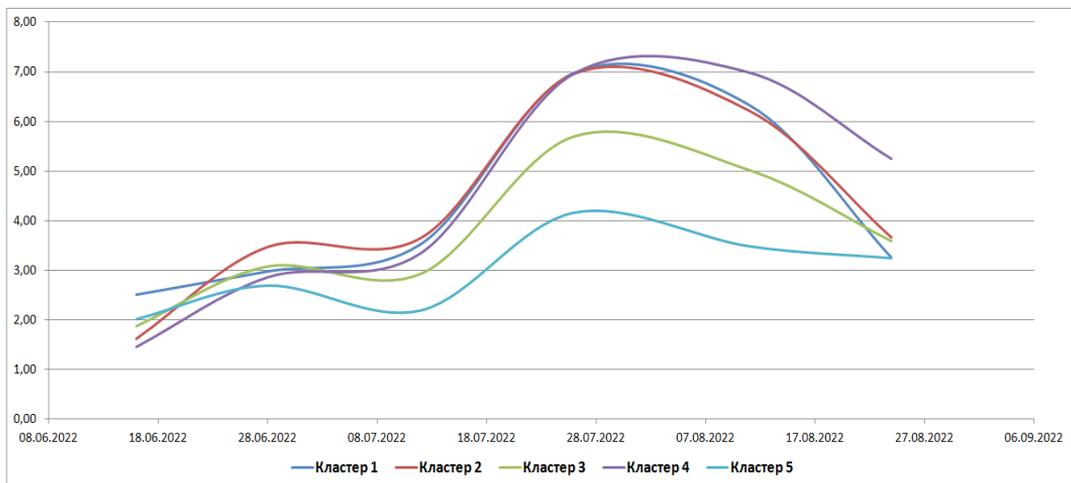


Рис. 6. Динамика вегетационного индекса CIGreen в процессе вегетации проса посевного, сгруппированного в кластеры, конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл

Таблица 8

**Селекционные образцы проса посевного,
сгруппированные по индексу хлорофилла CIGreen,
конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК 2022 г.**

№ кластера	Варианты, вошедшие в кластер	Средняя урожайность кластера, т/га
1	7. К-2521-R7	3,30
2	5. К-2670; 6. К-2726–2; 9. Привольное; 10. 2626 sbad; 11. 2626 bad; 13. 2802–11; 18. Атлет; 20. К-2743	3,64
3	1. Казачье; 2. Пам. Котляра; 3. Регент; 14. К-2747; 15. 2614–4; 16. 2726–2; 17. 2745–2; 21. К-2544–2; 22. К-2051–1; 23. Спутник; 24. Квартет	3,72
4	25. Благодатное	3,53
5	3. К-2663–2; 8. К-2537-AA; 12. 2803–13; 19. 2744–1; 26. Альба; 27. К-2792	3,21

В случае общей группировки можно наблюдать, что также группы с низкой продуктивностью (№ 1 и № 4) имеют и низкие показатели вегетационных индексов, а кластер (№ 5) с высокой продуктивностью характеризуется средними показателями индексов. Зато в группах № 2 и № 3 отмечаются высота растения, количество междоузлий, длина последнего междоузлия и длина главной метелки. Также можно отметить, что в эту группу попали современные сорта и большая часть селекционных линий, отобранных ранее.

Селекционные образцы проса посевного, сгруппированные в кластеры по данным структурного анализа и вегетационным индексам, конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, 2022 г.

№ п/п	Варианты, вошедшие в кластер	Объем группы	Дистанция			SS
			Min	среднее	Max	
1	8. К-2537-AA	1				
2	2. Пам. Котляра; 5. К-2670; 7. К-2521-R7; 9. Привольное; 10. 2626 sbad; 12. 2803-13; 13. 2802-11; 14. К-2747; 19. 2744-1; 20. К-2743	10	0,2368	0,5053	0,8185	0,0226
3	1. Казачье; 3. Регент; 6. К-2726-2; 11. 2626 bad; 15. 2614-4; 16. 2726-2; 17. 2745-2; 18. Атлет; 21. К-2544-2; 22. К-2051-1; 23. Спутник; 24. Квартет; 25. Благодатное	13	0,2384	0,5808	1,1040	0,0414
4	4. К-2663-2; 26. Альба	2	0,5756	0,5756	0,5756	0,0000
5	27. К-2792	1				

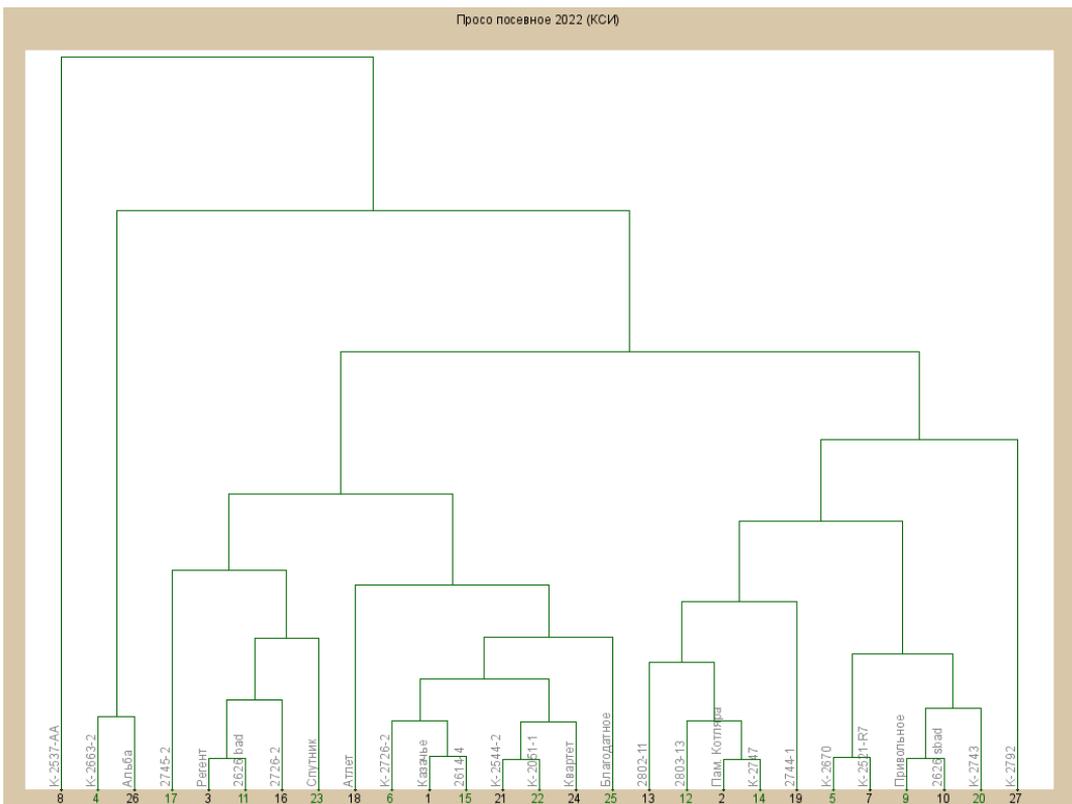


Рис. 7. Дендрограмма кластеризации сортов проса посевного через показатели структурного анализа и вегетационные индексы

Средние показатели по кластерам образцов проса посевного, сформированных по данным структурного анализа и вегетационным индексам, конкурсное испытание ФГБНУ ФНЦ ЗБК, 2022 г.

№ п/п,	Урожайность, т/га	Высота, см	Кол-во междоузлий	Длина посл., м/уз., см	Длина главной метелки, см	Вес зерна с гл. метелки	Вес зерна с 1 раст.	CIGreen	NDVI
1	2,50	47,40	3,90	23,90	12,00	0,64	0,64	4,1716	0,7726
2	3,55	82,23	5,29	39,09	18,15	1,69	2,22	6,0663	0,8411
3	3,72	99,23	5,59	44,65	22,28	3,46	3,92	6,1634	0,8402
4	2,94	80,95	5,50	29,55	15,25	4,26	4,31	4,1615	0,7829
5	3,90	88,90	6,10	30,30	17,70	2,49	2,49	3,9852	0,7533

Выводы

– Использование в селекционном процессе вегетационных индексов позволяет расширить эффективность и результативность обработки числового материала данных структурного анализа снопового материала и показателей селекционных индексов.

– Подтверждена возможность выявления различий в генотипе растений показателями вегетационных индексов на примере проса посевного.

– Использование кластерного анализа в целях группировки испытуемых селекционных линий в кластеры с оптимальными характеристиками для дальнейшей селекционной работы позволяет выделять образцы, имеющие большую продуктивность внутри однородной группы.

– Использование вегетационных индексов в комплексе с другими показателями сортообразцов позволило получить за 2021...2023 гг. практические результаты в виде переданных четырех новых сортов озимой мягкой пшеницы (Аист орловский, Зуша, Памяти Каткова и Акварин). Кроме того, данный подход позволил продолжить селекцию перспективной линии с редуцированным кущением на основе сортообразца Тимирязевская одностебельная, выявить перспективные селекционные линии с высокопродуктивным колосом на базе разновидности ферругинеум и новые формы ферругинеум и мильтурум с высокими значениями вегетационных индексов в сочетании с комплексом показателей, характеризующих урожайность и качество зерна.

Библиографический список

1. Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации количественных признаков растений и теорию селекционных индексов. – СПб.: НОУ НПО Салезианский Центр «Дон Боско», 2008. – 87 с.
2. Филипченко Ю.А., Лепин Т.К. Генетика мягких пшениц. – М.: Сельхозгиз, 1934. – 262 с.
3. Пыльнев В.В. Закономерности эволюции озимой пшеницы в результате селекции: Дис. ... д-ра биол. наук. – М.: МСХА, 1998. – 364 с.
4. Степанова Н.А., Сидоренко В.С., Старикова Ж.В., Костромичева В.А. Определение продуктивности яровой мягкой пшеницы на основе селекционных

индексов // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 3 (39). – С. 91–96. – DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-91-96.

5. Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Обоснование параметров полетного задания беспилотного воздушного судна для мультиспектральной аэрофотосъемки // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 33–39. – DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-33-39.

6. Kurbanov R., Zakharova N., Sidorenko V., Vilyunov S. The Use of Vegetation Indices in Comparison to Traditional Methods for Assessing Overwintering of Grain Crops in the Breeding Process // In: Hu Z., Wang B., Petoukhov S., He M. (eds). Advances in Artificial Systems for Power Engineering II. AIP2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. – 2022. – Vol. 119. Springer, Cham. – DOI: 10.1007/978-3-030-97064-2_6.

7. Рубец В.С., Ворончихина И.Н., Пыльнев В.В., Ворончихин В.В., Маренкова А.Г. Влияние метеорологических условий на качество зерна яровой пшеницы (*Triticum L.*) // Известия ТСХА. – 2021. – № 5. – С. 89–108. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108.

8. Вилунов С.Д., Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Старикова Ж.В., Мальцев А.А. Применение вегетационных индексов в селекции озимой мягкой пшеницы // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 3 (43). – С. 73–83. – DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83.

USE OF VEGETATION INDICES IN WHEAT AND MILLET BREEDING

S.D. VILYUNOV, V.S. SIDORENKO, N.A. STEPANOVA, M.A. SHAPOROVA

(Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops)

*The article presents an approach to data processing that extends critical indices of plant structural analysis by new characteristics of vegetation indices. The ability to detect differences in plant genotype using vegetation indices was confirmed using common millet (*Panicum miliaceum*) as an example. The use of cluster analysis to group the tested breeding lines into clusters with optimal variety characteristics for further breeding work was demonstrated. In 2021...2023, practical results were obtained in the form of transferred new varieties of winter soft wheat (*Triticum aestivum L.*), standing out or having greater productivity in clusters with optimal parameters: Aist Orlovskiy, Zusha, Pamyati Katkova and Akvamarin. The conclusion is drawn on the promising use in the breeding process of groups with reduced tillering based on the variety sample Timiryazevskaya Odnostebel'naya. Promising breeding lines with highly productive ear based on the variety Ferruginum and new forms of Ferruginum and Milturum with high values of vegetative indices in combination with a complex of indicators characterizing yield and grain quality were revealed.*

Keywords: selection indices, vegetation indices, cluster analysis, correlation analysis, structural analysis, wheat, millet, breeding process

References

1. Kocherina N.V., Dragavtsev V.A. Introduction to the theory of ecological and genetic organization of quantitative traits of plants and the theory of selection indices. *Russian Academy of Agricultural Sciences, Agrophysical Research Institute*. St. Petersburg: Salezianskiy Tsentr "Don Bosko", 2008:87. (In Russ.)

2. Filipchenko Yu.A., Lepin T.K. Genetics of soft wheat. Moscow: Sel'khozgiz, 1934:262. (In Russ.)

3. Pyl'nev V.V. Laws of evolution of winter wheat as a result of selection. DSc (Bio) thesis: 06.01.05. Moscow, 1998:364. (In Russ.)
4. Stepanova N.A., Sidorenko V.S., Starikova Zh.V., Kostromicheva V.A. Determination of the productivity of spring soft wheat based on breeding indices. *Legumes and Groat Crops*. 2021;3(39):91–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-91-96>
5. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Justifying the Parameters for an Unmanned Aircraft Flight Missions of Multispectral Aerial Photography. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(3):33–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-33-39>
6. Kurbanov R., Zakharova N., Sidorenko V., Vilyunov S. The Use of Vegetation Indices in Comparison to Traditional Methods for Assessing Overwintering of Grain Crops in the Breeding Process. In: Hu, Z., Wang B., Petoukhov S., He, M. (eds) *Advances in Artificial Systems for Power Engineering II. AIPE2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Springer, Cham. 2022;119. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97064-2_6
7. Rubets V.S., Voronchikhina I.N., Pyl'nev V.V., Voronchikhin V.V., Marenkova A.G. Effect of Weather Conditions on the Quality of Spring Wheat Grain (*Triticum L.*). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2021;5:89–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-5-89-108>
8. Vilyunov S.D., Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Starikova J.V., Mal'tsev A.A. Application of vegetation indices in winter soft wheat breeding. *Legumes and Groat Crops*. 2022;3(43):73–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-3-73-83>

Сергей Дмитриевич Вилунов, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией «Цифровой мониторинг в селекции и семеноводстве» ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»

Владимир Сергеевич Сидоренко, заместитель директора по селекционной работе, канд. с.-х. наук, заведующий лабораторией селекции зерновых крупяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»

Наталья Александровна Степанова, старший научный сотрудник лаборатории селекции зерновых крупяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»

Марина Александровна Шапорова, аспирант, старший лаборант лаборатории селекции зерновых крупяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»

Sergey D. Vilyunov, Senior Research Associate, Head of the Laboratory “Digital Monitoring in Breeding and Seed Production”, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops

Vladimir S. Sidorenko, CSc (Ag), Deputy Director for Breeding Work, Head of the Laboratory of Cereal Crops Breeding, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops (10, b.1, Molodezhnaya Str., twp. Streletskiy, Oryol Region, 302502, Russian Federation)

Natal'ya A. Stepanova, Senior Research Associate, Laboratory of Cereal Crops Breeding, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops (10, b.1, Molodezhnaya Str., twp. Streletskiy, Oryol Region, 302502, Russian Federation)

Matina A. Shapорова, post-graduate student, Senior Assistant, Laboratory of Cereal Crops Breeding, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops (10, b.1, Molodezhnaya Str., twp. Streletskiy, Oryol Region, 302502, Russian Federation)

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД УСКОРЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ F1-ГИБРИДОВ ЯРОВОГО РАПСА НА ОСНОВЕ ЦМС

А.В. ВИШНЯКОВА¹, Г.Ю. ГАУС¹, А.А. АЛЕКСАНДРОВА¹,
Г.Ф. МОНАХОС², С.Г. МОНАХОС¹

(¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;
²ОО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева»)

Создание гетерозисных F1-гибридов ярового рапса является наиболее эффективным подходом к решению проблемы повышения продуктивности рапса, также обеспечивает более эффективный возврат средств в селекцию. Ускоренное создание гетерозисных гибридов обеспечивается комплексом современных биотехнологических и молекулярно-генетических методов. Для осуществления контроля гибридизации при промышленном производстве семян F1-гибридов и дополнительной защиты авторских прав селекционера используют цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС). Быстро определить тип ЦМС, выделить линии – восстановители и закрепители стерильности – позволяют молекулярно-генетические маркеры. В комбинации с производством удвоенных гаплоидов и использованием защищенного грунта для создания материнских линий интенсивность и скорость селекционного процесса можно увеличить в 2–3 раза.

В данной работе мы провели генотипирование образцов ярового рапса зарубежной селекции с использованием молекулярно-генетического маркера ORF138 на тип цитоплазмы Oigira и разделили коллекцию на две группы по наличию и отсутствию маркера. Фертильные линии удвоенных гаплоидов (ЛУГ), произведенные из образца с цитоплазмой Oigira, определили для использования в качестве восстановители фертильности, а ЛУГ из образца с иной цитоплазмой – в качестве закрепителя стерильности для создания материнских мужских стерильных линий на основе ЦМС Oigira.

Линии удвоенных гаплоидов оценили в полевом испытании по основным хозяйственно-ценным признакам, 30 отцовских линий восстановителей и 4 ранее созданных мужских стерильных линий были вовлечены в гибридизацию для создания гибридов и оценки комбинационная способности линий. В результате по комплексу признаков и свойств были выделено 3 фертильные линии Дж30, Дж26, Дж24 и Ки1мс для селекции гетерозисных гибридов на основе ЦМС Oigira и 5 перспективных гибридных комбинаций для станционного испытания.

Ключевые слова: рапс яровой, линии удвоенных гаплоидов, ускоренная селекция, обшая комбинационная способность, продуктивность, ЦМС Oigira, молекулярный маркер.

Введение

Создание гетерозисных F1-гибридов ярового рапса является наиболее эффективным подходом к решению проблемы повышения продуктивности рапса и основным направлением селекции во всем мире [18]. Brandt et al. сообщают, что урожайность семян F1-гибридов рапса примерно на 30% выше, чем урожайность сортов [12]. В России площади под яровым рапсом в 2023 г., по данным Ассоциации производителей и переработчиков рапса [10], составили 1582 тыс. га, что говорит о большой потребности в семенном материале данной культуры. В производстве востребованы гетерозисные гибриды зарубежной селекции, доля которых составляет более 50% [4], а также сорта российской селекции [5]. Ведущими научными учреждениями, выполняющими селекционные программы по рапсу в России, являются ФНЦ ФНИИМК

им. В.С. Пустовойта, Липецкий НИИ рапса (филиал ФНЦ ФНИИМК) и ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса».

Селекционные программы по созданию сортов рапса в России были начаты в 70-е гг. и успешно реализуются в настоящее время, в то время как программы по созданию гетерозисных F1-гибридов получили развитие только в последние годы [7]. Создание конкурентоспособных F1-гибридов связано с необходимостью внедрения современного инструментария: климатических камер, генетических платформ, молекулярно-генетических маркеров, биотехнологических методов создания исходного материала, что требует дополнительных инвестиций в селекцию [5]. При внедрении подобных инноваций скорость селекционного процесса возрастает за счет сокращения срока производства родительских линий и возможности целенаправленного подбора генотипов с использованием молекулярно-генетических маркеров.

Использование молекулярно-генетических маркеров при оценке исходного материала дает возможность быстро определить генотип растения, не прибегая к анализирующим скрещиваниям в течение нескольких лет [8], и определить потенциальные отцовские и материнские линии при создании гибрида на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). Использование ЦМС позволяет проводить контролируемую гибридизацию отцовских и материнских линий, что упрощает процесс семеноводства и создает дополнительную защиту авторских прав селекционера [1].

Для сокращения срока создания родительских линий в гетерозисной селекции рапса широко используются гаплоидные технологии [9, 17]. Оценка селекционной ценности и отбор линий удвоенных гаплоидов (ЛУГ) являются важной селекционной задачей. При оценке селекционной ценности линий удвоенных гаплоидов используют следующие подходы: оценка ЛУГ по урожайности или продуктивности и содержанию масла в семенах и качеству масла [2], оценка комбинационной способности [9] и оценка по генетическим дистанциям (родству) [19]. Каждый из подходов имеет свои достоинства и недостатки, так как оценка только по хозяйственно-ценным признакам не дает представления о ценности линии как родителя F1-гибрида, но позволяет оценить семенную продуктивность линии, что важно при семеноводстве. Оценка комбинационной способности в полной диаллельной схеме скрещивания, несомненно, является наиболее информативной, но трудоемкой и невозможной, если нужно определить ценность материнских линий на основе ЦМС или большое число линий. Оценка селекционной ценности линий и их гибридных комбинаций на основе генетического родства, устанавливаемого с использованием молекулярных маркеров, равно как и геномная селекция рапса, на современном этапе развития селекции в России является пока нераспространенной.

В исследованиях использовался комплексный подход, заключающийся в определении типа цитоплазмы исходного материала, из которого получаем линии удвоенных гаплоидов в первичном отборе ЛУГ по хозяйственно-ценным признакам и дальнейшую оценку комбинационной способности при скрещивании двух групп генотипов. Такой подход позволяет определить потенциальные отцовские и материнские формы, произвести выбраковку линий с низкой семенной продуктивностью и определить ценность линии по комбинационной способности.

Цель исследований: оценить эффективность комплексного подхода создания гетерозисных F1-гибридов ярового рапса при молекулярно-генетической оценке исходной генетической коллекции для создания линий удвоенных гаплоидов и последующей оценке их селекционной ценности в полевом испытании, при проведении анализа хозяйственно-ценных признаков и общей комбинационной способности.

Для достижения цели необходимо оценить генотипы исходных растений на наличие цитоплазматических генов мужской стерильности и определить потенциальные

доноры генов – восстановителей и закрепителей – мужской стерильности. Следующим этапом является производство удвоенных гаплоидов в культуре изолированных микроспор и размножение удвоенных гаплоидов. Затем линии удвоенных гаплоидов оценивали в полевых испытаниях по хозяйственно-ценным признакам, после чего проводится анализ общей комбинационной способности и устанавливаются взаимосвязи между признаками.

Материал и методы исследований

Растительный материал представлен генетической коллекцией образцов ярового рапса (*B. napus* L.) зарубежного происхождения от ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева»: Вигг, СРХгг, Когг, Цегг, Клгг, Кагг, ИНВ300гг, ИНВ210гг, Джгг, Магг.

ДНК образцов выделяли СТАВ-методом [15] с заморозкой жидким азотом. Генотипирование коллекции образцов рапса на тип цитоплазмы *Ogura* проводили с использованием маркера ORF138. ПЦР проводили в объеме 10 мкл, в состав реакционной смеси входили: 1 мкл ДНК-матрицы; по 0,4 мкл каждого праймера; 1 мкл 10-кратного ПЦР-буфера с $MgCl_2$; 0,4 мкл раствора нуклеотидов (dNTP); 0,1 мкл Taq-полимеразы; 6,8 мкл дистиллированной воды. Амплификацию проводили BioRad T100 Thermal Cycler («BioRad», США). Визуализацию результатов ПЦР осуществляли с помощью системы гель-документации «ChemiDoc XRS+» («BioRad», США) после разделения продуктов амплификации с добавлением красителя GelRed в 1,2%-ном агарозном геле в 0,5×TBE-буфере. Размеры амплифицированных фрагментов определяли в сравнении с маркером молекулярного размера «DNA Ladder 100+ bp» (ЗАО Евrogen, Россия).

Линии удвоенных гаплоидов из образцов рапса Джгг и Магг были произведены в культуре изолированных микроспор [3]. После пересадки в грунт растения выращивали в кассетах с объемом ячеек 80 см³ в защищенном грунте, анализировали их плоидность на поточном цитометре Sysmex CyFlow Cube 8, после чего удвоенные гаплоиды пересаживали в 3-литровые горшки, в которых растения доводили до цветения и путем принудительного самоопыления получали семена.

Полевые испытания 78 фертильных линий удвоенных гаплоидов (ЛУГ) и их гибридных комбинаций проводили в 2022–2023 гг. на территории ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в г. Москве. Для оценки комбинационной способности были проведены скрещивания двух групп генотипов 30 ЛУГ из Джгг и мужскистерильных линий Ма1мс, Ма2мс, Ма3мс, Ки1мс. В результате было получено 117 гибридных комбинаций. В качестве стандартов в испытании использовали F1 Джаз и F1 Ахат.

Испытания линий удвоенных гаплоидов и гибридных комбинаций на их основе проводили в однорядковых делянках методом рендомизированных повторений в двукратной повторности. Посев семян производили в кассеты, наполненные торфяным субстратом, высадку рассады в поле осуществляли на 20-й день от появления всходов по схеме 15 × 50 см. Перед высадкой рассады производили внесение азофоски под фрезерование из расчета 200 кг/га. После высадки рассады проводили однократную обработку гербицидом Галера с нормой расхода 0,3 л, кг/га. Оценку хозяйственно-ценных признаков линий и гибридных комбинаций производили по методике госкомиссии по сортоиспытанию и охране селекционных достижений [6].

Статистический анализ данных проводили с использованием алгоритма однофакторного дисперсионного анализа. Фенотипическое разнообразие группы линий удвоенных гаплоидов определяли для основных хозяйственно-ценных признаков, используя такие параметры, как коэффициент вариации (cv) и размах

вариации ($lim_{min}-lim_{max}$). Для анализа взаимосвязей между признаками использовали коэффициент корреляции Пирсона (r). Анализ общей комбинационной способности линий проводили по методу, отраженному в работе [11].

Результаты и их обсуждение

Дифференциация генетической коллекции образцов ярового рапса была проведена с использованием молекулярного маркера ORF138 для идентификации системы ЦМС типа Oguга (рис. 1). Генотипы были подразделены на 2 группы с цитоплазмой Oguга и иным типом цитоплазмы. В дальнейшем генотипы с цитоплазмой Oguга были использованы для создания линий-восстановителей фертильности, а генотипы второй группы – как доноры признака закрепителя стерильности на генотипах с цитоплазмой Oguга.

Маркерные фрагменты цитоплазмы типа Oguга были обнаружены у генотипов Вигг, СРХгг, Когг, Цегг, ИНВ300гг, ИНВ210гг, Джгг (рис. 1). Генотипы Клгг, Кагг и Магг имели иной тип цитоплазмы.

Для производства популяций линий удвоенных гаплоидов были выбраны генотипы Джгг и Магг, различающиеся типами цитоплазмы в соответствии с данными молекулярно-генетического анализа. Генотипы отличались по отзывчивости микроспор к эмбриогенезу в культуре изолированных микроспор и частоте прорастания/регенерации эмбриоидов в проростки (табл. 1).

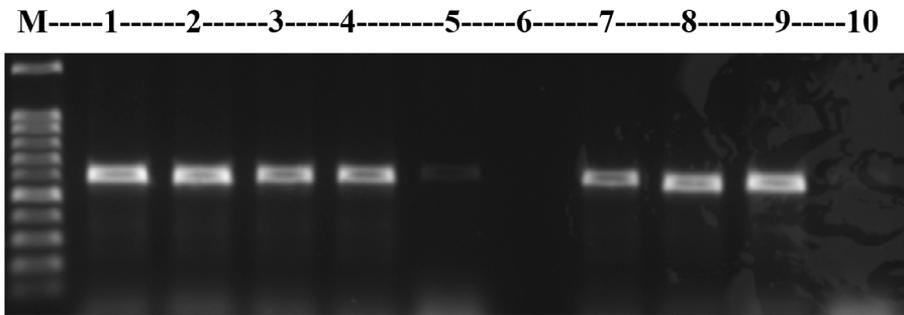


Рис. 1. Электрофореграмма результатов амплификации ДНК образцов рапса с праймерами Orf138-F1 и Orf138-R молекулярного маркера ЦМС типа Oguга: 1 – Вигг; 2 – СРХгг; 3 – Когг; 4 – Цегг; 5 – Клгг; 6 – Кагг; 7 – ИНВ300гг; 8 – ИНВ210гг; 9 – Джгг; 10 – Магг; М – маркер размеров

Таблица 1

Характеристика генотипов ярового рапса по частоте эмбриогенеза, прорастания/регенерации проростков и спонтанного удвоения числа хромосом и конечный выход линий удвоенных гаплоидов в культуре изолированных микроспор

Образец	Среднее число эмбриоидов, шт/100 бут.	Частота прорастания/регенерации эмбриоидов, %	Частота спонтанного удвоения хромосомного набора, %	Количество линий удвоенных гаплоидов, шт.
Джгг	1876±332	52,3	23	70
Магг	334±12	71,1	23,5	8

У образца Джгг было получено 70 фертильных удвоенных гаплоидов, что почти в 9 раз больше, чем у образца Магг. Это объясняется генотипспецифичностью и более высокой эмбриогенной отзывчивостью микроспор образца Джгг. Частота прорастания/регенерации эмбриоидов в проростки, частота спонтанного удвоения хромосомных наборов и завязываемость семян от самоопыления внесли меньший вклад в конечный выход линий удвоенных гаплоидов (ЛУГ) выбранных образцов.

Оценка проявления хозяйственно-ценных признаков, высоты растений, числа побегов первого порядка, длины стручка, продуктивности и массы 1000 семян выявила существенную разницу между изучаемыми линиями удвоенных гаплоидов как между популяциями, так и внутри популяций ЛУГ (табл. 2).

Средняя высота растения линий удвоенных гаплоидов, произведенных из Джгг, составляла 90 см, произведенных из F1 Магг – 71 см. Показатели линий достаточно сильно варьировали по средней высоте растения (табл. 2). Высоту существенно выше средней имели 30 ЛУГ, из них 11 линий превышали по высоте исходный образец Джгг; 3 ЛУГ из Магг имели высоту выше среднего, при этом линий выше Магг не было. Ориентироваться при выборе линии только на высоту растения нецелесообразно, так как отсутствуют сильные корреляции между высотой растения и другими хозяйственно-ценными признаками (табл. 3), а также устойчивость к полеганию ($r = 0,3$). Высокой устойчивостью к полеганию отличались только 13% изученных линий удвоенных гаплоидов, которые не полегали при сильном ливне и продолжили расти вертикально ко времени уборки.

Среднее число побегов первого порядка у изучаемых ЛУГ варьировало от 4,5 до 9,0 шт/растение. Сильным ветвлением (больше 7 побегов на растении) отличались 28% изученных линий, слабым ветвлением (менее 5 побегов на растении) – 8% линий. Наблюдали корреляционную связь средней силы между числом побегов первого порядка и длиной стручка, слабые связи – между числом побегов первого порядка, продуктивностью и массой 1000 семян (табл. 3).

Таблица 2

Характеристика проявления хозяйственно-ценных признаков популяций линий удвоенных гаплоидов, созданных на основе образцов Джгг и Магг

Размах варьирования признаков		Наименование донорного образца/число ЛУГ, шт.	
		Джгг/70	Магг/8
Высота	Cv	14%	10%
	lim _{min} -lim _{max}	55–117	61–81
Число побегов первого порядка	Cv	16%	13%
	lim _{min} -lim _{max}	4,5–9,1	4,9–7,0
Длина стручка	Cv	12%	25%
	lim _{min} -lim _{max}	1,8–4,8	3,4–6,2
Продуктивность, семян с одного растения	Cv	84%	91%
	lim _{min} -lim _{max}	0,1–7,7	0,1–0,6
Масса 1000 семян	Cv	14%	36%
	lim _{min} -lim _{max}	3,1–5,7	1,1–5,6

**Линейные корреляционные связи
между хозяйственно-ценными признаками ярового рапса**

Признак	Высота растения	Число побегов первого порядка	Продуктивность	Масса 1000 семян	Длина стручка
Число побегов первого порядка	-0,15*	–	–	–	–
Продуктивность	0,24*	0,29*	–	–	–
Масса 1000 семян	0,12	-0,32*	-0,13*	–	–
Длина стручка	-0,26*	0,41*	0,35*	-0,34*	–
Семян в стручке	-0,15*	0,25*	-0,41*	-0,41*	0,67*

*Корреляция достоверна при уровне значимости $P = 0,05$.

Длина стручка у ЛУГ из Джгг варьировала от 1,8 до 4,8 см, у ЛУГ из Магг – от 3,4 до 6,2 см. Линии-удвоенные гаплоиды, полученные из Магг, отличались более длинными стручками, которые у отдельных генотипов достигали 5–6 см. Длина стручка достоверно связана с числом семян в стручке (табл. 3) и при этом имеет отрицательную линейную связь слабой силы с массой 1000 семян.

Продуктивность изученных ЛУГ сильно варьирует (табл. 2). Это связано как с инбредной депрессией растений при переводе генов в гомозиготное состояние, так и с такими признаками, как осыпаемость семян, что приводит к потерям урожая при уборке. Не наблюдали осыпания семян при уборке в полной спелости у 24 ЛУГ, произведенных из Джгг. Линии, произведенные из F1 Магг, были более подвержены осыпанию семян при уборке.

Признак массы 1000 семян участвует в формировании продуктивности и имеет среднюю вариацию среди ЛУГ, произведенных из F1 Джгг, и сильную вариацию среди линий, произведенных из F1 Магг (табл. 2). Отрицательные корреляционные связи слабой силы (табл. 2) наблюдали между массой 1000 семян и признаками числа побегов первого порядка, длины стручка и количества семян в стручке.

Оценку общей комбинационной способности (ОКС) проводили при скрещивании двух групп генотипов. В скрещивании участвовало 30 отцовских ЛУГ, полученных из Джгг, и 4 материнские мужскостерильные линии: Ки1мс, Ма1мс, Ма2мс, Ма3мс (табл. 4).

Эффект общей комбинационной способности ЛУГ значительно варьировал по признакам высоты растения, продуктивности растения и количества семян в стручке (табл. 4). Высокий положительный эффект ОКС по признаку «Высота растения» был достигнут у линий Дж18, Дж22, Дж24, Дж28, Дж9. Высокий отрицательный эффект ОКС показали линии Дж29, Дж27, Дж1, Дж12, Дж19, которые рекомендуется использовать в качестве отцовских при необходимости создания низкорослых F1-гибридов. Высоким эффектом ОКС по продуктивности отличались 16 линий: Дж25, Дж24, Дж21, Дж17, Дж13, Дж30, Дж26, Дж23, Дж20, Дж10, Дж14, Дж18, Дж9, Дж28, Дж5, Дж29. Данные линии рекомендуется использовать в качестве отцовских при селекции на повышение продуктивности. Линии, оказавшие низкий эффект ОКС по продуктивности Дж16, Дж1, Дж12, предпочтительно исключить из дальнейшего селекционного процесса. Высокий эффект ОКС по признаку «Количество семян в стручке» оказали отцовская линия Дж20 и материнская линия Ки1мс. Низкий эффект ОКС по данному признаку характерен для линий Дж22, Дж15, Дж8, Дж16.

**Общая комбинационная способность родительских линий
по основным хозяйственно-ценным признакам**

Название линии	Эффект ОКС по признаку					
	число побегов первого порядка, шт.	высота растения, см	масса 1000 семян, г	продуктивность, г/раст.	длина стручка, см	число семян в стручке, шт.
Дж1	-0,61	-7,06	0,10	-2,36	0,30	1,17
Дж2	-1,02	-3,90	-0,11	-0,86	0,23	-0,61
Дж4	-0,14	-3,25	0,00	-0,03	0,18	-0,37
Дж5	0,20	-1,85	-0,08	0,08	0,17	0,21
Дж6	-0,23	-2,51	0,16	-1,58	0,15	0,48
Дж8	0,44	3,20	0,29	-1,67	0,15	-4,15
Дж9	-0,13	7,45	0,02	0,31	0,13	1,06
Дж10	0,41	4,59	0,00	0,63	0,12	1,96
Дж11	-0,05	2,37	-0,01	-1,12	0,12	0,73
Дж12	0,01	-8,01	-0,32	-2,37	0,11	1,47
Дж13	0,24	2,56	0,13	1,55	0,07	-0,59
Дж14	0,41	-3,21	0,22	0,56	0,06	-1,09
Дж15	0,67	-0,37	0,18	-0,03	0,05	-2,73
Дж16	0,45	-3,23	0,03	-2,21	0,05	-5,06
Дж17	0,00	1,84	-0,04	1,62	0,03	1,70
Дж18	-0,60	9,73	0,01	0,38	0,03	0,54
Дж19	0,68	-11,37	-0,22	-1,38	0,03	1,52
Дж20	-0,17	-1,63	-0,29	0,92	-0,01	3,61
Дж21	0,17	-0,41	-0,30	1,93	-0,04	-0,43
Дж22	-0,16	7,40	-0,09	-0,29	-0,04	-2,27
Дж23	0,30	-0,78	-0,13	1,08	-0,05	-0,66
Дж24	-0,49	7,97	0,09	1,94	-0,06	0,01
Дж25	0,15	3,91	0,12	2,66	-0,07	-0,05
Дж26	0,18	-2,25	0,21	1,20	-0,14	0,48

Дж27	0,12	-5,80	0,10	-0,58	-0,14	1,51
Дж28	-0,57	8,33	0,04	0,24	-0,24	0,59
Дж29	-0,01	-5,73	-0,13	0,03	-0,25	1,41
Дж30	-0,05	3,74	0,13	1,50	-0,25	1,56
Дж31	0,45	0,73	-0,28	-1,23	-0,28	-0,94
Дж32	-0,63	0,40	0,29	-0,05	-0,31	-1,33
Ки1мс	0,05	1,47	-0,35	2,02	0,14	2,02
Ма1мс	0,19	0,66	0,05	-1,80	0,05	-0,13
Ма2мс	-0,10	-0,71	0,10	-0,36	-0,17	-1,79
Ма3мс	-0,15	-1,55	0,22	0,13	-0,03	-0,17

Корреляционные связи между эффектом ОКС и проявлением признака ЛУГ выявлены для признаков «Высота растений» (сильная положительная корреляционная связь, $r = 0,9$) и «Число побегов первого порядка» (положительная корреляционная связь средней силы, $r = 0,5$). По признакам «Высота растения» и «Число побегов первого порядка» возможен отбор линий с высокой комбинационной способностью при испытании линий на хозяйственно-ценные признаки.

Семенная продуктивность растений – один из ключевых признаков для выбора перспективных гибридных комбинаций и их стационарного испытания. В таблице 5 представлена средняя продуктивность 117 гибридных комбинаций ярового рапса, произведенных на основе гибридизации фертильных ЛУГ и мужскистерильных линий Ки1мс, Ма3мс, Ма2мс, Ма1мс. Средняя продуктивность стандартов F1 Джаз и F1 Ахат составила 17,7 и 18,7 г/растение соответственно.

Продуктивность гибридных комбинаций варьировала от 4,5 г/раст. у Ма1мс×Дж16 до 18,7 г/раст. у Ки1мс×Дж21 (табл. 5). Гибридных комбинаций, значимо превышающих по продуктивности F1 Джаз и F1 Ахат, не было. Продуктивностью на уровне стандарта F1 Джаз обладала 41 гибридная комбинация, на уровне F1 Ахат – 63 гибридные комбинации.

У лучших гибридных комбинаций и стандартов в биохимической лаборатории были оценены масличность семян, содержание эруковой кислоты и содержание глюкозинолатов (табл. 6).

В наших условиях содержание масла в семенах у стандартов F1 Джаз и F1 Ахат составляло 36,3 и 45,1% соответственно. Масличность испытываемых гибридных комбинаций варьировала от 36,8 до 39,0%, что ниже, чем у F1 Ахата, но на уровне F1 Джаз. Содержание эруковой кислоты и глюкозинолатов у всех гибридных комбинаций и стандартов находилось в пределах допустимых значений для рапса пищевого назначения типа «00».

Надежность маркера Orf138 для определения цитоплазмы типа *Ogura* у разных видов *Brassica*, включая рапс, показана в работах ряда исследователей [8, 14, 16]. В наших исследованиях данный маркер позволил дифференцировать коллекцию образцов ярового рапса по типу цитоплазмы *Ogura* и подразделить их на группы.

Таблица 5

Семенная продуктивность гибридных комбинаций ярового рапса, г/растение

Материнские линии Отцовские линии	Ки1мс	Ма3мс	Ма2мс	Ма1мс
Дж25	14,4	13,3	14,9	11,5
Дж24	17,4	–	7,8	13,3
Дж21	18,7	13,4	8,2	10,9
Дж17	12,3	13,5	12,8	11,4
Дж13	15,2	12,6	9,7	12,2
Дж30	14,6	5,9	–	16,6
Дж26	14,2	15,0	12,8	6,4
Дж23	15,3	14,5	9,4	8,6
Дж20	11,9	11,9	13,1	10,3
Дж10	12,3	11,9	10,8	11,1
Дж14	16,4	8,6	11,3	9,5
Дж18	12,4	13,2	12,7	6,8
Дж9	12,6	11,9	11,9	8,4
Дж28	17,6	12,9	8,0	6,0
Дж5	14,3	10,7	11,4	7,4
Дж29	15,5	7,9	11,2	9,1
Дж15	15,5	–	9,6	7,4
Дж4	12,0	13,2	11,3	6,8
Дж32	11,9	7,2	11,7	12,6
Дж22	15,0	8,5	10,8	8,1
Дж27	9,4	12,8	11,0	8,0
Дж2	6,8	14,0	11,9	7,4
Дж11	14,7	6,4	11,1	6,9
Дж31	12,2	6,5	8,0	11,9
Дж19	7,4	8,6	10,3	11,6
Дж6	8,9	9,8	11,5	7,0
Дж8	10,4	10,9	7,6	7,9
Дж16	11,5	9,4	9,2	4,5
Дж1	6,7	14,4	8,1	4,9
Дж12	9,5	9,4	7,2	8,0

Примечание. НСР = 6,7 г/раст.

**Характеристика лучших гибридных комбинаций и стандартов
F1 Джаз и F1 Ахат по семенной продуктивности, содержанию масла в семенах,
содержанию эруковой кислоты и глюкозинолатов**

Гибридная комбинация	Продуктивность, г/раст.	Содержание масла в семенах, %	Содержание эруковой кислоты, %	Содержание глюкозинолатов, мкм/г
Ки1мс×Дж21	18,7 а	37,0 а	0,174	8,15
Ки1мс×Дж28	17,6 а	39,0 ab	0,426	6,98
Ки1мс×Дж24	17,4 а	36,8 а	0,338	11,55
Ма1мс×Дж30	16,6 а	37,0 а	0,508	5,79
Ки1мс×Дж14	16,4 а	37,0 а	0,286	9,37
F1 Ахат	17,7 а	45,1 b	0,362	8,18
F1 Джаз	18,8 а	36,3 а	0,405	7,33

Примечание. Значения в столбце, отмеченные одинаковыми строчными буквами (а, b), согласно t-критерию Стьюдента не имеют существенного различия на 5%-ном уровне значимости ($P \leq 0.05$).

Количество произведенных линий удвоенных гаплоидов в культуре изолированных микроспор зависит в первую очередь от генотипа растения донора микроспор [13], такую же тенденцию наблюдали в наших исследованиях. Эмбриогенная компетентность микроспор у Джгг (1876 ± 332 эмбриоидов/100 бутонов) была почти в 6 раз выше, чем у Магг (334 ± 12 эмбриоидов/100 бутонов). При этом частота прорастания/регенерации эмбриоидов в проростки была выше у Магг (71% против 52% у Джгг), в результате чего было произведено 8 фертильных ЛУГ из Магг и 70 фертильных ЛУГ из Джгг.

Полевые испытания линий удвоенных гаплоидов ярового рапса по хозяйственно-ценным признакам проводили Бочкарева и др. [2]. В результате испытаний исследователями из 200 ЛУГ было выбрано 9 для включения в дальнейший селекционный процесс с целью создания сортов и гибридов [2], при этом оценку комбинационной способности линий не проводили. Исследователи [9, 19] предпочитают проводить оценку комбинационной способности линий в полной диаллельной схеме скрещиваний, что оправдано при создании двухлинейных гибридов и дает больше информации о вкладе генетических эффектов линий. При создании трехлинейных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности, на наш взгляд, более целесообразной является оценка комбинационной способности линий при скрещивании двух групп генотипов. В результате комплексной оценки линий по хозяйственно-ценным признакам и комбинационной способности нами были выделены 3 отцовские линии и 1 материнская мужскостерильная линия для включения в дальнейший селекционный процесс при создании гетерозисных гибридов на базе ЦМС.

Исследователи применяют разные подходы к отбору перспективных образцов: российские авторы [2, 9] используют урожайность как основной показатель для отбора ценных образцов; Xing et al. [19] ориентируются на продуктивность, Wolko et al. [18] – на связанные с урожайностью признакам массы 1000 семян, длины стручков,

количества стручков на растении. Нами для отбора перспективных образцов использовался показатель продуктивности. Оценка по продуктивности одного растения не позволяет в полной мере охарактеризовать ценность гибридной комбинации, но делает возможным сократить объем стационарного испытания. Для дальнейшего стационарного испытания нами было отобрано только 4,3% изученных гибридных комбинаций.

Выводы

Реализованный комплексный подход к созданию и изучению генетической коллекции с использованием молекулярно-генетических маркеров, ДН-технологий, защищенного грунта для ускоренного размножения и создания стерильных аналогов линий удвоенных гаплоидов, отбор линий с высокой семенной продуктивностью по результатам полевых испытаний на малых делянках и оценка комбинационной способности лучших ЛУГ позволили в период с 2021 по 2023 гг. произвести 78 линий удвоенных гаплоидов ярового рапса, выделить селекционно-ценные, с высокой комбинационной способностью, экономически ценные признаки, а также выделить 5 перспективных гибридных комбинаций для расширенного стационарного сортоиспытания.

Показано, что использование одного тесно сцепленного с интересующим фенотипом молекулярного маркера на тип цитоплазмы *Ogura* достаточно, чтобы разделить коллекцию исходного селекционного материала на группы, в которых образцы с цитоплазмой *Ogura* использовали как доноры гена-восстановителя фертильности, а генотипы с иным типом цитоплазмы – как доноры закрепления стерильности типа *Ogura*.

Количество произведенных линий удвоенных гаплоидов (ЛУГ) в культуре изолированных микроспор зависело в первую очередь от генотипспецифичной эмбрионной компетентности микроспор: у высокоотзывчивого генотипа Джгг (1876±332 эмбриоидов/100 бутонов) было получено 70 ЛУГ, у среднеотзывчивого генотипа Магг (334±12 эмбриоидов/100 бутонов) – 8 ЛУГ.

Выбраковка линий с низкой семенной продуктивностью и высокой осыпаемостью семян при полевом испытании позволила существенно снизить число ЛУГ, вовлеченных в скрещивания для оценки комбинационной способности. После полевой оценки линий удвоенных гаплоидов для дальнейшей гибридизации было допущено только 40% изученных ЛУГ.

Тесные корреляционные связи между признаками линий и эффектом ОКС удалось установить для признаков «Высота растения» ($r = 0,9$) и «Число побегов первого порядка» ($r = 0,5$), что делает необходимым проведение гибридизации для оценки эффектов общей комбинационной способности по признакам «Продуктивность», «Масса 1000 семян», «Длина стручка».

Комплексом положительного эффекта ОКС по признакам продуктивности, массы 1000 семян, длины стручка, количества семян в стручке обладали линии Дж30, Дж26, Дж24. Кроме того, линия Дж26 оказала небольшой отрицательный эффект ОКС по высоте растения (–2,25 см), небольшой положительный эффект ОКС – по ветвистости (0,2 шт/раст.), что делает ее ценной в селекции для создания гетерозисных гибридов. Среди материнских линий по эффекту комбинационной способности по всем признакам выделилась только линия Ки1мс.

Линия Дж26 характеризуется высокой продуктивностью (6,1 г/раст.) и высокой массой 1000 семян (5,17 г). Высота линии составляла 83 см. Линии Дж30 и Дж24 имеют среднюю продуктивность на уровне 1 г с растения, массу 1000 семян 3,6 и 4,5 г соответственно, средняя высота растений достигает 88 и 103 см соответственно.

Для дальнейшего включения в селекционный процесс рекомендуются линии удвоенных гаплоидов Дж30, Дж26, Дж24 и линия Ки1мс.

В результате конкурсного испытания выделены 5 гибридных комбинаций. Их продуктивность находится на уровне стандартов F1 Джаз и F1 Ахат, масличность – выше стандарта F1 Джаз, низким является содержание эруковой кислоты и глюкозинолатов, что позволяет отнести их к гибридам типа «00». Данные гибриды рекомендованы для стационарного испытания с перспективой передачи на государственное сортоиспытание.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075–15–2022–745 от 13 мая 2022 г., заключенного по гранту МК-3440.2022.5.

Библиографический список

1. Анисимова И.Н., Дубовская А.Г. Системы ЦМС у рапса и их использование в селекции отечественных гибридов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – Т. 181, № 3. – С. 171–180. – DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180.
2. Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Селекционная ценность дигаплоидных линий рапса ярового (*Brassica napus* L.) // Масличные культуры. – 2019. – № 4 (180). – С. 18–22. – DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-18-22.
3. Вишнякова А.В., Александрова А.А., Монахов С.Г. Факторы прямого прорастания микроспорогенных эмбриоидов *Brassica Napus* L // Известия ТСХА. – 2022. – № 6. – С. 43–53. – DOI: 10.26897/0021-342X-2022-6-43-53. – EDN BIFBSL.
4. Гончаров С.В., Долгих Л.А. Переформатирование рынка семян рапса в СНГ за последние 30 лет // Актуальные проблемы агрономии современной России и пути их решения. – 2018. – С. 113–120.
5. Гончаров С.В., Горлова Л.А. Масличные культуры: новые вызовы и тенденции их развития // Масличные культуры. – 2018. – № 2 (174). – С. 96–100. – DOI: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-96-100.
6. Головачев В.И. Методика сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – Москва: Калининская областная типография управления издательств типографии и книжной торговли Калининского облисполкома, 1983. – 184 с.
7. Горлова Л.А., Бочкарева Э.Б., Стрельников Е.А., Сердюк В.В. Использование классических и современных методов в селекции рапса (*Brassica napus*) во ВНИИМК // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – Т. 180, № 4. – С. 126–131. – DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-126-131.
8. Домблидес Е.А., Домблидес А.С., Заячковская Т.В., Бондарева Л.Л. Определение типа цитоплазмы у растений семейства Капустные (*Brassicaceae* Burnett) с помощью ДНК маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 5. – С. 529–537. <https://doi.org/10.18699/VJ15.069>.
9. Карпачев В.В., Пастухов И.О. Оценка комбинационной способности андроклиных линий ярового рапса в диаллельных скрещиваниях // Масличные культуры. – 2017. – № 1 (169). – С. 40–42.
10. РАСРАПС: Ассоциация производителей и переработчиков рапса. – URL: <https://rosraps.ru/ru/> (дата обращения: 12.10.2023).
11. Савченко В.К. Многоцелевой метод количественной оценки комбинационной способности в селекции на гетерозис // Генетика. – 1978. – Т. 5. – С. 793.
12. Brandt S.A., Malhi S.S., Ulrich D., Lafond G.P., Kutcher H.R., Johnston A.M. Seeding rate, fertilizer level and disease management effects on hybrid versus open pollinated canola (*Brassica napus* L.) // Canadian Journal of Plant Science. – 2007. – Т. 87, № 2. – С. 255–266. – DOI: 10.4141/P05-223.

13. Corral-Martínez P., Camacho-Fernandez C., Mir R., Seguí J.M. Simarro Doubled haploid production in high-and low-response genotypes of rapeseed (*Brassica napus*) through isolated microspore culture // Doubled haploid technology. – Humana: New York, NY, 2021. – C. 129–144.

14. Grelon M., Budar F., Bonhomme S., Pelletier G. Ogura cytoplasmic male-sterility (CMS)-associated orf138 is translated into a mitochondrial membrane polypeptide in male-sterile *Brassica* cybrids // Molecular and General Genetics MGG. – 1994. – T. 243. – C. 540–547.

15. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA / M.G. Murray, W.F. Thompson // Nucleic acids research. – 1980. – T. 8, № 19. – C. 4321–4326.

16. Singh S., Bhatia R., Kumar R., Behera T.K., Kumari K., Pramanik A., Ghemera H., Sharma K., Bhattacharya R.C., Dey S.S. Elucidating mitochondrial DNA markers of Ogura-based CMS lines in Indian cauliflowers (*Brassica oleracea* var. botrytis L.) and their floral abnormalities due to diversity in cytonuclear interactions // Frontiers in Plant Science. – 2021. – T. 12. – C. 631489. – DOI: 10.3389/fpls.2021.631489.

17. Rahman M., de Jiménez M.M. Behind the scenes of microspore-based double haploid development in *Brassica napus*: A review // J. Plant Sci. Mol. Breed. – 2016. – T. 5, № 1. – DOI: 10.7243/2050-2389-5-1.

18. Wolko J., Dobrzycka A., Bocianowski J., Bartkowiak-Broda I. Estimation of heterosis for yield-related traits for single cross and three-way cross hybrids of oil-seed rape (*Brassica napus* L.) // Euphytica. – 2019. – T. 215, № 10. – C. 156. – DOI: 10.1007/s10681-019-2482-6.

19. Xing N., Fan C., Zhou Y. Parental selection of hybrid breeding based on maternal and paternal inheritance of traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) // PLoS One. – 2014. – T. 9, № 7. – C. e103165. – DOI: 10.1371/journal.pone.0103165.

INTEGRATED APPROACH FOR ACCELERATED BREEDING OF SPRING RAPESEED F1-HYBRIDS BASED ON CMS

A.V. VISHNYAKOVA¹, G.U. GAUS¹, A.A. ALEKSANDROVA¹,
G.F. MONAKHOS², S.G. MONAKHOS¹,

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

²B reeding station named after N.N. Timofeev)

The breeding of F1-hybrids of spring rapeseed is the most effective approach to solving the problem of increasing rapeseed yield, as well as provides a more effective return on investment in breeding. Accelerated breeding of heterosis hybrids is provided by a complex of modern biotechnological and molecular-genetic methods. Cytoplasmic male sterility (CMS) is used to control hybridization in the industrial production of F1-hybrid seeds and for additional copyright protection. Molecular-genetic markers allow rapid determination of the type of CMS and differentiation between the lines of fertility restorers and sterility maintainers. By combining double haploid production and indoor planting for the development of maternal lines, the intensity of the breeding process can be increased by 2–3 times.

In this research, we have genotyped a germplasm collection of foreign spring rape using the molecular marker ORF138 for the Ogura cytoplasm and divided the collection into two groups according to the presence or absence of the marker. Subsequently, doubled haploid lines (DHL) produced from a sample with Ogura cytoplasm were used as fertility restorer lines, and DHL

from hybrids with a non-Ogura cytoplasm were used to develop female male sterile lines based on Ogura-CMC.

The doubled haploid lines were evaluated in the field for the main economically valuable traits, and 30 fertility restorer lines and four male-sterile lines were hybridized to assess their combining ability. As a result, four DH lines J30, J26, J24 and Ki1ms were selected for future breeding of heterosis hybrids based on Ogura-CMC and five promising spring rapeseed hybrids were identified according to the complex of traits and properties.

Key words: spring rapeseed, doubled haploid line, accelerated breeding, general combining ability, seed productivity, CMS Ogura, molecular marker

References

1. Anisimova I.N., Dubovskaya A.G. CMS systems in rapeseed and their use in the breeding of domestic hybrids. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(3):171–180. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-171-180>
2. Bochkaryova E.B., Gorlova L.A., Serdyuk V.V., Strelnikov E.A. Breeding value of dihaploid lines of spring rape (*Brassica napus* L.). *Oil Crops*. 2019;4 (180):18–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-18-22>
3. Vishnyakova A.V., Aleksandrova A.A., Monakhos S.G. Factors of direct germination of microspore derived embryos of *Brassica napus* L. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;1(6):43–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-43-53>
4. Goncharov S.V., Dolgikh L.A. Reformatting the CIS rapeseed seed market over the last 30 years. *Aktual'nye problemy agronomii sovremennoy Rossii i puti ikh resheniya*. 2018:113–120. (In Russ.)
5. Goncharov S.V., Gorlova L.A. Oil crops: new challenges and trends in their development. *Oil Crops*. 2018;2(174):96–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.25230/2412-608KH-2018-2-174-96-100>
6. Golovachev V.I. Methods of varietal testing of agricultural crops. Moscow: Kalininskaya oblastnaya tipografiya upravleniya izdatel'stv tipografii i knizhnoy trgovli Kalininskogo oblispolkoma, 1983:184. (In Russ.)
7. Gorlova L.A., Bochkaryova E.B., Strelnikov E.A., Serdyuk V.V. The use of classical and modern methods in rapeseed (*Brassica napus*) breeding at VNIIMK. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;180(4):126–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-126-131>
8. Domblides E.A., Domblides A.S., Zayachkovskaya T.V., Bondareva L.L. Identification of cytoplasm types in accessions of the family Brassicaceae (Brassicaceae Burnett) with DNA markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(5):529–537. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ15.069>
9. Karpachev V.V., Pastukhov I.O. Estimation of combining ability of androcline lines of spring rape in diallel crosses. *Oil Crops*. 2017;1(169):40–42. (In Russ.)
10. RASRAPs: Association of Rapeseed Producers and Processors. (In Russ.) URL: <https://rosraps.ru/ru/> (Access date: 12.10.2023)
11. Savchenko V.K. Multipurpose method of quantitative evaluation of combining ability in selection for heterosis. *Russian Journal of Genetics*. 1978;5:793. (In Russ.)
12. Brandt S.A. et al. Seeding rate, fertilizer level and disease management effects on hybrid versus open pollinated canola (*Brassica napus* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. 2007;87(2):255–266. <https://doi.org/10.4141/P05-223>
13. Corral-Martínez P., Camacho-Fernández C., Mir R., Seguí-Simarro J.M. Doubled haploid production in high- and low-response genotypes of rapeseed (*Brassica*

napus) through isolated microspore culture. *Doubled haploid technology*. Humana, New York, NY, 2021:129–144.

14. *Grelon M., Budar F., Bonhomme S., Pelletier G.* Ogura cytoplasmic male-sterility (CMS)-associated orf138 is translated into a mitochondrial membrane polypeptide in male-sterile Brassica cybrids. *Molecular and General Genetics MGG*. 1994;243:540–547.

15. *Murray M.G., Thompson W.F.* Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic acids research*. 1980;8(19):4321–4326.

16. *Singh S., Bhatia R., Kumar R., Behera T.K., Kumari K., Pramanik A., Ghemera H., Sharma K., Bhattacharya R.C., Dey S.S.* Elucidating mitochondrial DNA markers of Ogura-based CMS lines in Indian cauliflowers (*Brassica oleracea* var. botrytis L.) and their floral abnormalities due to diversity in cytonuclear interactions. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:631489. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.631489>

17. *Rahman M., de Jiménez M.M.* Behind the scenes of microspore-based double haploid development in Brassica napus: A review. *J. Plant Sci. Mol. Breed.* 2016;5(1). <https://doi.org/10.7243/2050-2389-5-1>

18. *Wolko J., Dobrzycka A., Bocianowski J., Bartkowiak-Broda I.* Estimation of heterosis for yield-related traits for single cross and three-way cross hybrids of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Euphytica*. 2019;215(10):156. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2482-6>

19. *Xing N., Fan C., Zhou Y.* Parental selection of hybrid breeding based on maternal and paternal inheritance of traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *PLoS One*. 2014; 9(7): e103165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103165>

Вишнякова Анастасия Васильевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8 (499) 976–41–71; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Гаус Григорий Юрьевич, магистрант кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8 (964)599–21–95; e-mail: grisha.gaus@mail.ru

Александрова Анастасия Алексеевна, аспирант кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8 (910)466–03–09; e-mail: a.alexandrova@rgau-msha.ru

Монахос Григорий Федорович, канд. с.-х. наук, генеральный директор ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Пасечная, 5; тел.: 8 (499) 977–11–74; e-mail: breedst@mail.ru

Монахос Сократ Григорьевич, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8 (499) 976–41–71; e-mail: s.monakhos@rgau-msha.ru

Anastasiya V. Vishnyakova, CSc(Ag), Associate Professor, Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–41–71; E-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru)

Grigoriy Yu. Gaus, MSc student, Department of Botany, Breeding and Seed Production of Garden Plants, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: +7 (964) 599–21–95; E-mail: grisha.gaus@mail.ru)

Anastasiya A. Aleksandrova, post-graduate student, Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: +7 (910) 466–03–09; E-mail: a.alexandrova@rgau-msha.ru)

Grigoriy F. Monakhos, CSc (Ag), Chief Executive Officer of the LLC “Breeding station named by N.N. Timofeev” (5, Pasechnaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 977–11–74; E-mail: breedst@mail.ru)

Sokrat G. Monakhos, DSc (Ag), Professor, Head of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–41–71; E-mail: s.monakhos@rgau-msha.ru)

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОДОВ, СЕМЯН И УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО (*LUPINUS ALBUS L.*) С ДЕТЕРМИНАНТНЫМ ТИПОМ РОСТА

Г.Г. ГАТАУЛИНА, А.В. ШИТИКОВА, Н.В. МЕДВЕДЕВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Многолетние исследования были проведены в условиях северной части Центрально-Черноземного региона на экспериментальной базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Мичуринский район Тамбовской области), на выщелоченных черноземных почвах. В рамках селекционной программы по созданию сортов белого люпина (*Lupinus albus L.*) с детерминантным типом роста была проведена оценка степени влияния стрессовых факторов, связанных с влиянием погодных условий на динамические параметры и семенную продуктивность сортов люпина белого селекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Старт, Гамма, Дельта, Дега, Детер 1). В исследованиях 2021–2022 гг. у новых сортов люпина белого Тимирязевский и Гана отмечен высокий уровень адаптационного потенциала к дефициту влаги (засуха) и тепловому стрессу: в среднем за 2 года исследований урожайность составила 540 г/м² (сорт Тимирязевский) и 516 г/м² (сорт Гана).

Ключевые слова: *Lupinus albus L.*, сорта, варибельность, урожайность, динамические параметры формирования урожая, стресс-факторы.

Введение

Белый люпин (*Lupinus albus L.*) как альтернатива сое в мировой практике достаточно широко освещается в многочисленных источниках литературы. Естественно, что истоки этого направления в проведенных исследованиях обращены прежде всего к характеристике этого вида в сравнении с другими видами рода *Lupinus spp* средиземноморского происхождения [1, 3, 5]. В ряде научных публикаций подчеркивается, что зерно люпина белого использовали в пищу и в качестве корма для скота в древние времена после удаления алкалоидов путем вымачивания в проточной воде.

Белый люпин (общее название *Lupinus albus L.*) является видом рода *Lupinus*, трибы *Genisteae*, семейства *Fabaceae*. Это однолетнее растение, которое может достигать высоты примерно 120 см, с прочным стеблем и корневой системой, проникающей в почву на глубину 1,5 м. Листья очередные, с 5–9 листочками. Отдельные растения последовательно образуют ветви (боковые побеги) нескольких порядков, заканчивающиеся соцветием. Цветки могут быть различной окраски: от белого до синего цвета с разными оттенками; семена крупные, кремового цвета, круглой приплюснутой формы, масса 1000 семян составляет 300–450 г.

Благодаря азотфиксации получение высокого урожая семян и белка возможно без внесения азотных удобрений [2–4]. Содержание алкалоидов в зерне люпина белого варьируется в зависимости от сорта, типа почвы и периода вегетации. В люпине меньше антипитательных факторов, чем в соевых бобах. Зерно люпина в отличие от сои не нуждается в термической обработке, поскольку ингибиторы трипсина практически отсутствуют (варьируется от 0,1 до 0,2 мг/г) [3, 5, 7]. Содержание белка в семенах белого люпина колеблется от 33 до 47% в зависимости от генотипа и условий произрастания.

В отличие от злаков белки люпина содержат большое количество лизина и низкое количество серосодержащих аминокислот [6]. Содержание масла варьируется

от 9 до 12% при высокой концентрации полиненасыщенных жирных кислот. Среди ненасыщенных жирных кислот преобладающими являются олеиновая, линолевая, альфа-линоленовая кислоты. Низкое содержание насыщенных жирных кислот и высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в рационе считаются полезными для здоровья. Особенно соотношение между жирными кислотами омега-6 и омега-3 является важным фактором, определяющим профилактику ряда метаболических заболеваний включая ишемическую болезнь сердца.

Семена белого люпина являются богатым источником макро- и микроэлементов. Их общее содержание составляет 30–40 мг/кг: кальций – от 2,1 до 4,7 г/кг; фосфор – от 4,3 до 7,2 г/кг; магний – от 1,2 до 2,2 г/кг; калий – от 8,6 до 11,1 г/кг; натрий – от 0,1 до 0,2 г/кг. Семена люпина содержат витамины – такие, как тиамин, ниацин, рибофлавин и токоферолы, а также каротиноиды. По мнению некоторых авторов, потребление 100 г семян люпина способно удовлетворить потребности примерно на 50% в тиаминах (В1), на 30% в ниацине (В3) и на 20% в рибофлавине (В2) при рационе в 2000 ккал в день [9, 10, 14].

Зерно люпина содержит алкалоиды, относящиеся к семейству хинолизидинов: в основном спартеин и люпанин, придающие зерну горький вкус. Присутствие алкалоидов является нетоксичным при низких концентрациях, современные сорта содержат 0,04–0,05% алкалоидов. Поскольку большинство алкалоидов люпина растворимы в воде, их содержание в зерне можно снижать путем предварительной обработки.

В настоящее время зерно белого люпина находит применение в комбикормовой промышленности как высокобелковый компонент кормов. Муку люпина можно использовать в производстве различных ферментированных продуктов, макарон, чипсов, хлеба и эмульгированных мясных продуктов для повышения питательной ценности, а также для изменения текстуры. Люпин белый используется в качестве полной или частичной замены соевых бобов при производстве тофу, для получения белкового изолята [13, 14, 17].

В дополнение к питательной ценности в кормлении животных люпин является хорошим предшественником для многих культур севооборота, в том числе при производстве органической продукции [10, 12, 16].

Интерес к производству люпина белого в последнее время растет ввиду его потенциала в качестве источника белка, его потенциальных фармацевтических целей и того факта, что современные сорта этого вида можно выращивать в широком диапазоне климатических условий, а также ввиду содержания алкалоидов, которые могут действовать как природный пестицид для самого растения несмотря на токсичность [14, 17].

Нестабильность урожайности зернобобовых культур во всех странах в значительной мере связана с действием неблагоприятных погодных условий в течение вегетации.

Цель исследований: изучение изменчивости продукционных этапов развития растений на основе динамических параметров *Lupinus albus* L., определение вклада отдельных этапов органогенеза в течение вегетационного периода, урожайных свойств, зависимости уровня урожайности от климатических факторов в условиях изменения климата для Центрально-Черноземного региона РФ.

В схему опыта были включены разные типы сортов люпина белого, существенно различающиеся по морфоархитектонике растений: побегообразование, динамика роста, этапы органогенеза и их продолжительность.

Материал и методы исследований

Полевые опыты проводились на экспериментальной базе учхоза имени М.И. Калинина Мичуринского района Тамбовской области. Почва –выщелоченный чернозем средней мощности, рН_{сол.} – 5,7–5,9. Содержание в почве P₂O₅ составляло

94–98 мг, K_2O – 210–220 мг в 1 кг почвы. Площадь опытной делянки – 25 м², в четырех повторениях. Срок посева – оптимально ранний (третья декада апреля). Способ посева – широкорядный с междурядьями 45 см и нормой высева 500 тыс/га всхожих семян (50 семян/м²). Азотофиксирующая способность растений обеспечивает получение устойчивых урожаев культуры без внесения удобрений. Элементы продуктивности на главном и боковых побегах растений представлены, как и урожайность, в расчете на единицу площади.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel. Вариабельность показателей формирования урожая оценивали по коэффициенту вариации – V%. Коэффициент вариации определяли как отношение, выраженное в процентах, среднеквадратического отклонения (в статье – сигма) к средней оцениваемого показателя.

Результаты и их обсуждение

По происхождению белый люпин относится к позднеспелым видам, которые раньше в условиях северной части Центрально-Черноземного региона России не созревали. Интродукция белого люпина в этот регион стала возможной благодаря селекционной работе ученых РГАУ-МСХА, в результате многолетних экспериментов которых были получены первые экспериментальные образцы растений с детерминантным типом роста. Они послужили основой создания нового уникального исходного материала для начала селекции новых сортов *Lupinus albus* L., вызревающих в условиях Центрального Черноземья. Так появились новые сорта *Lupinus albus* L.: Старт, Мановицкий, Гамма, Дельта, Дега, Детер 1. Новым этапом в научных исследованиях явилась разработка теоретических основ формирования урожая, присущих биологии культур для семейства Бобовые.

Биологически обоснованные периоды формирования урожая у люпина белого и других зернобобовых культур были научно обоснованы после многолетних опытов с люпином, когда детально были изучены особенности роста и развития биотипов этого вида. Исследования были посвящены последовательному выявлению тех особенностей фотосинтеза посева и формирования элементов продуктивности в предшествующий период, которые обуславливают существенное изменение состояния посева в последующий период, и в конечном счете – изменение урожайности и накопление протеина. Подобное структурное построение динамической системы оказалось вполне обоснованным и для других зернобобовых культур.

Для всех культур характерны 2 периода в развитии, когда фотосинтез отсутствует: начальный период – от посева до появления всходов; конечный – период созревания, когда на растениях отсутствуют листья и другие зеленые части растений.

В течение вегетации от всходов до начала созревания, когда посев функционирует как фотосинтезирующая система, выделяются 4 периода:

I – от всходов до начала цветения (до раскрытия первого цветка на растении);

II – цветение и образование плодов (от раскрытия первого цветка до полного окончания цветения);

III – рост плодов (в конце периода плоды на боковых побегах или верхних ярусах растения достигают максимальных размеров, створки плодов – максимальной массы, отмечается фаза выполненных или блестящих бобов);

IV – налив семян (ассимиляты и питательные вещества из створок плодов и других органов оттекают в семена; в конце периода сухая масса семян является максимальной, влажность семян – высокой).

Созревание семян – завершающий период их развития. В этот период семена и створки плодов теряют влагу. Скорость созревания, характеризующаяся интенсивностью снижения влажности семян и створок плодов, зависит от погодных условий.

Изучаемые сорта разнотипны в соответствии с архитектурой растений: по степени ветвления, способности формировать побеги разных порядков, продолжительности вегетации. Сорта адаптированы к условиям региона, устойчиво созревают, урожайность зерна составляет 3–5 т/га. В условиях достаточной влагообеспеченности периода роста отмечалось наиболее полное проявление сортовых признаков, особенно в части ветвления стебля и побегообразования (табл. 1).

Детерминантные сорта белого люпина по сравнению с индетерминантными характеризуются отсутствием или низким количеством боковых побегов, ранним созреванием, более низким выходом биомассы. Однако урожай семян у таких сортов почти полностью зависит от главного стебля, в то время как у индетерминантных сортов вклад главного стебля в формирование урожайности изменяется от 40 до 65% в зависимости от густоты растений.

Вариабельность продолжительности вегетации «Всходы-созревание» и отдельных периодов в разные по метеорологическим условиям годы позволяет оценить возможности и риски при возделывании этой культуры. Вегетационный период (от всходов до созревания) в условиях северной части Центрального Черноземья варьировал в зависимости от сорта и метеорологических условий года от 73 до 115 дней (табл. 2).

Вегетационный период (от всходов до созревания) наиболее ускоренным был в засушливые годы: 90...94 дня (2007 г.); 73...78 дней (2010 г.). При этом наиболее скороспелым в условиях дефицита влаги был сорт Детер 1, который не образует боковых побегов: 90 дней (2007 г.); 73 дня (2010 г.). В среднем за 9 лет исследований в засушливых условиях все изучаемые сорта развивались по типу скороспелых, отмечено существенное сокращение вегетационного периода в среднем на 37 дней.

В 2009, 2011 и 2012 гг. отмечались засушливые условия и повышенная температура в отдельные периоды второй половины вегетации, после завершения цветения (табл. 3).

Сорта Старт, Гамма, Дельта и Дега в эти годы созревали одновременно. Вегетационный период этих сортов был на 12–15 дней короче, чем в 2008 г. Сортная вариабельность продолжительности периода «Всходы-созревание», оцениваемая по коэффициенту вариации, в 3 раза меньше, чем под влиянием погодных условий в разные годы. При отборе перспективных генотипов по проанализированным показателям учитывали основные тенденции в селекции люпина, в первую очередь – генотипы с коротким вегетационным периодом, что является важным критерием для формирования продуктивности растений. Структурные элементы, определяющие уровень урожайности, их изменчивость в зависимости от генотипа и условия произрастания растений связаны с потенциалом сорта и степенью его адаптации к меняющимся условиям.

Таблица 1

Типы сортов в зависимости от архитектуры растений

Сорта	Архитектура растений
Детер 1 (I тип)	Нет боковых побегов, на главном побеге происходит образование бобов
Старт, Гамма (II тип)	Побеги первого порядка укороченные, образование бобов на главном и укороченных побегах
Дега, Дельта (III тип)	Боковые побеги первого и второго порядков длинные

Таблица 2

Продолжительность вегетации сортов *Lupinus albus* L., дней

№	Год	Сорт					Средняя	σ^*	V%
		Старт	Гамма	Дельта	Дера	Детер 1			
1	2007	94	94	94	94	90	93	1,60	1,7
2	2008	114	114	115	114	105	112	3,72	3,3
3	2009	103	102	105	102	97	102	2,64	2,6
4	2010	77	77	78	77	73	76	1,74	2,3
5	2011	90	98	98	98	93	95	3,32	3,5
6	2012	102	102	103	102	96	101	2,53	2,5
7	2013	102	102	104	103	96	101	2,80	2,8
8	2014	102	102	102	102	96	101	2,40	2,4
9	2015	112	111	114	114	100	110	5,23	4,7
Средняя		100	100	101	101	94	99	2,66	2,7
σ		10,7	10,0	10,4	10,4	8,4			
V%		10,7	10,0	10,3	10,4	8,9			

*Сигма (σ) в таблицах – стандартное отклонение; V% – коэффициент вариации.

Таблица 3

Показатель гидротермического коэффициента в годы исследований (Тамбовская область, Мичуринский район)

Среднее значение	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0,80	0,38	0,71	0,79	0,30	1,05	1,02	0,55	0,42	0,94

Дефицит воды у *Lupinus albus* L. вызывает тканеспецифические реакции, которые зависят от интенсивности стресса. Углеводный обмен весьма чувствителен к изменениям водного статуса растения. Специфические реакции растений на дефицит воды зависят от количества и скорости потери воды, продолжительности стресса и стадии развития растения. Физиологические изменения, вызванные водным стрессом, подтверждают роль стебля люпина в адаптации растений как органа, запасющего влагу.

Различия в архитектонике растений определяли не только величину продуктивности и ее стабильность в годы исследований, но и продолжительность вегетационного периода. Различия между изучаемыми сортами наблюдались после стадии бутонизации и сохранялись до конца вегетационного периода.

Урожайность всегда является компромиссом между продуктивностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды. Погодные условия вегетационных периодов в годы исследований оказали существенное влияние на формирование и вариабельность урожайности (табл. 4). При этом отмечена прямая зависимость динамики сокращения вегетационного периода и урожайности.

Исследования позволили установить разнообразие основных компонентов продуктивности генотипов люпина белого. Сорта характеризовались значительными различиями по высоте растений, количеству бобов, семян и массы семян. Повышение продуктивного потенциала генотипов зависело от количества бобов и семян на растении. Погодные условия в разные годы оказали сильное воздействие на уровень урожайности и ее вариабельность.

Урожайность семян сортов *Lupinus albus* L. в среднем за 9 лет исследований изменялась от 2,4 до 6,1 т/га. Наиболее значимые результаты были получены в благоприятные по обеспеченности влагой годы исследований: 2009, 2011–2012, 2015 (ГТК – более 0,79). Урожайность в среднем по сортам составила 3,6; 3,38; 3,84; 5,07 т/га соответственно.

Таблица 4

Урожайность семян сортов *Lupinus albus* L., т/га

№	Год	Сорт					Средняя	σ	V%
		Старт	Гамма	Дельта	Дега	Детер 1			
1	2007	2,40	2,38	2,67	2,34	2,26	2,41	0,14	5,7
2	2008	3,85	3,98	3,84	3,9	3,28	3,77	0,25	6,6
3	2009	3,45	3,43	4,16	3,78	3,19	3,60	0,34	9,3
4	2010	2,00	2,00	2,16	1,56	2,0	1,94	0,20	10,4
5	2011	3,58	3,16	3,07	3,53	3,58	3,38	0,22	6,6
6	2012	4,06	3,78	3,53	3,78	4,06	3,84	0,20	5,2
7	2013	2,00	2,31	2,11	2,17	2,07	2,13	0,10	4,9
8	2014	3,24	3,09	3,92	3,35	2,12	3,14	0,58	18,6
9	2015	3,82	5,54	6,10	5,89	4,00	5,07	0,97	19,0
Средняя		3,16	3,30	3,51	3,37	2,95	3,26	0,19	5,8
σ		0,76	1,02	1,16	1,19	0,80	0,93		
V%		24,2	30,8	33,1	35,4	27,1	28,5		

Научные исследования в области селекции однолетних зернобобовых культур, в том числе белого люпина, за последние годы достигли значительного прогресса в создании новых сортов с высокой пищевой ценностью, улучшенной экологической пластичностью и устойчивостью к неблагоприятным условиям. Несмотря на это необходимость и возможность дальнейшего совершенствования и создания новых сортов люпина белого продолжает оставаться важнейшей задачей ввиду меняющихся условий выращивания. Исследования по определению параметров и variability компонентов семенной продуктивности у новых сортов белого люпина Тимирязевский и Гана в сравнении со стандартом – сортом Дега – при действии стрессовых погодных условий позволили установить следующую закономерность: погодные условия 2021 г. (ГТК 0,78) и 2022 г. (ГТК 1,1) в отдельные периоды вегетации характеризовались как стрессовые (дефицит влаги, засуха, тепловой стресс). В 2021 г. жаркая и сухая погода с высокой температурой (35 °С) и засухой отмечалась после начала цветения и в период налива семян. Люпин созрел в первую декаду августа – на месяц раньше обычных сроков. В условиях 2022 г. до начала цветения происходило регулярное выпадение осадков. В период цветения и образования плодов отмечен тепловой стресс, что привело к низкому количеству завязавшихся бобов на боковых побегах. Сухая и жаркая погода в июле и августе способствовала раннему сбрасыванию листьев у растений (табл. 5).

Таблица 5

Биологическая урожайность семян, г/м²

Год	Сорт			Средняя	σ	V%
	Дега	Тимирязевский	Гана			
Главный побег						
2021	365	401	369	378	19,7	5,2
2022	522	513	482	506	21,0	4,1
средняя	444	457	426	442	15,8	3,6
σ	79	79	80	64		
V%	17,7	17,3	18,8	14,4		
Боковые побеги						
2021	81	122	135	113	28,2	25,0
2022	58	41	45	48	8,9	18,5
средняя	70	82	90	80	10,3	12,8
σ	16,3	57,3	63,6	45,7		
V%	23,4	70,3	70,7	56,9		
Всего на растениях						
2021	446	526	504	492	41,3	8,4
2022	580	554	527	554	26,5	4,8
средняя	513	540	516	523	12,2	2,3
σ	94,8	19,8	16,3	43,6		
V%	18,5	3,7	3,2	8,3		

Биологическая урожайность новых сортов люпина белого в годы исследований составила в 2021 и 2022 гг. соответственно 526, 554 г/м² (сорт Тимирязевский) и 504, 527 г/м² (сорт Гана). Доля главного побега в урожайности семян по годам составила 80%.

Выводы

Исследованиями установлено, что созданные адаптированные к условиям Центрально-Черноземного региона сорта люпина белого стабильно созревают, формируя урожайность зерна на уровне 3–5 т/га. Определены продолжительность периодов и динамические параметры формирования урожая белого люпина для каждого периода. Доказано, что II период – цветение и образование плодов (от раскрытия первого цветка до полного окончания цветения) – имеет решающее значение для формирования урожая. Новые сорта люпина белого Тимирязевский и Гана с детерминантным типом роста проявили высокую степень устойчивости к засушливым условиям и тепловому стрессу, сформировав высокую биологическую урожайность: в среднем за 2 года по сортам она составила 540 г/м² (сорт Тимирязевский) и 516 г/м² (сорт Гана).

Библиографический список

1. *Гатаулина, Г.Г.* Адаптивная селекция люпина белого (*Lupinus albus* L) на устойчивость к абиотическим стрессорам / Г.Г. Гатаулина, А.В. Шитикова, Н.В. Медведева // Проблемы селекции – 2022: Тезисы докладов международной научной конференции, Москва, 12–15 октября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 132.
2. *Гатаулина, Г.Г.* Семенная продуктивность и адаптивность сортов люпина белого в условиях Центрально-Черноземного региона / Г.Г. Гатаулина, А.В. Шитикова, Н.В. Медведева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 6. – С. 67–78. – DOI 10.26897/0021–342X-2022–6–67–78.
3. *Alkemade J.A. et al.* The potential of alternative seed treatments to control anthracnose disease in white lupin //Crop Protection. – 2022. – Т. 158. – С. 106009.
4. *Bitarishvili S. et al.* Metabolic profiling reveals fumaric acid and GABA as possible markers of *Colletotrichum lupini* infection of white lupin //Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2023. – Т. 128. – С. 102130.
5. *Borowska, M.; Prusiński, J.; Kaszkowiak, E.; Olszak, G.* The yield of indeterminate and determinate cultivars of white lupin (*Lupinus albus* L.) depending on plant density. *Acta Sci. Pol. Agric.* 2017, 16, 59–66.
6. *Boudsocq S. et al.* Changes in belowground interactions between wheat and white lupin along nitrogen and phosphorus gradients //Plant and Soil. – 2022. – Т. 476. – № . 1–2. – С. 97–115.
7. *Boukid F., Pasqualone A.* Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: Characteristics, safety and food applications //European Food Research and Technology. – 2022. – Т. 248. – № . 2. – С. 345–356.
8. *Georgieva, N.A.; Kosev, V.I.; Genov, N.G.; Butnariu, M.* Morphological and biological characteristics of white lupine cultivars (*Lupinus albus* L.). *Rom. Agric. Res.* 2018, 35, 109–119.
9. *Gresta F. et al.* White Lupin (*Lupinus albus* L.), an Alternative Legume for Animal Feeding in the Mediterranean Area //Agriculture. – 2023. – Т. 13. – № . 2. – С. 434.
10. *Jarecki W., Migut D.* Comparison of yield and important seed quality traits of selected legume species //Agronomy. – 2022. – Т. 12. – № . 11. – С. 2667.
11. *Jobert F. et al.* Auxin triggers pectin modification during rootlet emergence in white lupin //The Plant Journal. – 2022. – Т. 112. – № . 5. – С. 1127–1140.

12. Jones R.A.C. Host Resistance to Virus Diseases Provides a Key Enabler towards Fast Tracking Gains in Grain Lupin Breeding //Plants. – 2023. – T. 12. – № . 13. – C. 2521.
13. Keller J., Marmit S.P., Bunzel M. Structural characterization of dietary fiber from different lupin species (*Lupinus* sp.) //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2022. – T. 70. – № . 27. – C. 8430–8440.
14. Osorio C.E., Till B.J. A bitter-sweet story: Unraveling the genes involved in quinolizidine alkaloid synthesis in *Lupinus albus* //Frontiers in Plant Science. – 2022. – T. 12. – C. 795091.
15. Panasiewicz K. Chemical Composition of Lupin (*Lupinus* spp.) as Influenced by variety and tillage system //Agriculture. – 2022. – T. 12. – № . 2. – C. 263.
16. Pecetti L. et al. White lupin drought tolerance: Genetic variation, trait genetic architecture, and genome-enabled prediction //International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – T. 24. – № . 3. – C. 2351.
17. Pereira A., Ramos F., Sanches Silva A. Lupin (*Lupinus albus* L.) seeds: Balancing the good and the bad and addressing future challenges //Molecules. – 2022. – T. 27. – № . 23. – C. 8557.
18. Staniak, M.; Szpunar-Krok, E.; Kocira, A. Responses of soybean to selected abiotic stresses – Photoperiod, temperature and water. *Agriculture* 2023, 13, 146.
19. Determining the Value of Novel Feedstuffs in Imperfect Markets, Taking *Lupinus albus* as an Example //Agriculture. – 2023. – T. 13. – № . 4. – C. 867.

FORMATION OF PODS, SEEDS
AND YIELD OF VARIETIES OF WHITE LUPIN (*LUPINUS ALBUS* L.)
WITH A DETERMINANT TYPE OF GROWTH

G.G. GATAULINA, N.V. MEDVEDEVA, A.V. SHITIKOVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*Long-term studies on leached chernozem soils were carried out at the experimental base of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Michurinskiy district, Tambov region) under the conditions of the northern part of the Central Black Earth Region. In the breeding program to create varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) with a determinant growth type studies were conducted to assess the degree of effect of stress factors associated with the weather conditions on the dynamic parameters and seed productivity of white lupine varieties selected by the RSAU-MTAA (Start, Gamma, Delta, Dega, Deter I). In the research under the conditions of 2021–2022 the new varieties of white lupine Timiryazevsky and Gana showed a high level of adaptive potential to moisture deficiency (drought) and heat stress: the average yield for two years of studies was 540 g/m² (variety Timiryazevsky) and 516 g/m² (variety Gana).*

Keywords: *Lupinus albus* L., varieties, variability, yield, dynamic parameters of crop formation, stress factors.

References

1. Gataulina G.G., Shitikova A.V., Medvedeva N.V. Adaptive breeding of white lupine (*Lupinus albus* L.) for resistance to abiotic stressors. *Problemy selektsii* – 2022. Theses of reports of the international scientific conference. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet – MSKhA im. K.A. Timiryazeva. 2022:132. (In Russ.)

2. *Gataulina G.G., Shitikova A.V., Medvedeva N.V.* Seed productivity and adaptability of varieties of white lupin in the conditions of the Central Chernozem zone. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;1(6):67–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-67-78>
3. *Alkemade J.A. et al.* The potential of alternative seed treatments to control anthracnose disease in white lupin. *Crop Protection*. 2022;158:106009.
4. *Bitarishvili S. et al.* Metabolic profiling reveals fumaric acid and GABA as possible markers of *Colletotrichum lupini* infection of white lupin. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2023;128:102130.
5. *Borowska M., Prusiński J., Kaszkowiak E., Olszak G.* The yield of indeterminate and determinate cultivars of white lupin (*Lupinus albus* L.) depending on plant density. *Acta Sci. Pol. Agric.* 2017;16;59–66.
6. *Boudsocq S. et al.* Changes in belowground interactions between wheat and white lupin along nitrogen and phosphorus gradients. *Plant and Soil*. 2022;476(1–2):97–115.
7. *Boukid F., Pasqualone A.* Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: Characteristics, safety and food applications. *European Food Research and Technology*. 2022;248(2):345–356.
8. *Georgieva N.A., Kosev V.I., Genov N.G., Butnariu M.* Morphological and biological characteristics of white lupine cultivars (*Lupinus albus* L.). *Rom. Agric. Res.* 2018;35:109–119.
9. *Gresta F. et al.* White Lupin (*Lupinus albus* L.), an Alternative Legume for Animal Feeding in the Mediterranean Area. *Agriculture*. 2023;13(2):434.
10. *Jarecki W., Migut D.* Comparison of yield and important seed quality traits of selected legume species. *Agronomy*. 2022;12(11):2667.
11. *Jobert F. et al.* Auxin triggers pectin modification during rootlet emergence in white lupin. *The Plant Journal*. 2022;112(5):1127–1140.
12. Jones R.A.C. Host Resistance to Virus Diseases Provides a Key Enabler towards Fast Tracking Gains in Grain Lupin Breeding. *Plants*. 2023;12(13):2521.
13. *Keller J., Marmit S.P., Bunzel M.* Structural characterization of dietary fiber from different lupin species (*Lupinus* sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022;70(27):8430–8440.
14. *Osorio C.E., Till B.J.* A bitter-sweet story: Unraveling the genes involved in quinolizidine alkaloid synthesis in *Lupinus albus*. *Frontiers in Plant Science*. 2022;12:795091.
15. *Panasiewicz K.* Chemical Composition of Lupin (*Lupinus* spp.) as Influenced by variety and tillage system. *Agriculture*. 2022;12(2):263.
16. *Pecetti L. et al.* White lupin drought tolerance: Genetic variation, trait genetic architecture, and genome-enabled prediction. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(3):2351.
17. *Pereira A., Ramos F., Sanches Silva A.* Lupin (*Lupinus albus* L.) seeds: Balancing the good and the bad and addressing future challenges. *Molecules*. 2022;27(23):8557.
18. *Staniak M., Szpunar-Krok E., Kocira A.* Responses of soybean to selected abiotic stresses – Photoperiod, temperature and water. *Agriculture*. 2023;13:146.
19. Determining the Value of Novel Feedstuffs in Imperfect Markets, Taking *Lupinus albus* as an Example. *Agriculture*. 2023;13(4):867.

Гатаулина Галина Глебовна, профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», д-р с.-х. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»;

127422, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ggataulina@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–18–18 78

Шитикова Александра Васильевна, профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», д-р с.-х. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plant@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–13–75

Медведева Наталия Викторовна, ведущий научный сотрудник Центра зерновых бобовых культур и производства растительного белка ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plant@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–13–75

Galina G. Gataulina, DSc (Ag), Professor, Professor of the Department of Plant Production and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–18–18; E-mail: ggataulina@rgau-msha.ru)

Aleksandra V. Shitikova, DSc (Ag), Professor, Professor of the Department of Plant Production and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–13–75; E-mail: plant@rgau-msha.ru)

Nataliya V. Medvedeva, CSc (Ag), Leading Research Associate of the Center for Grain Legumes and Vegetable Protein Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–13–75; E-mail: plant@rgau-msha.ru)

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОРТОВ И ЛИНИЙ ГОЛОЗЕРНОГО ОВСА СЕЛЕКЦИИ ФИЦ «НЕМЧИНОВКА»

А.Д. КАБАШОВ¹, А.В. ЛЮБИМОВА², Н.М. ВЛАСЕНКО¹, А.С. КОЛУПАЕВА¹

¹ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»;

²Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр
Сибирского отделения РАН»)

Для оценки контроля постоянства биотипного состава сортов голозерного овса при возделывании все шире в первичном семеноводстве применяется высокоэффективный метод электрофореза запасных белков семян – проламинов. Цель исследований – паспортизация сортообразцов голозерного овса селекции ФИЦ «Немчиновка» и анализ их генетического разнообразия с использованием аллелей авенин-кодирующих локусов. В работе были использованы химико-технологический, расчетно-конструктивный и статистический методы исследований. Использовался метод электрофореза запасных спирторастворимых белков овса – авенинов. Электрофорез проводили в вертикальных пластинах 13,2%-ного полиакриламидного геля при постоянном напряжении 500 V с использованием электрофоретических камер VE-20 (Helicon, Россия). В результате исследований установлено, что все проанализированные образцы являются гетерогенными по компонентному составу авенина, с количеством биотипов от 2 до 14 шт. Частота встречаемости биотипов в образцах варьирует от 1,0 до 97,0%. Обнаружены блоки компонентов авенина, отсутствующие в каталоге генетической номенклатуры: по локусу Avn A – 4 блока; Avn B – 2 блока; Avn C – 1 блок. Определен их вероятный компонентный состав. Установлено высокое значение среднего генного разнообразия по всем трем локусам. Это свидетельствует об эффективном использовании в селекционном процессе генетически разнообразного исходного материала.

Ключевые слова: *первичное семеноводство, электрофорез, биотипный состав сорта, голозерный овес.*

Введение

Овес – ценная зерновая культура многостороннего использования. Российская Федерация занимает лидирующее положение в мире по площадям посева овса и сбору его зерна. В Государственный реестр селекционных достижений в 2022 г. было внесено 152 сорта овса, среди которых 17 – голозерные. Доля сортов, созданных отечественными селекционерами, составляет 87,5% [3, 4, 11–13].

В последнее десятилетие интерес к голозерному овсу является повышенным. Его зерно отличается высоким качеством: повышенным по сравнению с пленчатым овсом содержанием белка, сбалансированного по аминокислотному составу, жира и крахмала. Голозерный овес обуславливает сокращение затрат на переработку при использовании в пищевой промышленности. Ценным признаком голозерного овса является устойчивость к осыпанию.

Широкому распространению голозерного овса препятствуют присущие ему недостатки: более низкая в сравнении с пленчатым овсом урожайность, убранный зерно содержит заметную долю невышелушенных зерен. Зерно голозерного овса является неоднородным по крупности, мельче, чем у пленчатого овса. Незакрытое

цветковыми чешуями зерно голозерного овса сильнее повреждается болезнями и вредителями.

Селекционная работа с голозерным овсом в ФИЦ «Немчиновка» началась в 2004 г., к 2023 г. создано и допущено к возделыванию 3 сорта: Немчиновский 61, Азиль и Грива. Все сорта выведены в соавторстве с селекционерами других научных учреждений.

Для более глубокого изучения селекционного материала по голозерному овсу лаборатория селекции овса ФИЦ «Немчиновка» сотрудничает со специалистами ряда научных учреждений, в том числе с учеными лаборатории геномных исследований в растениеводстве НИИСХ Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН, – которой были переданы 14 сортообразцов голозерного овса для изучения компонентного состава проламинов методом электрофореза.

Проламины – это группа запасных спирторастворимых белков. Благодаря высокому уровню полиморфизма и сортоспецифичности эти белки успешно используются для паспортизации сортов, линий и генотипов зерновых культур. Данные о разнообразии аллелей проламин-кодирующих локусов применяются для расчета внутривидового генетического разнообразия в популяциях сортов, позволяют оценивать эффективность селекционного процесса и контролировать постоянство биотипного состава сортов при возделывании [6, 8, 9]. Проламины овса называются авенинами. Синтез авенинов контролируется тремя независимыми кластерами генов, называемыми как локусы *Avn A*, *Avn B*, *Avn C* и расположенными на гомеологичных хромосомах 1D, 3D и 7A [7, 10].

Цель исследований: паспортизация сортообразцов голозерного овса селекции ФИЦ «Немчиновка» и анализ их генетического разнообразия с использованием аллелей авенин-кодирующих локусов.

Материал и методы исследований

Материалом для исследований послужили 14 сортов и селекционных линий голозерного овса, полученных в ФИЦ «Немчиновка» (табл. 1). Для одномерного электрофореза методом случайной выборки отбирали по 100 зерен каждого сортообразца из питомника конкурсного сортоиспытания [5].

Анализ проводили в вертикальных пластинах 13,2%-ного полиакриламидного геля при постоянном напряжении 500 V с использованием электрофоретических камер VE-20 (Helicon, Россия). В качестве стандарта использовали смесь муки сортов Вятский голозерный и Тюменский голозерный в соотношении 2:1, суммарная формула получаемого спектра – *Avn 2.4, 7.1, 3*.

Аллельные варианты блоков компонентов, контролируемых авенин-кодирующими локусами, определяли в соответствии с каталогом, разработанным В.А. Портянко [7], с дополнениями [5]. В случае, если блок отсутствовал в каталоге, его обозначали пометкой «new».

Генное разнообразие по каждому локусу (H) определяли по формуле:

$$H = \frac{n}{n-1} \times \left(1 - \sum_{i=1}^k p_i^2 \right) \quad (1)$$

где p_i – популяционная частота i -го аллеля; k – количество аллелей локуса; n – объем выборки [10].

Среднее генное разнообразие (\bar{H}) рассчитывали путем усреднения количества аллелей на локус по всем локусам.

Показатели структуры популяции – внутривидовое разнообразие (μ) и долю редких морф (h) – рассчитывали по формулам:

$$\mu = (\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \sqrt{p_3} + \dots + \sqrt{p_m})^2 \quad (2)$$

$$h = 1 - \frac{\mu}{m} \quad (3)$$

где p_1, p_2, \dots, p_m – частоты аллелей в долях от единицы; m – число вариаций признака, выделенных в выборке [1].

Расчеты производили с использованием компьютерных программ Arlequin Ver 3.5.2.2 (Copyright 2015 L. Excoffier. CPMG, University of Berne) и MS Excel.

Кластеризацию осуществляли методом одиночной связи (Single Linkage), в качестве меры сходства использовали Евклидовы расстояния. Построение дендрограммы производили в программе STATISTICA (StatSoft, Inc. (2014). STATISTICA (data analysis software system), version 12).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что все проанализированные образцы – гетерогенные по компонентному составу авенина, с количеством биотипов от 2 до 14 шт. Частота встречаемости биотипов в образцах варьирует от 1,0 до 97,0%. Общее представление об их количестве и о частоте встречаемости основных биотипов следует из данных таблицы 1.

Таблица 1

Число биотипов в 14 сортообразцах овса селекции ФИЦ «Немчиновка»

Сорт, линия	Количество биотипов, шт.	Формулы авенина основных биотипов и их частота встречаемости, %
Немчиновский 61	5	10.1.3 (58), 10.new1.3 (22), 10.1.2 (14)
Азиль	2	2.1.7 (55), 2.1.3 (45)
2h2348	10	10.1.3 (42), 10.1.2 (24), 2.6.5 (12), 2.1.3 (7)
16h2476	10	new2.new2.3 (56), new2.6.3 (30)
54h2476	6	11.6.7 (91)
2h2532	4	new 3.7.1 (97)
52h2467	3	2.7.1 (47), 2.4.1 (28)
50h2613	6	2. new1.new1 (93)
70h2613	3	2.1.7 (92)
55h2618	6	2.4.5 (70), 2.7.3 (14)
66h2618	4	2.1.3 (94)
4h2708	5	10.1.2 (71), 10.1.1 (25)
16h2771	5	11.1.2 (92), 10.1.3 (5)
15h2657	5	new3.4.2 (94)

Наименьшее количество биотипов имеет сорт Азиль – 2, а наибольшее, по 10, – линии 2h2348 и 16h2476. Всего в результате анализа компонентного состава авенинов выявлено 74 биотипа. При этом у части проанализированных образцов обнаружены биотипы с идентичным компонентным составом проламинов (табл. 2).

Всего выделено 14 типов электрофоретических спектров проламина, встречающихся сразу у нескольких образцов. Частота встречаемости биотипов с такими спектрами в разных образцах варьирует от 97 до 1%. Самым широко представленным в выборке является спектр с формулой *Avn 2.1.3* – он обнаружен у 2 сортов и 7 селекционных линий. На втором месте – спектр с формулой авенина *Avn 10.1.2* (1 сорт и 4 линии).

Необходимо отметить, что совпадение электрофоретических спектров проламинов не свидетельствует о полной идентичности генотипов. В настоящее время известно о 25 генах, контролирующих синтез авенинов [10], в то время как общее количество генов гексаплоидного овса превышает 80000. Совпадение спектров, по мнению А.Ю. Новосельской-Драгович, может свидетельствовать о близком родстве образцов [2].

Таблица 2

Биотипы с идентичными электрофоретическими спектрами авенина

№ п/п	Формула авенина	Образцы с идентичными спектрами авенина
1	10.1.3	Немчиновский 61 (1 биотип), 2h2348 (1 биотип), 16h2771 (2 биотип)
2	10.1.2	Немчиновский 61 (3 биотип), 2h2348 (2 биотип), 50h2613 (5 биотип), 55h2618 (6 биотип), 4h2708 (1 биотип)
3	2.1.3	Немчиновский 61 (4 биотип), Азиль (1 биотип), 2h2348 (4 биотип), 16h2476 (5 биотип), 54h2476 (5 биотип), 70h2613 (2 биотип), 55h2618 (4 биотип), 66h2618 (1 биотип), 4h2708 (5 биотип)
4	2.4.1	Немчиновский 61 (5 биотип), 54h2476 (3 биотип), 52h2467 (2 биотип), 66h2618 (4 биотип)
5	2.1.7	Азиль (2 биотип), 50h2613 (4 биотип), 4h2708 (4 биотип), 15h2657 (3 биотип)
6	2.6.5	2h2348 (3 биотип), 50h2613 (6 биотип)
7	4.1.2	2h2348 (6 биотип), 55h2618 (3 биотип)
8	2.7.3	2h2348 (9 биотип), 54h2476 (2 биотип), 55h2618 (2 биотип)
9	2.new1.new1	2h2348 (10 биотип), 2h2532 (4 биотип), 50h2613 (1 биотип)
10	new2.new2.3	16h2476 (1 биотип), 15h2657 (2 биотип)
11	new3.7.1	2h2532 (1 биотип), 52h2467 (3 биотип)
12	2.7.1	52h2467 (1 биотип), 50h2613 (2 биотип)
13	10.1.1	4h2708 (2 биотип), 15h2657 (5 биотип)
14	new3.4.2	4h2708 (3 биотип), 16h2771 (4 биотип), 15h2657 (1 биотип)

В научной литературе широко представлены данные о возможности использования проламин-кодирующих локусов для подтверждения родства и оценки генетической близости сортов зерновых культур, а также типирования гетерозигот [5, 9]. Проламины наследуются сцепленно (блоками) и имеют кодоминантный тип наследования. Частота рекомбинаций внутри таких блоков крайне низка, поэтому их приравнивают к отдельным менделирующим единицам. При проведении скрещиваний блоки компонентов передаются без изменений от родительских сортов к гибридному потомству и из поколения в поколение [6, 9].

По нашему мнению, совпадение спектров авенина у сортов и линий селекции ФИЦ «Немчиновка» обусловлено общностью происхождения. У 13 из них начальные скрещивания проводили с участием образцов коллекции ВИР: Putnam 61 (США), Sërbo (Швеция), WZ-437 (Голландия), K-442/1 (индивидуальный отбор из Panter, Голландия). Скрещивание сортов Putnam 61 и Sërbo в 1969 г. привело к появлению гибридной комбинации h178, ставшей родоначальной для всех сортов немчиновской селекции. В последующие годы в скрещивания включали более новые образцы: Astor (Голландия), Komes (Польша), Condor (США), Endspurt (ФРГ), Ac Lotta (Канада), Ceal (США), CJ 8251 (США), Phreia, Pennline 2005 (США), Черкасский 1 (СССР), Козырь, Рысак, Улов, Геркулес, Горизонт, ALF (Германия), Bullion, Soroca, Вятский, Крестьянский местный и др. Лишь одна селекционная линия – 2h2532 – по родословной выпадает из этой схемы, будучи полученной с участием сортообразцов Fraser (Канада), Ponta (Швеция), Erich (Германия) ALF (Германия), Ac Batton (Канада). Ее основной биотип имеет формулу *Avn new 3.7.1* (97%) и, кроме этой линии, присутствует только в спектре авенина образца 52h2467 с частотой 1%.

Для сортообразцов с наибольшей степенью родства в данной выборке были произведены попарные сравнения формул авенина их биотипов. В результате выявлено 4 пары образцов, характеризующихся наибольшим совпадением по компонентному составу авенина: сорт Немчиновский – 61 линия 2h2348; сорт Немчиновский – 61 линия 4h2708; сорт Азиль – линия 66h2618; линия 2h2348; линия 4h2708. При этом учитывались как общее количество совпадающих спектров, так и их частота встречаемости в образце.

У сорта Немчиновский 61 и линии 2h2348 выявлено 3 совпадающих типа спектра: *Avn 10.1.3*; *10.1.2*; *2.1.3* (табл. 3, 4). При этом биотипы с формулой *Avn 10.1.3* у обоих образцов из этой пары преобладают по частоте встречаемости, а с формулой *Avn 10.1.2* – находятся на втором и третьем местах по распространенности в популяции линии 2h2348 и сорта Немчиновский 61 соответственно.

Сорт овса Немчиновский 61 выведен с участием сортов Putnam 61, Sërbo, WZ-437, K-442/1, Astor, Крестьянский местный, а у линии 2h2348 вместо сорта Astor присутствует сорт Komes.

На электрофореграммах сорта Немчиновский 61 и линии 4h2708 выявлены идентичные типы спектра с формулой *Avn 10.1.2*, а также минорные биотипы с формулой *Avn 2.1.3* (частота встречаемости – 5 и 1% соответственно) (табл. 4, 5).

В родословной обоих образцов присутствуют сорта Putnam 61, Sërbo, WZ-437 и K-442/1. В последующих скрещиваниях у сорта Немчиновский 61 использовали сорта Astor и Крестьянский местный, а у линии 4h2708 – сорта Komes и Вятский.

У сорта голозерного овса Азиль и селекционной линии 66h2618 с высокой частотой встречаются биотипы с типом спектра *Avn 2.1.3* (табл. 6).

У сорта Азиль частота встречаемости биотипа с формулой авенина *Avn 2.1.3* составляет 45%, а у линии 66h2618 – 94%.

**Формулы авенина сорта Немчиновский 61 и линии 2h2348
и частота встречаемости биотипов**

Сорт Немчиновский 61		Линия 2h2348	
формула авенина, <i>Avn</i>	частота встречаемости, %	формула авенина, <i>Avn</i>	частота встречаемости, %
10.1.3	58	10.1.3	42
10.new1.3	22	10.1.2	24
10.1.2	14	2.6.5	12
2.1.3	5	2.1.3	7
2.4.1	1	2.4.7	6
		4.1.2	3
		new1.1.3	2
		10.7.1	1
		2.7.3	1
		2.new1.new1	1

Таблица 4

**Частота встречаемости идентичных типов спектра авенина
у сортов Немчиновский 61, Азиль и линий 2h2348, 4h2708 и 66h2618, %**

Сорт, линия \ Формула <i>Avn</i>	10.1.3	10.1.2	2.1.3
Немчиновский 61	58	14	5
Линия 2h2348	42	24	7
Линия 4h2708	–	71	1
Азиль	–	–	45
Линия 66h2618	–	–	94

На ранних этапах скрещиваний в создании обоих образцов использовали сорта Putnam 61, Sërbo, WZ-437 и К-442/1. На последующих этапах у сорта Азиль вовлекли в скрещивания сорта Черкасский 1, Endspurt и Крестьянский местный, а у линии 66h2618 – образцы CJ-8251, Phreia, Pennline 2005.

На электрофореграммах линий 2h2348 и 4h2708 с высокой частотой встречается тип спектра *Avn 10.1.2*, а также выявлены минорные биотипы с формулой авенина *Avn 2.1.3* (табл. 3). Обе линии в родословной имеют общих родителей: Putnam 61, Sërbo, WZ-437, К-442/1, Komes. Лишь на завершающей стадии у линии 2h2348 использовали в скрещивании сорт Крестьянский местный, а у линии 4h2708 – сорт Вятский.

**Формулы авенина сорта Немчиновский 61 и линии 4h2708
и частота встречаемости биотипов**

Сорт Немчиновский 61		Линия 4h2708	
формула авенина, <i>Avl</i>	частота встречаемости, %	формула авенина, <i>Avl</i>	частота встречаемости, %
10.1.3	58	10.1.2	71
10.new1.3	22	10.1.1	25
10.1.2	14	new3.4.2	1
2.1.3	5	2.1.7	1
2.4.1	1	2.1.3	1

Таблица 6

**Формулы авенина у сорта Азиль и линии 66h2618
и частота встречаемости биотипов**

Сорт Азиль		Линия 66h2618	
формула авенина, <i>Avl</i>	частота встречаемости, %	формула авенина, <i>Avl</i>	частота встречаемости, %
2.1.7	55	2.1.3	94
2.1.3	45	4.1.1	3
		2.1.1	1
		2.4.1	3

Совпадение компонентного состава проламинов у образцов может свидетельствовать об идентичном наборе их базисных генов, совпадающих у всех популяций и особей вида. При этом для проламин-кодирующих локусов показана зависимость их аллельного состава от факторов естественного и искусственного отбора [4, 7, 10]. В этом случае аллели авенин-кодирующих локусов могут выступать в качестве маркеров каких-либо хозяйственно значимых признаков или даже ценных генотипов.

Таким образом, имея ряд идентичных генов, исследованные образцы могут отличаться по другим, в том числе морфологическим и хозяйственным признакам, что представляет интерес для селекции: как, например, у сорта Немчиновский 61 метелка крупная и рыхлая, а у линии 2h2348 метелка значительно мельче и компактная.

Помимо генетической близости, причиной появления групп образцов с идентичными спектрами может быть биологическое или простое механическое засорение. Для исключения влияния механической примеси на результаты исследований была построена дендрограмма, показывающая генетическую близость только между основными биотипами (с частотой встречаемости более 6%) проанализированных сортов и линий. Все описанные пары сортов и линий находятся на дендрограмме в составе одной из подгрупп первого кластера (выделены красным прямоугольником на рисунке 1).

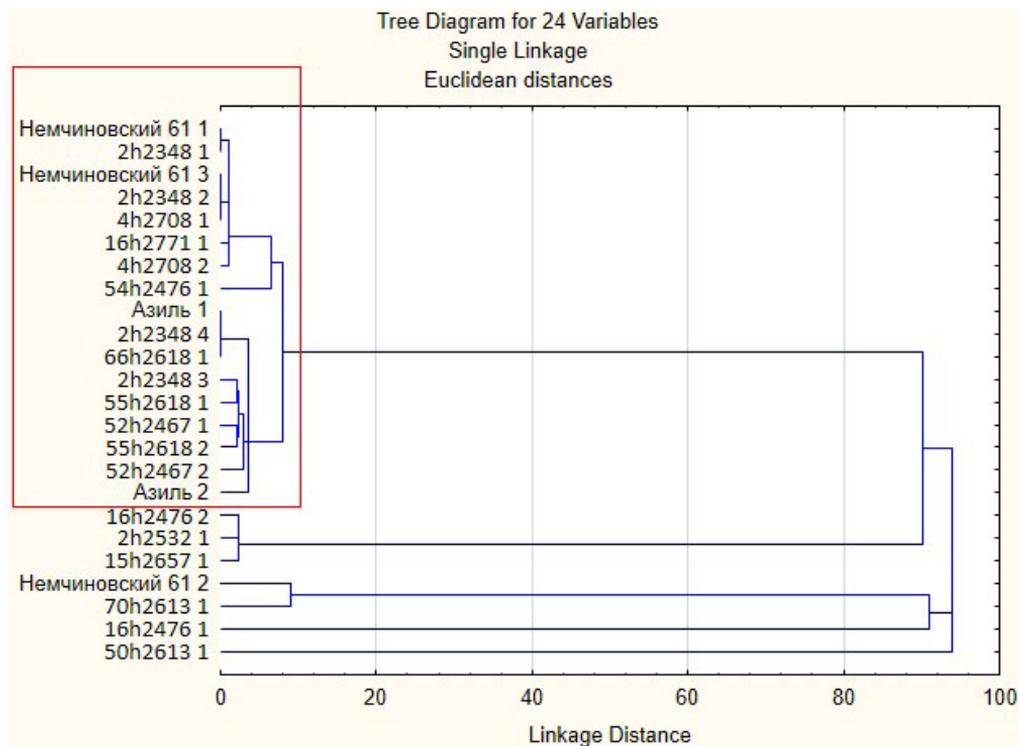


Рис. 1. Кластеризация основных биотипов сортообразцов голозерного овса немчиновской селекции по аллельному составу авенин-кодирующих локусов

Согласно результатам кластеризации генетические дистанции между описанными сортообразцами не превышают 10 ед., а в ряде случаев равны нулю. Это свидетельствует о генетической близости данных образцов, связанной, вероятнее всего, с их общим происхождением.

Введение в скрещивания одних и тех же генотипов может негативно сказаться на внутривидовом генетическом разнообразии популяции сортов определенного селекционного центра. Генетическая эрозия приводит к снижению устойчивости популяции, в том числе к заболеваниям и природно-климатическим факторам. Для расчета генетического разнообразия популяции голозерных образцов овса немчиновской селекции была оценена частота встречаемости аллелей АКЛ в основных биотипах (табл. 7). Установлено, что по локусу *Avn A* максимальную частоту встречаемости имеет аллель *A2* (45,8%), аллель *A10* встречается в 29,2% случаев.

Следует отметить, что аллель *A2* имеет значительное распространение среди сортов овса отечественной и зарубежной селекции, а аллель *A10* является достаточно редким. Его высокая встречаемость в селекционном материале ФИЦ «Немчиновка» может свидетельствовать о сцеплении аллеля *A10* с хозяйственно-ценными и адаптивно значимыми для немчиновского центра признаками.

По локусу *Avn B* наибольшую частоту встречаемости имеет аллель *B1*–45,8%. Аллели *B6*, *Bnew1*, *B7* и *B4* имеют частоту встречаемости 12,5%. По локусу *Avn C* чаще всего встречаются аллели *C3* (37,5%) и *C2* (20,8%). Аллель *C1* имеет частоту встречаемости 16,7%, а *C7*–12,5%.

На основе данных о частоте встречаемости аллелей авенин-кодирующих локусов были рассчитаны показатели генетической структуры популяции сортообразцов и внутривидовое генетическое разнообразие (табл. 8).

Таблица 7

Частота встречаемости аллелей авенин-кодирующих локусов в селекционном материале голозерного овса ФИЦ «Немчиновка» (для основных биотипов)

№ п/п	Локус <i>Avn A</i>		Локус <i>Avn B</i>		Локус <i>Avn C</i>	
	аллель	частота встречаемости, %	аллель	частота встречаемости, %	аллель	частота встречаемости, %
1	2	45,8	1	45,8	3	37,5
2	10	29,2	6	12,5	2	20,8
3	new2	8,3	new1	12,5	1	16,7
4	new3	8,3	7	12,5	7	12,5
5	11	8,3	4	12,5	5	8,3
6			new2	4,2	new1	4,2

Таблица 8

Генное разнообразие (H), внутривидовое разнообразие (μ) и доля редких морф (h) в популяции исследованных сортобразцов овса

Авенин-кодирующий локус	Показатель				
	генное разнообразие, H			внутривидовое разнообразие, μ	доля редких морф, h
<i>Avn A</i>	0,71	0,75±0,041	5	4,33±0,354	0,13
<i>Avn B</i>	0,75		6	5,27±0,400	0,12
<i>Avn C</i>	0,79		6	5,39±0,367	0,09

Оценка величины внутривидового разнообразия дает возможность определить степень разнокачественности особей в популяции. При этом чем равномернее распределены аллели в выборке, тем ближе μ к значению общего числа вариаций признака. На основе данного показателя рассчитывается значение доли редких морф, по которому можно судить о стабильности анализируемой популяции. Значение h возрастает в неблагоприятных условиях при увеличении генетической изменчивости, что является следствием адаптивных способностей популяции к стрессовым воздействиям.

Согласно данным таблицы 8 в популяции исследованных сортобразцов голозерного овса наибольшее внутривидовое генетическое разнообразие характерно для локуса *Avn C*. По этому же локусу наблюдается самое низкое значение доли редких морф – 0,09. Минимальные значения внутривидового и внутривидового генетического разнообразия отмечены для локуса *Avn A* – 0,71 и 4,33 соответственно. Величина доли редких морф по этому локусу максимальна для данной выборки – 0,13. Вероятно, аллели локуса *Avn A* сцеплены с адаптивными генными комплексами и могут быть перспективными для дальнейшего изучения в качестве маркеров ценных ассоциаций генов.

В целом генетическое разнообразие по всем трем авенин-кодирующим локусам в исследованной выборке характеризуется как высокое. Это свидетельствует об эффективном использовании в селекционном процессе по овсу в ФИЦ «Немчиновка» генетически разнообразного исходного материала. Наличие совпадающих электрофоретических спектров в образцах не имело отрицательного влияния на показатели генетической структуры проанализированной популяции образцов. В основных биотипах исследованных сортообразцов выявлены новые аллели с частотой встречаемости от 4,2 до 12,5% (табл. 7). Также высокую частоту встречаемости имеют аллельные варианты, редкие в сортах происхождения из других регионов (*A10*, *B6*, *C7*). По нашему мнению, это может свидетельствовать о формировании в ФИЦ «Немчиновка» отдельного генного пула, характерного для данного селекционного центра.

Выводы

Разработаны эталонные спектры проламина для 14 образцов овса посевного секции ФИЦ «Немчиновка». Установлено, что все исследованные образцы – гетерогенные по компонентному составу авенина. Количество биотипов в образцах варьирует от 2 до 14. Обнаружены блоки компонентов авенина, отсутствующие в каталоге генетической номенклатуры: по локусу *Avn A* – 4 блока; *Avn B* – 2 блока; *Avn C* – 1 блок. Определен их вероятный компонентный состав. Выявлено 14 групп, объединяющих генотипы с идентичным компонентным составом авенина.

Для выявления причин идентичности биотипов разных сортов и селекционных линий необходим анализ их родословных. Установлено, что по локусу *Avn A* максимальную частоту встречаемости имеет аллель *A2* (45,8%). На втором месте по частоте встречаемости был аллель *A10*–29,2%. По локусу *Avn B* наибольшую частоту встречаемости имеет аллель *B1*–45,8%. По локусу *Avn C* чаще всего встречаются аллели *C1* (37,5%), *C2* (20,8%) и аллель *C7* (12,5%). Установлено высокое значение среднего генного разнообразия по всем трем локусам. Это свидетельствует об эффективном использовании в селекционном процессе генетически разнообразного исходного материала.

Библиографический список

1. Биометрия: Учебное пособие / Н.В. Глотов, Л.А. Животовский, Н.В. Хованов, Н.Н. Хромов-Борисов. – Ленинград: Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, 1982. – 263 с.
2. Изучение генетического разнообразия сортов мягкой озимой пшеницы по глиадинкодирующим локусам / А.Ю. Новосельская-Драгович Л.А. Беспалова, А.А. Шишкина [и др.] // Генетика. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 324. – DOI 10.7868/S0016675815030108.
3. Молекулярно-биологические исследования генофонда культурных растений в ВИРе (1967–2007 гг.) / Сост. В.В. Сидорова, А.В. Конарев. – Изд. 2-е доп. – СПб.: ВИР, 2007. 134 с.
4. Конарев А.В. Использование молекулярных маркеров в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции / А.В. Конарев // Аграрная Россия. – 2006. – № 6. – С. 4–22.
5. Любимова А.В. Изучение характера наследования компонентов авенина у гибридов F_2 от скрещивания сортов овса посевного сибирской селекции / А.В. Любимова // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 2 (217). – С. 48–59. – DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-48-59.
6. Поморцев А.А. Структура полиморфизма гордеинов, контролируемых аллелями локусов *HrdA* и *HrdB*, в диком ячмене (*Hordeum spontaneum* С.

Koch) / А.А. Поморцев, А.В. Рубанович, Е.В. Лялина // Генетика. – 2022. – Т. 58, № 3. – С. 267–298. – DOI: 10.31857/S0016675822030110.

7. Генетический контроль авенинов и принципы их классификации / В.А. Портянко, А.А. Поморцев, Н.А. Калашник [и др.] // Генетика. – 1987. – № 23 (5). – С. 845–853.

8. A catalog of gliadin alleles: Polymorphism of 20th-century common wheat germplasm / E. Metakovsky, V. Melnik, M. Rodriguez-Quijano [et al.] // The Crop Journal. – 2018. – V. 6, Is. 6. – P. 628–641. – DOI: 10.1016/j.cj.2018.02.003.

9. *Hailegiorgis D.* Allelic variation at the gliadin coding loci of improved Ethiopian durum wheat varieties / D. Hailegiorgis, C.A. Lee, S.J. Yun // Journal of Crop Science and Biotechnology. – 2017. – V. 20(4). – P. 287–293.

10. The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop / N. Kamal, N. Tsardakas Renhuldt J. Bentzer [et al.] // Nature. – 2022. – V. 606. – P. 113–119. – DOI: 10.1038/s41586-022-04732-y

11. *Kapala A.* Variability of electrophoretic subunit patterns of hordein proteins in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) // Genetica Polonica. 1981. V. 22. N. 2. P. 163–176.

12. *Nielsen G.* and *Johansen H.B.* Proposal for identification of barley varieties based on the genotypes for 2 hordein and 39 isoenzyme loci of 47 reference varieties // Euphytica. 1986. V. 35. P. 717–728.

13. *Nevo E., Beiles A., Storch N.* Microgeographic edaphic differentiation in hordein polymorphism of wild barley // Theor. Appl. Genet. 1983. V64. P. 123–132.

14. *Nei M.* Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases / M. Nei, W. Li // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1979, vol. 76. pp. 5269–5273.

GENETIC DIVERSITY OF VARIETIES AND LINES OF NAKED OATS OF THE SELECTION OF FRC “NEMCHINOVKA”

A.D. KABASHOV¹, A.V. LYUBIMOVA², N.M. VLASENKO¹, A.S. KOLUPAEVA¹

¹Federal Research Center “Nemchinovka”,

²Federal Research Centre “The Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”)

To assess the control of biotype constancy of naked oat varieties during cultivation, a highly effective method of electrophoresis of spare seed proteins – prolamins – is increasingly used in primary seed production. The aim of the research was to certify naked oat varieties of the FRC “Nemchinovka” selection and to analyze their genetic diversity using alleles of avenin-coding loci. Chemical-technological, computational-constructive and statistical research methods were used in the work. The method of electrophoresis of spare alcohol-soluble proteins of oats – avenins – was used. Electrophoresis was carried out in vertical plates of 13.2% polyacrylamide gel at a constant voltage of 500 V using VE-20 electrophoretic chambers (Helicon, Russia). As a result of the conducted studies, it was found that all the analyzed samples were heterogeneous in the composition of avenin components, with the number of biotypes ranging from 2 to 14 pcs. The frequency of occurrence of biotypes in the samples varied from 1.0 to 97.0%. The blocks of avenin components missing in the catalog of genetic nomenclature were found: four blocks by Avn A locus, two blocks by Avn B locus, and one block by Avn C locus. Their probable component composition was determined. A high value of the average gene diversity was found for all three loci. This indicates the effective use of genetically diverse source material in the breeding process.

Keywords: primary seed production, electrophoresis, biotype composition of the variety, naked oats.

References

1. Glotov N.V., Zhivotovsky L.A., Khovanov N.V., Khromov-Borisov N.N. Biometrics: Textbook. Leningrad: Leningradskiy gosudarstvenniy universitet im. A.S. Pushkina, 1982:26. (In Russ.)
2. Novosel'skaya-Dragovich A.Yu., Bespalova L.A., Shishkina A.A. et al. Study of the genetic diversity of soft winter wheat varieties by gliadin-coding loci. *Russian Journal of Genetics*. 2015;51(3):324. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0016675815030108>
3. Sidorova V.V., Konarev A.V. (comp.). Molecular biological studies of the gene pool of cultivated plants at VIR (1967–2007). 2nd ed., add. St. Petersburg: VIR, 2007:134. (In Russ.)
4. Konarev A.V. The use of molecular markers in solving problems of plant genetic resources and selection. *Agrarnaya Rossiya*. 2006;6:4–22. (In Russ.)
5. Lyubimova A.V. Studying the nature of inheritance of avenin components in F₂ hybrids from crossing oat varieties of Siberian selection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;2(217):48–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-217-02-48-59>
6. Pomortsev A.A., Rubanovich A.V., Lyalina E.V. The polymorphism structure of hordeins encoded by the Hrd A and Hrd B loci in wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch). *Russian Journal of Genetics*. 2022;58(3):267–298. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0016675822030110>
7. Portyanko V.A., Pomortsev A.A., Kalashnik N.A., Bogachkov V.I., Sozinov A.A. Genetic control of avenins and principles of their classification. *Russian Journal of Genetics*. 1987;23(5):845–853. (In Russ.)
8. Eugene Metakovsky, Viktor Melnik, Marta Rodriguez-Quijano, Vladimir Upelnik, Jose Maria Carrillo. A catalog of gliadin alleles: Polymorphism of 20th-century common wheat germplasm. *The Crop Journal*. 2018;6(6):628–641. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.02.003>
9. Hailegiorgis D, Lee C.A, Yun S.J. Allelic variation at the gliadin coding loci of improved Ethiopian durum wheat varieties. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2017;20(4):287–293.
10. Kamal N., Tsardakas Renhuldt N., Bentzer J. et al. The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop. *Nature*. 2022;606:113–119. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04732-y>
11. Kapala A. Variability of electrophoretic subunit patterns of hordein proteins in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Genetica Polonica*. 1981;22(2):163–176.
12. Nielsen G., Johansen H.B. Proposal for identification of barley varieties based on the genotypes for 2 hordein and 39 isoenzyme loci of 47 reference varieties. *Euphytica*. 1986;35:717–728.
13. Nevo E., Beiles A., Storch N. Microgeographic edaphic differentiation in hordein polymorphism of wild barley. *Theor. Appl. Genet.* 1983;64:123–132.
14. Nei M., Li W. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1979;76:5269–5273.

Александр Дмитриевич Кабашов, канд. с.-х. наук, и.о. заведующего лабораторией селекции и первичного семеноводства овса, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»; 143026, Российская Федерация, Московская область, г.п. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6; ovesmoskov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7450-3845>

Анна Валерьевна Любимова, канд. биол. наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН»; 625026, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86; ostapenkoav88@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1570-9595>

Николай Михайлович Власенко, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства овса, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»; 143026, Российская Федерация, Московская область, г.п. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6; ovesmoskov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5832-7562>

Анастасия Сергеевна Колупаева, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства овса, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»; 143026, Российская Федерация, Московская область, г.п. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6; ovesmoskov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2528-1422>

Aleksandr D. Kabashov, CSc (Ag), Acting Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Oats, Federal Research Center “Nemchinovka” (6, Agrokhimikov Str, Novoivanovskoe workers’settlement, Odintsovo, Moscow Region, 143026, Russian Federation; E-mail: ovesmoskov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7450-3845>)

Anna V. Lyubimova, CSc (Bio), Head of the Laboratory, Federal Research Centre “The Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” (86, Malygina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation; E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1570-9595>)

Nikolay M. Vlasenko, CSc (Ag), Leading Research Associate, Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Oats, Federal Research Center “Nemchinovka” (6, Agrokhimikov Str, Novoivanovskoe workers’settlement, Odintsovo, Moscow Region, 143026, Russian Federation; E-mail: ovesmoskov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5832-7562>)

Anastasia S. Kolupaeva, Research Associate, Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Oats, Federal Research Center “Nemchinovka” (6, Agrokhimikov Str, Novoivanovskoe workers’settlement, Odintsovo, Moscow Region, 143026, Russian Federation; E-mail: ovesmoskov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2528-1422>)

АНАЛИЗ ИММУНОРЕАКТИВНОСТИ АВЕНИНОВ СОРТОВ ОВСА ПОСЕВНОГО (*AVENA SATIVA* L.), ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.В. ЛЮБИМОВА, Д.И. ЕРЁМИН, М.Н. ФОМИНА

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»)

Целиакия – это аутоиммунное заболевание, возникающее у генетически восприимчивых людей после употребления в пищу проламинов злаков. Единственное средство лечения целиакии – пожизненная безглютеновая диета, но ее соблюдение также может негативно сказаться на состоянии здоровья. Хорошим решением может быть включение в такую диету продуктов из овса. Однако разные сорта овса отличаются по своей иммуногенности, и важнейшее значение имеет изучение иммунореактивности их проламинов для выявления безглютеновых генотипов. Целью исследований стала оценка иммуногенности сортов и перспективных селекционных линий овса посевного, возделываемых на территории Тюменской области в период с 1929 по 2023 гг. для использования в селекции безглютеновых сортов. Определение количества глютена в зерне осуществляли методом иммуноферментного анализа с использованием тест-систем, основанных на применении антител R5 и G12. В ходе исследований было выявлено, что ни один из образцов не проявил иммунореактивности по отношению к антителу R5. При использовании антитела G12 установлено, что все проанализированные сорта относятся к безглютеновым: содержание глютена в них варьирует от 2,14 (Нидар) до 9,55 (ТМ 16–58–4) мг/кг. Особого внимания заслуживает сорт Орёл, содержание глютена в зерне которого – менее 2 мг/кг. Этот генотип является перспективным для включения в селекционный процесс на получение безглютеновых сортов. Среднее содержание глютена в образцах местной селекции составляет $5,23 \pm 0,678$ мг/кг и достоверно превышает этот показатель у иностранных и инорайонных сортов, что связано с введением в скрещивания более аллергенных сортов. Иммуногенность сортов связана с конкретными аллелями авенин-кодирующих локусов. Аллели A11, B11 и C2 могут быть перспективны в качестве маркеров безглютеновых сортов. Для успешного развития селекции безглютеновых сортов овса необходимы анализ аллельного состояния авенин-кодирующих локусов исходных генотипов и определение содержания в них глютена с антителом G12.

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* L.), целиакия, безглютеновая диета, глютен, авенин, иммуноферментный анализ, антитела R5 и G12, авенин-кодирующий locus.

Введение

Целиакия – это наследственное пожизненное аутоиммунное заболевание, характеризующееся воспалительной реакцией на глютен у генетически восприимчивых людей. Ею страдает около 1% всего населения планеты. Глютенom называют смесь полипептидов, содержащихся в зерне таких злаков, как пшеница, ячмень, рожь и овес. Глютен пшеницы состоит из двух фракций: растворимых в спирте глиадинов и растворимых в слабых растворах щелочей глютенинов. Аналогичные спирторастворимые белки присутствуют в зерне ячменя, ржи и овса: гордеины, секалины и авенины соответственно [8, 19]. Наиболее иммуногенными белками являются

глиадины, так как в их состав входит большое количество пролина и глутамина – основных аминокислот, ответственных за запуск иммунного ответа при целиакии.

Известно, что аминокислотный состав проламинов можно соотнести с ботанической генеалогией злаковых. Состав спирторастворимых белков пшеницы схож с таковым у других злаков, относящихся к трибе *Triticeae* – ячменя, ржи. Овес же относится к трибе *Poeae*, подтрибе *Aveninae*. Авенины овса филогенетически более далеки от проламинов пшеницы, ржи и ячменя и при том же уровне глутамина содержат значительно меньше пролина. В результате эти белки по своему составу занимают промежуточное положение между проламинами злаков из трибы *Triticeae* и другими злаками и больше напоминают белки риса и двудольных растений [7, 11, 17].

Единственное эффективное средство лечения людей с целиакией – это строгая пожизненная безглютеновая диета, при которой пшеница, ячмень, рожь и их производные должны быть заменены продуктами, полученными из зерновых культур, не содержащих глютен. Однако на такой диете трудно получить необходимое для организма количество клетчатки, железа и кальция.

У людей, соблюдающих безглютеновую диету, возникают проблемы в состоянии здоровья, связанные с составом и питательными качествами безглютеновых продуктов [4]. Состояние больного целиакией может улучшить включение в его диету продуктов из овса, поскольку это важный источник белков, липидов, витаминов, минералов и клетчатки. Большинство людей, страдающих целиакией, переносят овес без каких-либо признаков воспаления кишечника [20, 23]. При этом вопрос его иммуногенности по сей день остается открытым, так как проводимые в мире исследования дают противоречивые сведения в отношении токсичности авенинов.

Утверждается, что чистый овес безопасен для большинства людей, страдающих целиакией [6, 22]. Однако в ряде исследований показано, что иммуногенность овса варьирует в зависимости от потребляемого сорта и связана с наличием в токсических проламинах специфических аминокислотных последовательностей, проявляющих различную иммунореактивность [3, 13, 26]. На сегодняшний день описано 25 генов, расположенных на трех хромосомах (1D, 3D и 7A) и контролирующих синтез авенинов [14], но это достаточно полиморфные белки, и описание генов, контролирующих их, остается неполным. Это значительно затрудняет оценку генотипов овса на наличие в них генов токсических авенинов.

Существует несколько качественных и количественных аналитических методов для обнаружения и количественного определения глютена и глютенopodobных белков. Наиболее популярным в настоящее время является иммуноферментный анализ: enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). В большинстве коммерческих ELISA для количественного определения глютена используются моноклональные антитела – такие, как Скерритт, R5 и G12 [27]. Комбинация иммуноферментного анализа с антителом R5 и запатентованного коктейля носит название «метод Мендеса» и является эталонным методом, рекомендуемым Комиссией «Кодекс Алиментариус» (свод пищевых международных стандартов, принятых Международной комиссией ФАО/ВОЗ) для определения количества глютена и глютенopodobных белков в пищевых продуктах, полуфабрикатах и зерне, в том числе в зерне овса. При этом проба считается безглютеновой, если концентрация глютена в ней составляет менее 20 мг/кг. К продуктам с очень низким содержанием глютена относят те, в которых содержание этого вещества находится в пределах от 20 до 100 мг/кг [5, 16].

Таким образом, наблюдается разнообразие в потенциальной иммуногенности овса, зависящее от сорта, и важнейшее значение приобретает тщательное изучение разнообразия сортов входящих в их состав белков и их иммуногенности для выявления безглютеновых генотипов. В последующем это даст возможность выбрать

безопасные генотипы для использования в безглютеновом питании и позволит создавать новые сорта, не содержащие глютен [13, 15].

Западная Сибирь (и, в частности, Тюменская область) считается оптимальным регионом для выращивания овса в продовольственных целях. С 20-х гг. XX в. в регионе было районировано 19 сортов, отличающихся по месту происхождения, родословной и хозяйственно значимым признакам. Кроме того, показано, что эти генотипы характеризуются достаточно высоким разнообразием по компонентному составу авенинов, а все сорта местной селекции уникальны по аллельному составу авенин-кодирующих локусов [1, 18].

Цель исследований: оценка иммуногенности генотипов овса посевного, возделываемых на территории Тюменской области в период с 1929 по 2023 гг. для использования в селекции безглютеновых сортов.

Материал и методы исследований

Испытания проводили в лаборатории геномных исследований в растениеводстве ТюмНЦ СО РАН в 2023 г. Для анализа были отобраны сорта овса посевного, включенные в Государственный реестр селекционных достижений по Тюменской области в 1929–2023 гг. Также были изучены перспективный сорт Сириус и селекционные линии ТМ 16–33–11, ТМ 16–58–4 селекции ТюмНЦ СО РАН (табл. 1).

Всего было проанализировано 22 генотипа. Материал для исследований был предоставлен из коллекции Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова и коллекции научно-исследовательского института Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН».

Определение количества глютена в зерне осуществляли методом непрямого неконкурентного гетерогенного иммуноферментного анализа (ИФА сэндвич-типа) с использованием тест-систем Ridascreen Gliadin R7001 (R-Biopharm, Германия) и AgraQuant глютен G12 (Romer Labs, Австрия), основанных на применении антител R5 и G12, соответственно.

Для анализа зерновки каждого образца предварительно освобождали от пленок, затем отбирали пробы массой 5 г. Образцы гомогенизировали с применением лабораторной мельницы. Экстракцию и определение глютена проводили: для тест-систем Ridascreen Gliadin R7001 – в соответствии с методическими указаниями 4.1.2880–11 [2] и инструкцией производителя, с использованием коктейля (официальный метод R5-Мендес); AgraQuant глютен G12 – согласно рекомендациям производителя.

Для оценки содержания глютена с применением тест-систем Ridascreen Gliadin R7001 взвешивали по 1 г каждого гомогенизированного образца в пробирках емкостью 50 мл. К пробе добавляли 10 мл коктейля Мендеса. Далее пробы инкубировали на водяной бане в течение 40 мин при 50°C, периодически встряхивая. После охлаждения образцов до комнатной температуры к ним добавляли 30 мл 80%-ного этанола с последующим встряхиванием в течение 1 ч на ротационном перемешивателе (Loopster basic, ИКА, Германия). Далее 2 мл экстракта центрифугировали в течение 10 мин при 10 000 g. Сразу после этого полученные супернатанты анализировали методом ИФА согласно протоколу производителя.

Для анализа содержания глютена с помощью тест-систем AgraQuant глютен G12 отбирали по 0,25 г гомогенизированного образца и смешивали с 2,5 мл экстракционного буфера из набора. Экстракт инкубировали на водяной бане в течение 40 мин при 50°C, затем к охлажденному образцу приливали 7,5 мл 80%-ного этанола и смешивали в течение 1 ч на ротационном перемешивателе. Затем пробы центрифугировали в течение 10 мин при 2000 g, разбавляли полученный супернатант буфером разведения в пропорции 1:10 и сразу проводили оценку содержания глютена в соответствии с протоколом производителя.

Исследованные образцы овса посевного

№ п/п	Сорт	Разновидность	Регион/страна происхождения	Период районирования, гг.
1	Победа	mutica	Швеция	1929–1963
2	Золотой дождь	aurea	Швеция	1929–1976
3	Орел	mutica	Швеция	1939–1982
4	Ударник У-883	aurea	Красноярский край, РФ	1957–1960
5	Нидар	mutica, aristata	Норвегия	1957–1963
6	Северянин	aurea	Архангельская обл., РФ	1966–1974
7	Скороспелый	aurea	Кировская обл., РФ	1974–1981
8	Нарымский 943	mutica	Томская обл., РФ	1975–1996
9	Таежник	aurea	Томская обл., РФ	1977–2001
10	Астор	mutica, aristata	Нидерланды	1978–2000
11	Сельма	mutica	Швеция	1981–1993
12	Мегион	mutica	Тюменская обл., РФ	1993–н.в.
13	Новосибирский 88	mutica	Новосибирская обл., РФ	1994–2004
14	Тюменский голозерный	inermis	Тюменская обл., РФ	2000–н.в.
15	Талисман	mutica	Тюменская обл., РФ	2002–н.в.
16	Отрада	mutica	Тюменская обл., РФ	2014–н.в.
17	Фома	mutica	Тюменская обл., РФ	2015–н.в.
18	Тоболяк	mutica	Тюменская обл., РФ	2020–н.в.
19	Радужный	mutica	Тюменская обл., РФ	2022–н.в.
20	Сириус	mutica	Тюменская обл., РФ	–
21	ТМ 16–33–11	mutica	Тюменская обл., РФ	–
22	ТМ 16–58–4	mutica	Тюменская обл., РФ	–

Примечание. н.в. – настоящее время; – – образец не включен в Государственный реестр селекционных достижений по Тюменской области.

Оптическую плотность определяли на планшетном спектрофотометре Multi-skan FC (Thermo Fisher Scientific, США) при длине волны 450 нм. Все измерения проводили в трех повторениях.

Для оценки результатов анализа применяли программное обеспечение RIDA® SOFT Win, разработанное для систем RIDASCREEN, и официальное приложение, разработанное Romer Labs для тест-систем AgraQuant глютен G12. Для создания стандартной кривой использовали кубический сплайн. Достоверность различий в содержании глютена в образцах оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа и t-критерия Стьюдента с использованием пакета программ STATISTICA 10 (StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10).

Результаты и их обсуждение

Моноклональное антитело R5 было продуцировано против секалина ржи и прочно связывается с эпитопами QQPFP, QQQFP, LQPFP, QLFPF в α - β -, ω 1,2- и γ -глиадинах пшеницы. Кроме того, это антитело обладает высокой чувствительностью к ω -, γ -40k- и γ -75k секалинам ржи и В-, С- и γ -гордеинам ячменя [24].

В исследованиях ни один из анализируемых образцов овса не проявил реактивности к антителу R5. Содержание глютена во всех пробах было ниже предела обнаружения (менее 5 мг/кг). Однако отрицательная реакция в нашем случае не означает отсутствия иммунореактивности. В мировой литературе опубликовано достаточно большое количество данных, свидетельствующих в пользу того, что антитело R5 позволяет успешно выявлять сорта овса с высоким содержанием глютеносодобных белков [9]. При этом ряд авторов утверждает, что эпитопы, с которыми связывается это антитело, отсутствуют у овса, и данный метод в большей степени подходит для определения загрязнения овсяной продукции или партий зерна пшеницей, ячменем и рожью [12, 13].

Более перспективным для оценки иммуногенности сортов овса, по данным литературы, является антитело G12. Оно было продуцировано против синтетического 33-мерного (LQLQPFPQPQLPYPQPQLPYPQPQLPYPQPQPF) α 2-глиадина, который, как предполагается, является причиной иммуногенности сортов. Антитело G12 распознает эпитоп QPQLPY пептида [27]. При изучении токсических свойств проламинов овса I. Comino и соавт. (2019) отметили, что реактивность антитела G12 коррелирует со степенью иммуногенности сортов несколько больше, чем у антитела R5.

По мнению авторов, отсутствие реактивности к антителу G12 может свидетельствовать о низком риске потенциальной иммунотоксичности, связанном как с отсутствием токсичных примесей зерновых, так и с очень низким содержанием иммуногенных пептидов у сортов овса [12].

В результате анализа образцов овса посевного с данным антителом установлено, что ни у одного из них количество глютена не превышает 20 мг/кг (рис. 1). У сортов Фома, Скороспелый, Отрада, Тоболяк и селекционных линий ТМ 16–33–11 и ТМ 16–58–4 количество глютена превышало предел обнаружения для антитела R5, достигая значений 5,02...9,55 мг/кг. Это опровергает результаты, полученные с использованием антитела R5. У большей части оставшихся генотипов количество глютена было между пределом обнаружения (LOD = 2,0) и нижним пределом количественного определения (LOQ = 4,0). Его содержание варьировало от 2,14 (Нидар) до 3,91 мг/кг (Сириус).

Необходимо отметить, что все проанализированные образцы в соответствии с классификацией, предложенной Комиссией «Кодекс Алиментариус» (CODEX STAN118/1979), могут быть отнесены к безглютеновым, так как содержание глютена в них не превышает 20 мг/кг [5].

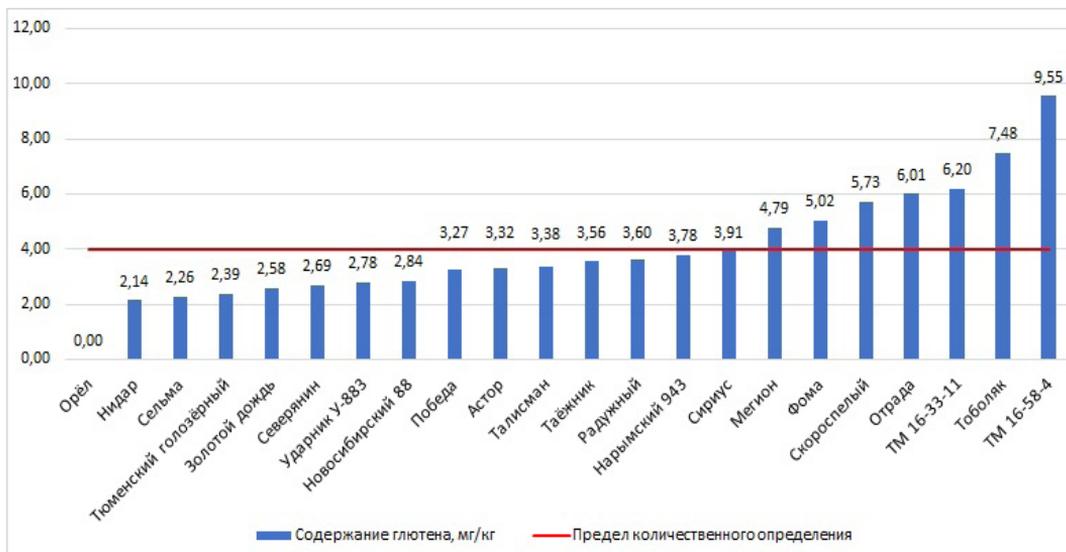


Рис. 1. Содержание глютена, мг/кг, в образцах овса посевного, определенное с использованием моноклонального антитела G12

Примечание. Различия достоверны при $F = 43,40$; $p < 0,05$; $SS = 0,88$; $MS = 0,04$; $d.f. = 11$

В мировой литературе описано несколько принципов подразделения сортов овса на группы в зависимости от их иммунореактивности с антителами G12 и R5. Ряд исследователей предлагает разделение на 3 группы: со значительным сродством к антителу (более 100 мг/кг); с промежуточной реактивностью; группу, чьи проламинины не распознаются антителом [9, 25]. С другой стороны, V. Dvořáček и соавт. (2020) при исследовании коллекции из 132 сортов посевного овса подразделили их на группы с относительно высоким (12–16 мг/кг) и низким содержанием глютена. При этом не были выявлены образцы, содержание глютена в которых превышало бы 20 мг/кг. Полученные нами результаты согласуются с этим утверждением. Все проанализированные нами образцы можно отнести к группе с низким содержанием глютена.

Необходимо отметить, что V. Dvořáček и соавт. (2020) при многолетнем изучении токсических свойств сортов овса выявили сильную изменчивость содержания глютена по годам: у большинства образцов она достигала 30%. Причиной такой изменчивости может быть как влияние условий окружающей среды, так и идентификация глютенподобных эпитопов в авенинах, отличающихся от таковых глютена пшеницы [12, 21].

Известно, что иммуногенность сортов овса, оцениваемая по активации Т-клеток, коррелирует с реактивностью к основным моноклональным антителам [12]. Это означает, что образцы овса, характеризующиеся низким содержанием глютена по результатам иммуноферментного анализа, имеют широкие перспективы для использования в безглютеновой диете. Отдельного внимания заслуживает сорт Орёл, содержание глютена в пробе которого было ниже предела обнаружения (менее 2 мг/кг). Данный генотип является перспективным для использования в селекции на получение неиммуногенных сортов, пригодных для использования в питании людей, страдающих аллергией на глютен.

Авенины овса наследуются кодоминантно и контролируются тремя независимыми кластерами генов, именуемыми как авенин-кодирующие локусы *Avn A*, *Avn B*, *Avn C*. Для каждого из кластеров описаны аллели, которые контролируют синтез определенных групп авенинов. При проведении нативного электрофореза можно

идентифицировать эти аллели благодаря наличию каталога генетической номенклатуры, описывающего блоки компонентов, контролируемые ими. Эти блоки весьма стабильны и наследуются без изменений. Частота рекомбинаций внутри блоков компонентов авенина крайне низка. Все это позволяет отслеживать передачу отдельных блоков от родительских генотипов к гибридам на протяжении большого количества поколений.

Необходимо отметить, что в предыдущих исследованиях нами было установлено, что сорт Орёл по компонентному составу авенинов идентичен второму биотипу сорта Победа и имеет генетическую формулу авенина *Avn 11.11.2*, формула сорта Победа: *Avn 2+11.11.2* [1]. Наличие идентичных аллелей АКЛ объяснимо тем, что сорт Орёл получен методом отбора из сорта Победа. При этом более высокое содержание глютенopodobных белков в сорте Победа, по нашему мнению, связано с наличием аллеля *A2* в его первом биотипе. Вероятно, один или несколько генов, образующих кластер с аллельным состоянием *A2*, контролируют синтез глютенopodobных пептидов.

В исследованной коллекции присутствуют еще 2 образца, формула авенинов которых отличается от сорта Орёл лишь одним аллелем, – это Талисман и Фома: *Avn 11.4.2* и *Avn 11.11.8* соответственно. Содержание глютена в пробах этих сортов составило 3,38 и 5,02 мг/кг соответственно. Таким образом, можно предположить, что аллели *B4* и *C8* также контролируют синтез глютенopodobных пептидов.

Ранее нами было установлено, что частота встречаемости аллелей АКЛ в популяциях сортов овса, районированных в Тюменской области, изменялась с течением времени и зависела от набора сортов, возделываемых в конкретный период. Аллели, характерные для иностранных сортов, постепенно были замещены аллелями сортов российской, а затем и местной селекции. Только иностранные или инорайонные сорта возделывались в Тюменской области вплоть до 1993 г. [18]. К настоящему времени успешное развитие направления селекции зернофуражных культур в регионе привело к тому, что 100% возделываемых в области сортов – это сорта местной селекции.

Чтобы оценить, как повлиял переход на сорта собственной селекции на содержание глютена в зерне, все обследованные образцы были подразделены на 2 группы: сорта, выведенные в ТюмНЦ СО РАН, и инорайонные/иностраные сорта (табл. 2).

Установлено, что среднее содержание глютена в образцах местной селекции почти в 2 раза выше, чем у инорайонных: разница между средними значениями составляет 2,32 мг/кг. Отличия, по нашему мнению, обусловлены введением в скрещивания для получения этих сортов генетически отличающегося исходного материала. В данном случае более высокая иммунореактивность сортов местной селекции, вероятнее всего, связана с тем, что большей аллергенностью обладают включаемые в скрещивания генотипы.

Таблица 2

Среднее содержание глютена в образцах овса местной селекции и инорайонных/иностраных образцах, определенное с антителом G12

	Образцы	
	местной селекции	инорайонные/иностраные
Среднее содержание глютена, мг/кг	5,23±0,678	2,91±0,380

Примечание. Различия достоверны при $p = 0,0054$; $df = 20$; $t\text{-value} = -3,12$.

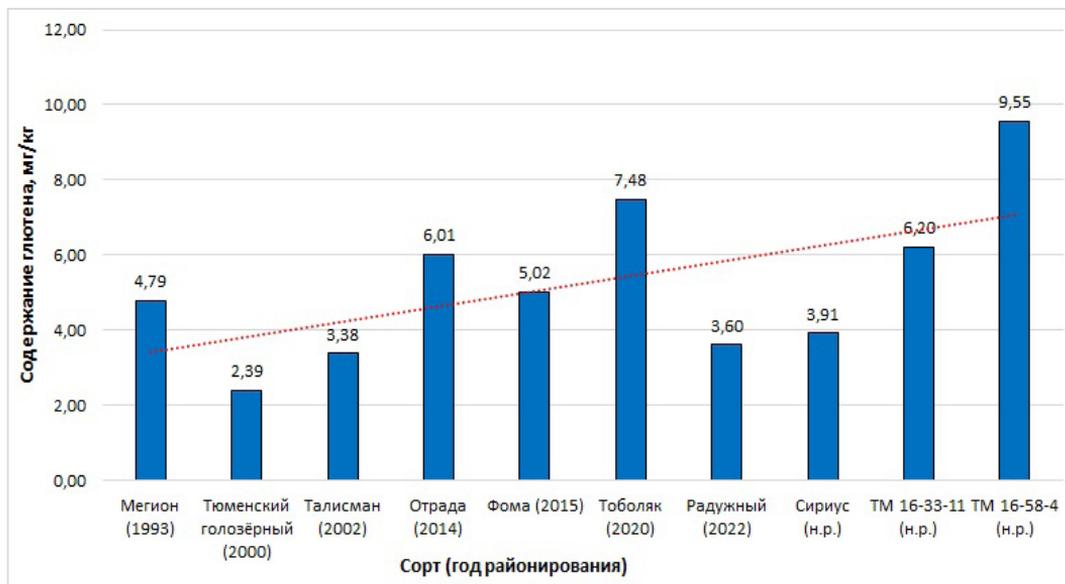


Рис. 2. Динамика содержания глютена в образцах овса Тюменской селекции: н.р. – образец не включен в Государственный реестр селекционных достижений
Примечание. Различия достоверны при $F = 23,56$; $p < 0,05$; $SS = 8,54$; $MS = 0,04$; $d.f. = 9$

Оценка динамики содержания глютена во времени в образцах местной селекции показала, что наблюдается тенденция повышения иммунореактивности (рис. 2). Исключение составляют сорта Радужный и Сириус, количество глютена в которых составляет 3,60 и 3,91 мг/кг соответственно. Оба образца получены от скрещивания сортов Тюменский голозерный и Мегион, которые характеризуются низким содержанием глютена. Данный факт свидетельствует о том, что для создания неиммуногенных генотипов овса необходимо подбирать исходный материал, характеризующийся низким содержанием глютена. С учетом крайне низкой вероятности рекомбинаций внутри блоков, контролируемых различными аллелями АКЛ, потомство, полученное от скрещивания генотипов с низким содержанием глютена, также будет характеризоваться неиммуногенностью.

Таким образом, объединение данных о характере наследования авенинов, об аллельном состоянии АКЛ исследуемых генотипов овса и о содержании в них глютена позволит успешно и направленно создавать сорта овса целевого назначения, пригодные для безглютенового питания.

Выводы

1. Ни один из проанализированных образцов не проявил иммунореактивности по отношению к антителу R5. Данное антитело в большей степени подходит для обнаружения загрязнения партий овса другими зерновыми культурами.

2. Содержание глютена, определенное с антителом G12, варьировало от 2,14 (Нидар) до 9,55 (ТМ 16–58–4) мг/кг. Все проанализированные сорта относятся к безглютеновым. В сорте Орёл содержание глютена было ниже предела обнаружения (менее 2 мг/кг).

3. Среднее содержание глютена в образцах селекции ТюмНЦ СО РАН составляет $5,23 \pm 0,678$ и достоверно превышает этот показатель у образцов иностранной и инорайонной селекции. Отмечена тенденция повышения иммунореактивности

у сортов местной селекции, что связано с введением в скрещивания более аллергенных сортов.

4. Иммунореактивность сортов связана с определенными аллелями авенин-кодирующих локусов. Аллели *A11*, *B11* и *C2*, характерные для сорта Орел, являются перспективными в качестве маркеров безглютеновых сортов.

5. Для успешного развития направления селекции на гипоаллергенность необходимы анализ аллельного состояния авенин-кодирующих локусов исходных генотипов и определение содержания в них глютена методом ИФА с антителом G12.

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

Библиографический список

1. Любимова А.В., Еремин Д.И., Мамаева В.С. и др. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 5 (182). – С. 73–83. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.

2. Методы определения глютена в продовольственном сырье и пищевых продуктах: Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 32 с.

3. Amador M., Iehisa J., Martín C., Losada F. Functional genomic characterization of immunogenic gluten proteins from oat cultivars that differ in toxicity for celiac disease // Proceedings of the Nutrition Society. – 2020. – 79(OCE2). – E550. – DOI: 10.1017/S0029665120004991.

4. Cardo A., Churruga I., Lasa A. et al. Nutritional Imbalances in Adult Celiac Patients Following a Gluten-Free Diet // Nutrients. – 2021. – № 13. – Pp. 2877. – DOI: 10.3390/nu13082877.

5. CODEX STAN WHO/FAO (2008) Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. CODEX STAN118–1979. Adopted in 1979. Amendment: 1983 and 2015. – URL: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B118-1979%252FCXS_118e_2015.pdf (дата обращения: 10.09.2023).

6. Cohen I.S., Day A.S., Shaoul R. To Be Oats or Not to Be? An Update on the Ongoing Debate on Oats for Patients with Celiac Disease // Front. Pediatr. – 2019. – № 7. – P. 384. – DOI: 10.3389/fped.2019.00384.

7. Col Hoffmanová I., Sánchez D., Szczepanková A. et al. The Pros and Cons of Using Oat in a Gluten-Free Diet for Celiac Patients // Nutrients. – 2019. – № 11. – P. 2345. – DOI: 10.3390/nu11102345.

8. Colombo F., Di Lorenzo C., Biella S. et al. Ancient and Modern Cereals as Ingredients of the Gluten-Free Diet: Are They Safe Enough for Celiac Consumers? // Foods. – 2021. – № 10 (4). – P. 906. – DOI: 10.3390/foods10040906.

9. Comino I., Real A., de Lorenzo L. et al. Diversity in oat potential immunogenicity: basis for the selection of oat varieties with no toxicity in coeliac disease // Gut. – 2011. – № 60 (7). – Pp. 915–22. – DOI: 10.1136/gut.2010.225268.

10. Comino I., Torres M.I., Ruiz-Carnicer A. et al. Comparative reactivity of avenins from different pure oat varieties to gluten R5 and G12 ELISA immunomethods // Proceeding of the 32 Meeting, working group on prolamins analysis and toxicity: edited by Peter Koehler. United Kingdom, 27–29 September. – 2018. – United Kingdom, 2019. – Pp. 39–43.

11. *Daly M., Bromilow S.N., Nitride C. et al.* Mapping Coeliac Toxic Motifs in the Prolamin Seed Storage Proteins of Barley, Rye, and Oats Using a Curated Sequence Database // *Frontiers in Nutrition*. – 2020. – № 7. – DOI: 10.3389/fnut.2020.00087.
12. *Dvořáček V., Kotrbová-Kozak A., Kozová-Doležalová J. et al.* Identification of Perspective Oat Cultivars with a Minimum Content of Gluten Homologous Peptides // *Preprints*. – 2020. – P. 2020100596. – DOI: 10.20944/preprints202010.0596.v1.
13. *Gell G., Bugyi Z., Florides C.G. et al.* Investigation of Protein and Epitope Characteristics of Oats and Its Implications for Celiac Disease // *Frontiers in Nutrition*. – 2021. – № 8. – DOI: 10.3389/fnut.2021.702352.
14. *Kamal N., Tsardakas Renhuldt N., Bentzer J. et al.* The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop // *Nature*. – 2022. – № 606. – Pp. 113–119. – DOI: 10.1038/s41586-022-04732-y.
15. *Kosová K., Leišová-Svobodová L., Dvořáček V.* Oats as a Safe Alternative to Triticaceae Cereals for People Suffering from Celiac Disease? A Review // *Plant Foods Hum Nutr*. – 2020. – Jun. – V. 75 (2). – Pp. 131–141. – DOI: 10.1007/s11130-020-00800-8.
16. *Lacorn M.* Determination of Gliadin as a Measure of Gluten in Food by R5 Sandwich ELISA RIDASCREEN® Gliadin Matrix Extension: Collaborative Study 2012.01 // *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. – 2022. – Vol. 105, № 2. – Pp. 442–455. – DOI: 10.1093/jaoacint/qsab148.
17. *Leišová-Svobodová L., Sovová T. & Dvořáček V.* Analysis of oat seed transcriptome with regards to proteins involved in celiac disease // *Sci Rep*. – 2022. – № 12. – P. 8660. – DOI: 10.1038/s41598-022-12711-6.
18. *Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I. et al.* Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. – 2020. – Vol. 24, № 2. – Pp. 123–130. – DOI: 10.18699/VJ20.607.
19. *Machado M.V.* New Developments in Celiac Disease Treatment // *Int J Mol Sci*. – 2023. – № 24 (2). – P. 945. – DOI: 10.3390/ijms24020945.
20. *Marasco G., Cirotta G.G., Rossini B. et al.* Probiotics, Prebiotics and Other Dietary Supplements for Gut Microbiota Modulation in Celiac Disease Patients // *Nutrients*. – 2020. – № 12. – P. 2674. – DOI: 10.3390/nu12092674.
21. *Marín-Sanz M., Giménez M.J., Barro F. et al.* Prolamin content and grain weight in RNAi silenced wheat lines under different conditions of temperature and nitrogen availability // *Frontiers in plant science*. – 2020. – Vol. 11, № 314. – Pp. 1–11.
22. *Orjiokwe O.A.* Nutritional Management of Celiac Disease // *J Clin Exp Immunol*. – 2023. – Vol. 8 (2). – Pp. 561–572.
23. *Paudel D., Dhungana B., Caffè M. et al.* A Review of Health-Beneficial Properties of Oats // *Foods*. – 2021. – № 10. – P. 2591. – DOI: 10.3390/foods10112591.
24. *Roekendorf N., Meckelein B., Scherf K. et al.* Identification of novel antibody-reactive detection sites for comprehensive gluten monitoring // *PLoS One*. – 2017. – Vol. 12 (7). – Pp. e0181566/1-e0181566/17.
25. *Silano M., Di Benedetto R., Maialeffi F. et al.* Avenins from different cultivars of oats elicit response by coeliac peripheral lymphocytes // *Scand J Gastroenterol*. – 2007. – № 42. – Pp. 1302–1305. – DOI: 10.1080/00365520701420750.
26. *Wieser H., Segura V., Ruiz-Carnicer Á. et al.* Food Safety and Cross-Contamination of Gluten-Free Products: A Narrative Review // *Nutrients*. – 2021. – № 13. – P. 2244. – DOI: 10.3390/nu13072244.
27. *Yu J.M., Lee J.H., Park J. – D. et al.* Analyzing Gluten Content in Various Food Products Using Different Types of ELISA Test Kits // *Foods*. – 2021. – № 10. – P. 108. – DOI: 10.3390/foods10010108.

ANALYSIS OF THE IMMUNOREACTIVITY OF AVENINS IN OATS (*AVENA SATIVA* L.) CULTIVATED IN WESTERN SIBERIA

A.V. LYUBIMOVA, D.I. EREMIN, M.N. FOMINA

(Federal Research Centre “The Tyumen Scientific Centre
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”)

Celiac disease is an autoimmune disease that occurs in genetically susceptible people after eating prolamin-containing grains. The only cure for celiac disease is a lifelong gluten-free diet, but adherence to this diet can also have a negative impact on health. A good solution may be to include oat products in such a diet. However, different oat varieties differ in their immunogenicity, and studying the immunoreactivity of their prolamins to identify gluten-free genotypes is of utmost importance. The aim of the research was to assess the immunogenicity of varieties and promising breeding lines of oats cultivated in the Tyumen region in the period from 1929 to 2023 for use in the selection of gluten-free varieties. The amount of gluten in the grain was determined by enzyme-linked immunosorbent assay using test systems based on the use of R5 and G12 antibodies. It was found that none of the samples showed immunoreactivity to the R5 antibody. Using the G12 antibody, all the varieties analyzed were found to be gluten-free, with gluten content ranging from 2.14 (Nidar) to 9.55 (TM 16–58–4) mg/kg. The variety Orel deserves special attention, as the gluten content of its grain is less than 2 mg/kg. This genotype is promising for inclusion in the breeding process to produce gluten-free varieties. The average gluten content in the samples of local selection is 5.23 ± 0.678 mg/kg and significantly exceeds this index in foreign and non-regional varieties, which is associated with the introduction of more allergenic varieties in crossbreeding. The immunogenicity of varieties is associated with specific alleles of avenin-coding loci. Alleles A11, B11 and C2 may be promising as markers for gluten-free varieties. For the successful development of breeding of gluten-free oat varieties, it is necessary to analyze the allelic state of avenin-coding loci of the original genotypes and to determine their gluten content with the G12 antibody.

Key words: oats (*Avena sativa* L.), celiac disease, gluten-free diet, gluten, avenin, enzyme-linked immunosorbent assay, R5 and G12 antibodies, avenin-coding locus.

References

1. Lyubimova A.V., Eremin D.I., Mamaeva V.S. et al. Siberian oat varieties' biochemical passports catalog. *Bulletin of KSAU*. 2022;5(182):73–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-73-83>
2. Methods for determining gluten in food raw materials and food products: Guidelines. M.: Federal'niy tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2011:32. (In Russ.)
3. Amador M., Iehisa J., Martín C., Losada F. Functional genomic characterization of immunogenic gluten proteins from oat cultivars that differ in toxicity for celiac disease. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2020;79(OCE2):E550. <https://doi.org/10.1017/S0029665120004991>
4. Cardo A., Churrua I., Lasa A. et al. Nutritional Imbalances in Adult Celiac Patients Following a Gluten-Free Diet. *Nutrients*. 2021;13:2877. <https://doi.org/10.3390/nu13082877>
5. CODEX STAN WHO/FAO (2008) Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. CODEX STAN118–1979. Adopted in 1979. Amendment: 1983 and 2015. URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&ur>

- l=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B118-1979%252FCXS_118e_2015.pdf (Access date: 10.09.2023)
6. Cohen I.S., Day A.S., Shaoul R. To Be Oats or Not to Be? An Update on the Ongoing Debate on Oats for Patients with Celiac Disease. *Front. Pediatr.* 2019;7:384. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00384>
 7. Col Hoffmanová I., Sánchez D., Szczepanková A. et al. The Pros and Cons of Using Oat in a Gluten-Free Diet for Celiac Patients. *Nutrients.* 2019;11:2345. <https://doi.org/10.3390/nu11102345>
 8. Colombo F., Di Lorenzo C., Biella S. et al. Ancient and Modern Cereals as Ingredients of the Gluten-Free Diet: Are They Safe Enough for Celiac Consumers? *Foods.* 2021;10(4):906. <https://doi.org/10.3390/foods10040906>
 9. Comino I., Real A., de Lorenzo L. et al. Diversity in oat potential immunogenicity: basis for the selection of oat varieties with no toxicity in coeliac disease. *Gut.* 2011;60(7):915–22. <https://doi.org/10.1136/gut.2010.225268>
 10. Comino I., Torres M.I., Ruiz-Carnicer A. et al. Comparative reactivity of avenins from different pure oat varieties to gluten R5 and G12 ELISA immunomethods. *Proceeding of the 32 Meeting, working group on prolamin analysis and toxicity: edited by Peter Koehler.* United Kingdom, 27–29 September 2018. United Kingdom, 2019:39–43.
 11. Daly M., Bromilow S.N., Nitride C. et al. Mapping Coeliac Toxic Motifs in the Prolamin Seed Storage Proteins of Barley, Rye, and Oats Using a Curated Sequence Database. *Frontiers in Nutrition.* 2020;7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00087>
 12. Dvořáček V., Kotrbová-Kozak A., Kozová-Doležalová J. et al. Identification of Perspective Oat Cultivars with a Minimum Content of Gluten Homologous Peptides. *Preprints.* 2020:2020100596. <https://doi.org/10.20944/preprints202010.0596.v1>
 13. Gell G., Bugyi Z., Florides C.G. et al. Investigation of Protein and Epitope Characteristics of Oats and Its Implications for Celiac Disease. *Frontiers in Nutrition.* 2021;8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.702352>
 14. Kamal N., Tsardakas Renhuldt N., Bentzer J. et al. The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop. *Nature.* 2022;606:113–119. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04732-y>
 15. Kosová K., Leišová-Svobodová L., Dvořáček V. Oats as a Safe Alternative to Triticaceae Cereals for People Suffering from Celiac Disease? A Review. *Plant Foods Hum Nutr.* 2020;75(2):131–141. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00800-8>
 16. Lacorn M. Determination of Gliadin as a Measure of Gluten in Food by R5 Sandwich ELISA RIDASCREEN® Gliadin Matrix Extension: Collaborative Study 2012.01. *Journal of AOAC INTERNATIONAL.* 2022;05(2):442–455. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsab148>
 17. Leišová-Svobodová L., Sovová T. & Dvořáček V. Analysis of oat seed transcriptome with regards to proteins involved in celiac disease. *Sci Rep.* 2022;12:8660. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12711-6>
 18. Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I. et al. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2020;24(2):123–130. <https://doi.org/10.18699/VJ20.607>
 19. Machado M.V. New Developments in Celiac Disease Treatment. *Int J Mol Sci.* 2023;24(2):945. <https://doi.org/10.3390/ijms24020945>
 20. Marasco G., Ciota G.G., Rossini B. et al. Probiotics, Prebiotics and Other Dietary Supplements for Gut Microbiota Modulation in Celiac Disease Patients. *Nutrients.* 2020;12:2674. <https://doi.org/10.3390/nu12092674>
 21. Marín-Sanz M., Giménez M.J., Barro F. et al. Prolamin content and grain weight in RNAi silenced wheat lines under different conditions of temperature and nitrogen availability. *Frontiers in plant science.* 2020;11(314):1–11.

22. *Orjiekwe O.A.* Nutritional Management of Celiac Disease. *J Clin Exp Immunol.* 2023;8(2):561–572.
23. *Paudel D., Dhungana B., Caffè M. et al.* A Review of Health-Beneficial Properties of Oats. *Foods.* 2021;10:2591. <https://doi.org/10.3390/foods10112591>
24. *Roeckendorf N., Meckelein B., Scherf K. et al.* Identification of novel antibody-reactive detection sites for comprehensive gluten monitoring. *PLoS One.* 2017;12(7):e0181566/1-e0181566/17.
25. *Silano M., Di Benedetto R., Maialetti F. et al.* Avenins from different cultivars of oats elicit response by coeliac peripheral lymphocytes. *Scand J Gastroenterol.* 2007;42:1302–1305. <https://doi.org/10.1080/00365520701420750>
26. *Wieser H., Segura V., Ruiz-Carnicer Á. et al.* Food Safety and Cross-Contamination of Gluten-Free Products: A Narrative Review. *Nutrients.* 2021;13:2244. <https://doi.org/10.3390/nu13072244>
27. *Yu J.M., Lee J.H., Park J. – D. et al.* Analyzing Gluten Content in Various Food Products Using Different Types of ELISA Test Kits. *Foods.* 2021;10:108. <https://doi.org/10.3390/foods10010108>

Любимова Анна Валерьевна, заведующий лабораторией геномных исследований в растениеводстве ТюмНЦ СО РАН, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; 625026, Российская Федерация, Тюменская обл., г. Тюмень, ул. Малыгина, 86; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru; тел.: 8 (952) 34–108–87

Ерёмин Дмитрий Иванович, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве ТюмНЦ СО РАН, д-р биол. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; 625026, Российская Федерация, Тюменская обл., г. Тюмень, ул. Малыгина, 86; e-mail: soil-tyumen@yandex.ru; тел.: 89129271386

Фомина Мария Николаевна, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции зернофуражных культур, канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; 625026, Российская Федерация, Тюменская обл., г. Тюмень, ул. Малыгина, 86; e-mail: maria_f72@mail.ru; тел.: (3452) 76–40–54

Anna V. Lyubimova, CSc (Bio), Head of the Laboratory of Genomic Research in Crop Production, Federal Research Centre “The Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” (86, Malygina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation; phone: +7 (952) 34–108–87; E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru)

Dmitriy I. Eremin, DSc (Bio), Leading Research Associate, Laboratory of Genomic Research in Crop Production, Federal Research Centre “The Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” (86, Malygina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation; phone: +7 (912) 927–13–86; E-mail: soil-tyumen@yandex.ru)

Maria N. Fomina, CSc (Ag), Leading Research Associate, Laboratory of Breeding Grain and Forage Crops, Federal Research Centre “The Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” (86, Malygina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation; phone: +7 (3452) 76–40–54; E-mail: maria_f72@mail.ru)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ
ЛЕКАРСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РАССАДНОЙ КУЛЬТУРЕ

Е.Л. МАЛАНКИНА, В.И. ТЕРЕХОВА, Е.Н. ТКАЧЁВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Для получения сырья стабильного биохимического состава востребованных лекарственных и эфирномасличных культур из семейства Яснотковые – таких, как мята перечная, тимьян обыкновенный и душица обыкновенная, перспективным является использование вегетативного размножения. Повышение эффективности его черенкования (увеличение укореняемости, сокращение срока выращивания) является актуальной проблемой для этого направления. В работе использованы отечественный комплекс ОМЭК-7 (АО «Биоамид») и препарат Фитактив экстра (ООО НПО «БИНАМ», Россия). В результате исследований показана высокая эффективность препарата Фитактив экстра в концентрациях 0,5–2 мл/л при укоренении черенков мяты перечной и колосковой, а также тимьяна обыкновенного и душицы обыкновенной. Применение некорневой обработки препаратом ОМЭК-7 (аминокислотно-минеральным комплексом в концентрации 1 г/л) способствовало последующему росту надземной части черенка. Совместное применение указанных выше препаратов позволило повысить выход посадочного материала с единицы площади и в короткие сроки получить рассаду указанных культур для высадки в грунт.

Ключевые слова: мята перечная, душица обыкновенная, тимьян обыкновенный, каспийская рассада, индолилмасляная кислота, зеленые черенки, фуллерен.

Введение

Для ряда лекарственных культур перспективным является вегетативное размножение, что связано с сильным химическим полиморфизмом и, соответственно, с трудностями в отношении получения сырья, выровненного по содержанию и составу целевых соединений. К таким растениям относятся многочисленные лекарственные и эфирномасличные культуры из семейства Яснотковые, которые занимают значительные площади в различных регионах земного шара [1]. Многие из них характеризуются сильной вариабельностью химического состава не только по содержанию и соотношению отдельных компонентов, но и по их составу. В частности, к ним можно отнести такие растения, как мята перечная, душица обыкновенная, тимьян обыкновенный и тимьян ползучий.

Мята перечная (*Mentha X piperita* L.) – одна из важнейших лекарственных, эфирномасличных и пряно-вкусовых культур мира. Выведены сорта, существенно отличающиеся по морфологическим и биохимическим признакам [2]. Сырье мяты перечной используют для получения мятного листа, эфирного масла и ментола [3]. Вместе с тем сорта мяты перечной сильно различаются по морфологическим признакам и биохимическим показателям, а соответственно – и по фармакологическому действию [4, 5].

Мята перечная является сложным межвидовым гибридом, и ее традиционно размножают вегетативно. Основным способом ее промышленного размножения в нашей стране является посадка корневищ [6]. В европейских странах чаще используется размножение стеблевыми и корневыми черенками.

Душицу обыкновенную и тимьян обыкновенный чаще всего рекомендуют размножать прямым посевом в грунт [7], а в ряде европейских стран – с помощью рассады, полученной посевом семян в кассеты. Проблемой, связанной с первым способом, являются, с одной стороны, высокие затраты на семена, а с другой – отсутствие достаточного количества сортовых семян. Выращивание растений через рассаду позволяет более чем в 10 раз снизить затраты на семена, но требует качественных сортовых семян, которых на рынке не хватает [8].

Ряд эфирномасличных растений, когда необходим стабильный состав эфирного масла, размножают черенками. Как правило, этот способ используют для растений с продолжительным периодом эксплуатации плантации (лаванда, розмарин). С учетом того, что эти растения сажают достаточно широко, высаживаемые саженцы обычно доращивают в течение года после черенкования. В случае культур со сроком выращивания 3–4 года оптимальным является получение саженцев в более короткие сроки. Данный способ может быть применим при закладке относительно небольших площадей, а также в хозяйствах, где выращивают большой ассортимент и где высокими являются требования к количественному содержанию определенных соединений (например, получение эфирного масла для ароматерапии и фармацевтических производств).

Выращивание кассетной рассады для дальнейшей механизированной посадки является в данном случае оптимальным способом получения посадочного материала [9]. Применение современных стимуляторов роста позволит ускорить корнеобразование, улучшить качество посадочного материала и обойтись без использования туманообразующих установок, что существенно удешевит производство и даст возможность получения сырья со стабильным биохимическим составом.

Цель исследований: повышение качественных показателей и сокращение срока выращивания посадочного материала востребованных лекарственных и эфирномасличных культур из семейства Яснотковые при вегетативном размножении.

Материал и методы исследований

Исследования проводили в 2022–2023 гг. в пленочных весенних теплицах на УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В 2022 г. опыты закладывали на двух сортах мяты: Митчамская и Апельсиновая, а в 2023 г. – на двух сортах мяты перечной (Апельсиновая и Кубанская б) и на сорте Марокко мяты колосковой, а также на тимьяне обыкновенном, сорт Deutsche Winter, и душице обыкновенной, сорт Карамелька.

Препарат Фитактив экстра (ООО НПО «БИНАМ», Россия) относится к ауксиновым препаратам, а в его состав входят 2-этил-индол-3-п-пропилено-3,6:1,2 [60] фуллерен и индолил-3-масляная кислота. Он рекомендован для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур с целью увеличения устойчивости растений на первых фазах развития к гипоксии, засухе и болезням, а также для укоренения одревесневших и зеленых черенков [10].

Препарат ОМЭК-7М (производство АО «Биоамид», Саратов) представляет собой хелаты микроэлементов марганца, цинка, железа, меди кобальта, селена и йода с L-аспарагиновой кислотой. Препарат экологически безопасен и используется, в том

числе, как добавка в корма для сельскохозяйственных животных (гос. рег. свидетельство от 14 июля 2017 г. № ПВР-2–6.0/02592).

Нарезку и посадку черенков мяты перечной в 2022 г. проводили 23 июня с 2-летних растений. Нарезку и посадку черенков в 2023 г. проводили 23 мая с 3-летних растений тимьяна обыкновенного сорта *Deutsche Winter* и душицы обыкновенной сорта *Карамелька*. Нарезку зеленых черенков мяты перечной и мяты колосковой проводили 3 июля, а учеты – через 30 сут. Маточники душицы обыкновенной и тимьяна высажены по схеме 60×30 . У мяты учитывали выход черенков с погонного метра рядка. Это связано с тем, что ко второму году жизни выделить отдельные растения не представлялось возможным. Ширина междурядий составляла 60 см. Сроки черенкования определялись погодными условиями и отрастанием культуры. Укрытие неткаными материалами для ускорения отрастания маточников не использовали. Черенкование проводили верхушечными зелеными черенками в полистироловые кассеты для рассады с ячейками объемом 54 ячейки $0.085 \text{ л } 53 \times 31 \times 5 \text{ см}$ по 54 ячейки (на каждый вариант по 2 кассеты, 108 шт.). Субстрат – верховой торф с перлитом в соотношении 4:1.

В 2022 г. черенки замачивали на 3 ч в растворах препарата в концентрации 0,5; 1,0; 1,5; 2 мл/л и высаживали в кассеты. В 2023 г. черенки укореняли после 3-часового замачивания в концентрации препарата 0,5 мл/ и 1 мл/л. Укоренение проводили в пленочных весенних теплицах без искусственного тумана. Учеты укореняемости и морфометрических показателей проводили через 30 сут. после посадки на 40 растениях в каждом варианте (по 20 из центральной части каждой кассеты) [11].



Рис. 1. Маточные растения душицы обыкновенной



Рис. 2. Маточные растения тимьяна обыкновенного

Результаты и их обсуждение

Для расчета площади маточников необходимо знать выход черенков с единицы площади. Для этого учитывали число черенков с каждого маточного растения. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, выход черенков существенно отличался у мяты перечной в зависимости от сорта, причем разница составляла почти 2 раза (215 шт. у сорта Митчамская и 118 шт. у сорта Кубанская 6). Следовательно, расчет площади маточников для каждого сорта будет свой, и соответственно площадь будет отличаться. Исходя из полученных значений и с учетом ширины междурядий 60 см выход черенков составит 178–401 с 1 м² в зависимости от сорта и культуры. Основное отличие черенков тимьяна обыкновенного – одревесневшая нижняя часть. В связи с этим для тимьяна были выбраны более высокие концентрации препарата Фитактив Экстра.

Таблица 1

Выход черенков мяты перечной, душицы обыкновенной и тимьяна обыкновенного (2022–2023 гг.)

Культура	Сорт	Выход черенков, шт. с 1 пог. м ряда
Мята перечная	Митчамская	215±21
	Апельсиновая	196±24
	Кубанская 6	118±17
Мята колосковая	Марокко	180±16
Тимьян обыкновенный	Deutsche Winter	216±18
Душица обыкновенная	Карамелька	265±29

Как отмечено выше, в течение двух лет в качестве стимулятора корнеобразования использовали препарат Фитактив экстра.

В результате исследований выявлено, что оптимальной для мяты в 2022 г. была концентрация 0,5 мл/л. Результаты представлены в таблице 2.

Учитывая высокую способность к укоренению у мяты перечной, можно сказать, что препарат не влиял на процент укоренившихся черенков, однако увеличивались длина и объем корней. Кроме того, под действием препарата Фитактив экстра увеличивалось число столонов с 2,1±0,4 до 3,1±0,3 у сорта Митчамская и с 2,3±0,4 до 4,1±0,3 у сорта Апельсиновая.



Рис. 3. Черенки тимьяна обыкновенного

**Влияние ауксинового препарата Фитактив экстра
на качество посадочного материала мяты перечной (2022 г.)**

Вариант	Сорт	Укореняемость, шт.	Высота, см	Длина/объем корней, см
Контроль	Митчамская	94,4	16,4±2,1	12,6±1,4/7,3±0,9
	Апельсиновая	96,3	21,6±1,7	13,7±2,3/8,4±0,7
Фитактив экстра	Митчамская	96,3	17,1±1,1	14,6±0,8/9,3±0,4
	Апельсиновая	96,3	20,9±1,9	13,7±0,6/10,2±0,8



Рис. 4. Укорененные зеленые черенки мяты перечной сорта Апельсиновая: слева направо – контроль и Фитактив 0,5 мл/л

Далее, с учетом выбранной концентрации, были заложены опыты на трех сортах мяты перечной с использованием лучшего варианта предыдущего года и дополнительной обработки 1 г/л препаратом ОМЭК-7 через 2 недели после посадки. Число неукоренившихся черенков независимо от сорта и варианта опыта колебалось в пределах 1–2 на каждую кассету. Результаты измерений через 30 сут. после посадки представлены в таблице 3.

Как следует из данных таблицы 3, под действием препаратов у сортов Апельсиновая и Марокко существенно увеличилась высота надземной части, в то время

как у сорта Кубанская 6 при большей высоте разница между вариантами была не существенной. На размер листьев обработки влияния не оказывали. Под действием препаратов существенно увеличивалась масса корневой системы, что в итоге приводит к увеличению поверхности корней и большей поглотительной способности. Таким образом, на двух видах мяты показана эффективность предлагаемых приемов для повышения качества рассады.

Таблица 3

**Влияние препаратов Фитактив экстра и ОМЭК-7
на качество рассады мяты перечной (2023 г.)**

Вариант	Сорт	Высота, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Длина корневой системы, см	Масса корневой системы, мл
Контроль	мята перечная, сорт Кубанская 6	24,4±1,5	4,3±0,2	0,9±0,07	14,8±1,2	7,8±0,8
	мята перечная, сорт Апельсиновая	13,2±0,9	5,1±0,2	2,5±0,3	15,8±1,4	6,4±0,4
	мята колосковая, сорт Марокко	12,7±1,9	4,5±0,2	1,0±0,05	10,7±1,7	7,2±0,9
Фитактив 0,5 мл/л+ ОМЭК-7 1 г/л	мята перечная, сорт Кубанская 6	27,7±2,1	4,4±0,1	0,9±0,07	15,2±1,4	9,2±0,4
	мята перечная, сорт Апельсиновая	16,4±1,3	5,2±0,2	2,7±0,3	14,8±1,8	7,8±0,5
	мята колосковая, сорт Марокко	16,2±1,1	4,6±0,1	0,9±0,09	10,5±1,6	8,9±0,6



Рис. 5. Мята перечная Кубанская 6 (2023 г.): Фитактив 0,5 мл/л, контроль



Рис. 6. Мята перечная Апельсиновая (2023 г.): контроль, Фитактив экстра 0,5 мл/л



Рис. 7. Укорененные черенки мяты колосковой Марокко, 2023 г.

Как замечено выше, для тимьяна были выбраны более высокие концентрации, чем для душицы. Результаты действия регулятора и ОМЭК-7 на тимьяне представлены в таблице 4 и на рисунке 8. После обработки регулятором Фитактив повышалась укореняемость черенков с 79% в контроле до 88–96% в вариантах опыта. При этом последующая обработка ОМЭК-7 на укореняемость не влияла.

Как следует из данных рисунка, растения, обработанные ауксином, имеют более мощную корневую систему, и результат является пропорциональным увеличению концентрации. Надземная масса после обработки только Фитактивом несущественно отставала в росте даже от контроля. Вместе с тем обработка через 2 недели после посадки комплексным препаратом ОМЭК-7, содержащим как легкодоступный азот, так и микроэлементы, способствовала росту надземной массы и существенному увеличению массы корней.

Таким образом, для повышения укореняемости и стимулирования роста корневой системы черенков тимьяна обыкновенного можно рекомендовать применение 3-часового замачивания в растворе препарата Фитактив в концентрации 2 мл/л и последующую обработку раствором препарата ОМЭК-7 в концентрации 1 г/л растений, высаженных в кассеты. Этот прием позволяет повысить выход саженцев с 1 ед. площади на 19–20%.

У душицы укореняемость черенков без применения регуляторов была выше, чем у тимьяна, и составила 90% (у тимьяна – 79%). Соответственно препарат с индоллипазой в большей степени влиял не на число укорененных черенков, а на качество – в частности, на массу корневой системы. Однако при повышении концентрации препарата до 1 мл/л действие было обратным и наблюдалось угнетение растений по сравнению с контролем (рис. 8), что является типичной реакцией для избыточных концентраций ауксиновых препаратов. Кроме того, отмечена тенденция уменьшения числа укоренившихся черенков.



Рис. 8. Черенки тимьяна обыкновенного после укоренения.
 Слева направо: Фитактив 1 мл/л + ОМЭК-7,1 г/л; Фитактив, 1 мл/л;
 Фитактив 1 мл/л + ОМЭК-7,1 г/л; контроль

Таблица 4

**Морфометрические показатели черенков тимьяна обыкновенного
 в зависимости от схемы обработки и концентрации препарата (2023 г.)**

Вариант	Укореняемость, %	Высота, см	Длина корневой системы, см	Масса корневой системы, г
Контроль	79	12,3±0,4	7,9±0,9	3,8±0,6
Фитактив, 1 мл/л	91	12,1±0,6	10,2±0,7	4,4±0,2
Фитактив, 1мл/л + ОМЭК-7, 1 г/л	89	14,6±0,6	10,3±0,4	4,2±0,3
Фитактив, 2 мл/л	96	12,2±0,3	11,2±1,1	5,4±0,7
Фитактив, 2 мл/л + ОМЭК-7,1 г/л	94	14,9±0,6	10,3±0,9	5,9±0,4

Как следует из данных таблицы 5, так же, как и в вариантах с тимьяном обыкновенным, применение ОМЭК-7 стимулировало рост надземной массы, однако не столь сильно, как у тимьяна и мяты перечной. Под действием Фитактива увеличивалась длина корневой системы, однако при высокой концентрации не отмечены увеличение числа корней и их ветвление, что хорошо прослеживается на рисунке. Это отражено, соответственно, в показателе массы корневой системы. Кроме того, под действием высокой концентрации Фитактива отмечено изменение цвета корней (на рисунке 9 – более темная окраска).

Таким образом, для душицы можно рекомендовать как оптимальный вариант замачивания черенков на 3 ч в растворе препарата Фитактив экстра в концентрации 0,5 мл/л и последующую некорневую обработку через 2 недели после посадки препаратом ОМЭК-7 в концентрации 1 г/л.

**Влияние препаратов Фитактив Экстра и ОМЭК-7
на укореняемость и качество рассады душицы обыкновенной (2023 г.)**

Вариант	Укореняемость, %	Высота, см	Длина корневой системы, см	Масса корневой системы, г
Контроль	90	13,7±0,4	7,9±0,9	4,7±0,5
Фитактив, 0,5 мл/л	94	14,4±0,5	10,2±0,7	5,4±0,3
Фитактив, 0,5 мл/л + ОМЭК-7, 1 г/л	93	14,9±0,7	10,3±0,4	5,2±0,4
Фитактив, 1 мл/л	85	10,4±0,5	11,2±1,1	3,6±0,6
Фитактив, 1 мл/л + ОМЭК-7, 1 г/л	88	10,9±0,5	10,3±0,9	3,9±0,3



Рис. 9. Влияние концентрации препарата Фитактив экстра на качество корневой системы черенков душицы обыкновенной (2023 г.): контроль, Фитактив 0,5 мл/л, Фитактив 1 мл/л

Выводы

В результате исследований показана высокая эффективность препарата Фитактив при укоренении черенков мяты перечной и колосковой, а также тимьяна обыкновенного и душицы обыкновенной. Однако оптимальные концентрации были видоспецифичными и колебались от 0,5 мл/л у душицы до 2 мл/л у тимьяна обыкновенного,

что связано с различной степенью дифференциации тканей и наличием одревеснения в нижней части черенка.

Применение некорневой обработки препаратом ОМЭК-7 (аминокислотно-минеральным комплексом в концентрации 1 г/л) способствовало последующему росту надземной части черенка.

Совместное применение указанных выше препаратов позволило повысить выход посадочного материала с 1 ед. площади и в короткие сроки получить полноценные растения для высадки в грунт.

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с Тематическим план-заданием на выполнение научно-исследовательских работ федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2023 г.

Библиографический список

1. Dietz A., Distler B., Oberst J., Spreidler S. *Kräuter und Gewürze*. Vielfalt entdecken, schmecken und genießen Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn) an der Bayer // Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising. – 2014. – 157 p.
2. Маланкина Е.Л., Козловская Л.Н., Ткачева Е.Н. Эпидермальные структуры листьев некоторых сортов *Mentha X piperita* L. в связи с их продуктивностью // Овощи России. – 2019. – № 6 (50). – С. 67–71.
3. Государственная фармакопея. 14 изд. – URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/1102/#zoom=z> (дата обращения: 31.01.2022).
4. Бочкарёв Н.И., Зеленцов С.В., Шуваева Т.П., Бородкина А.П. Таксономия, морфология и селекция ментольных мят (обзор) // Масличные культуры: Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – Вып. 2 (162). – С. 106–124.
5. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Batura I.A., Bekmambetov T.R., Melikov F.M., Koval E.S., Bezzubchak V.V., Nagovskaya E. Impact of the peppermint essential oil of menthol-menthone-pulegone hemotype (Ukrainskaya cultivar) on psychophysiological state and performance indicators of the cardiovascular system of the elderly // Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens. – 2018. – № 129. – Pp. 76–83 (in Rus.). <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.129.2018.10>.
6. Морозов А.И. Мята перечная: сорта и технология возделывания в Нечерноземной зоне России: Монография. – М.: Де Либри, 2019. – 206 с.
7. Аникина А.Ю., Басалаева И.В., Бушковой Л.М. и др. Лекарственные и эфирномасличные культуры: особенности возделывания на территории Российской Федерации. – М.: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», 2021. – 256 с.
8. Маланкина Е.Л., Романова Н.Г. Перспективы использования рассадной технологии в лекарственном растениеводстве // Овощи России. – 2023. – № 2. – С. 41–46.
9. Маланкина Е.Л., Терехова В.И., Зуйкова Е.Ю. Разработка технологических приемов размножения мяты перечной для органической культуры // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 3 (180). – С. 10–16.
10. ООО НПО «БИНАМ». – URL: <http://fitaktivagro.ru/certificate> (дата обращения: 28.08.2023).
11. Ващенко С.Ф., Набатова Т.А. Методические рекомендации по проведению опытов с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта. – М.: ВАСХ-НИИ, 1976. – С. 108–115.

INCREASING THE EFFICIENCY OF VEGETATIVE PROPAGATION OF MEDICINAL CROPS IN SEEDLING CULTURE

E.L. MALANKINA, V.I. TEREKHOVA, E.N. TKACHEVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The use of vegetative propagation is promising for obtaining raw materials of stable biochemical composition from popular medicinal and essential oil plants of the Lamiaceae family, such as peppermint, common thyme and oregano. Increasing the efficiency of cuttings (increasing rooting, shortening the growing period) is an urgent problem in this field. The domestic OMEK-7 complex (JSC Bioamid) and Fitaktiv extra (LLC NPO BINAM, Russia) were used in the work. As a result of the research, the high efficiency of Fitaktiv extra in concentrations of 0.5–2 ml/l in rooting of peppermint and spearmint cuttings, as well as common thyme and oregano was shown. The application of a foliar treatment with OMEK-7 (an amino acid-mineral complex at a concentration of 1 g/L) contributed to the subsequent growth of the above-ground part of the cuttings. The combined use of the above preparations made it possible to increase the yield of plant material per unit area and to obtain seedlings of these crops for planting in the ground in a short time.

Keywords: *peppermint, oregano, common thyme, cassette seedlings, indole butyric acid, green cuttings, fullerene.*

References

1. Dietz A., Distler B., Oberst J., Spreidler S. Kräuter und Gewürze. Vielfalt entdecken, schmecken und genießen Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn) an der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising. 2014:157. (In Germ.)
2. Malankina E.L., Kozlovskaya L.N., Tkatcheva E.N. Epidermal structures of leaves in some *Mentha x piperita* L. varieties in connection with their productivity. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):67–71. (In Russ.)
3. State Pharmacopoeia. 14th edition [Electronic source]. (In Russ.) URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/1102/#zoom=z> (Access date: 31.01.2022)
4. Bochkarev N.I., Zelentsov S.V., Shuvaeva T.P., Borodkina A.P. Taxonomy, morphology and selection of menthol mints (review). *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskij byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2015;2(162):106–124. (In Russ.)
5. Yarosh A.M., Tonkovtseva V.V., Batura I.A., Bekmambetov T.R., Melikov F.M., Koval E.S., Bezzubchak V.V., Nagovskaya E. Impact of the peppermint essential oil of menthol-menthone-pulegonehemotype (Ukrainskaya cultivar) on psychophysiological state and performance indicators of the cardiovascular system of the elderly. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. 2018;(129):76–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.25684/NBG.bootl.129.2018.10>
6. Morozov A.I. Peppermint: varieties and cultivation technology in the Non-Chernozem zone of Russia. Moscow: DeLibri, 2019:206. (In Russ.)
7. Anikina A.Yu., Basalaeva I.V., Bushkovskaya L.M. et al. Medicinal and essential oil crops: features of cultivation on the territory of the Russian Federation. Moscow: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie "Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut lekarstvennykh i aromaticeskikh rasteniy", 2021:256. (In Russ.)
8. Malankina E.L., Romanova N.G. Prospects for the use of seedling technologies in medicinal plant production. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(2):41–46. (In Russ.)

9. *Malankina E.L., Terekhova V.I., Zuykova E.Yu.* Peppermint propagation technology development for organic culture. *Bulletin of KGAU*. 2022;3(180):10–16. (In Russ.)
10. LLC “NPO “BINAM”, Official website. (In Russ.) URL: <http://fitaktivagro.ru/certificate/> (Access date: 28.08.2023)
11. *Vashchenko S.F., Nabatova T.A.* Methodological recommendations for conducting experiments with vegetable crops in protected ground structures. M.: VASKhNIL, 1976:108–115. (In Russ.)

Маланкина Елена Львовна, доктор с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49. E-mail: malankina@rgau-msha.ru

Терехова Вера Ивановна, кандидат с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49. E-mail: v_terekhova@rgau-msha.ru

Ткачёва Елена Николаевна, кандидат с.-х. наук, преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49. E-mail: e.tkacheva@rgau-msha.ru

Elena L. Malankina, DSc (Ag), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: malankina@rgau-msha.ru)

Vera I. Terekhova, CSc (Ag), Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: v_terekhova@rgau-msha.ru)

Elena N. Tkacheva, CSc (Ag), Lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: e.tkacheva@rgau-msha.ru)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ESG В БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

А.С. МУСТАФИНА, И.А. БАКИН

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Ключевые направления повышения устойчивости и ответственности агроперерабатывающих предприятий связаны с факторами окружающей среды, экономикой, здоровьем и обществом. Компании осознают, что интеграция ESG-подхода в свою деятельность не только способствует устранению негативных воздействий на окружающую среду и общество, но и может стать источником конкурентных преимуществ. Более устойчивый бизнес может привлечь инвесторов, которые привержены ESG-принципам. При внедрении подхода ESG в бизнес-планирование минимизируются риски и максимизируется эффективность проектов АПК. Новизна исследований заключается в выявлении и описании конкретных ESG- метрик в процессе бизнес-планирования – как количественных измеряемых показателей, так и качественных, для мотивации агроперерабатывающих предприятий в улучшении финансовых показателей. Акцент в работе сделан на экологической и социальной эффективности. Авторами сформулированы методические подходы по использованию ESG – принципов в бизнес-планировании инвестиционных проектов в агропромышленной сфере. Интеграция целей устойчивого развития (ЦУР) и ESG-принципов в разделы бизнес-плана представлена в виде концептуальной схемы. Используя эту взаимосвязь, компаниям следует стремиться включать различные тенденции в области ESG в свои бизнес-планы. На основе анализа данных рейтингового агентства представлен бенчмаркинг бизнеса в агропромышленном комплексе, рассмотрены проекты устойчивого развития в агробизнесе. Показана трактовка понятия «устойчивое сельское хозяйство», которое включает в себя такие проекты, как внедрение технологии точного земледелия, автоматизация бизнес-процессов и повышение урожайности и плодородия почв, рекультивация земель и ввод в оборот залежей, использование севооборотов, оптимальных для поддержания качества почв. Практическая значимость определена в выявленных практиках ESG и возможности их использования для включения в бизнес-планы инвестиционных проектов АПК.

Ключевые слова: бизнес-план, финансовые показатели, риски, агропромышленный комплекс, инвестиционный проект *Environmental, Social, Governance*.

Введение

В последние годы повышается потребность совершенствования бизнеса в фокусе устойчивого развития. На ежегодном Всемирном экономическом форуме в Давосе в 1999 г. принят Глобальный договор ООН с целью продвижения устойчивого бизнеса. Несмотря на происходящие существенные изменения мировых бизнес-процессов, в нашей стране актуальна и действует до 2030 года «Повестка дня в области устойчивого развития», где государства – члены Организации Объединенных Наций поставили перед собой 17 целей устойчивого развития (ЦУР) и обязались выполнить 169 отдельных задач [15].

Таким образом, для компаний (независимо от размеров, форм собственности, видов экономической деятельности) экологические, социальные и управленческие вопросы стали ключевыми принципами в деятельности [19]. Все три принципа ESG: Environmental, Social, Governance – относятся к метрикам устойчивого развития и должны рассматриваться в процессе принятия инвестиционных решений заинтересованными сторонами в управлении предприятием.

О.Б. Вахрушева отмечает: «Концепция устойчивого развития бизнеса определяет стратегическое развитие компании на основе повышения деловой репутации и конкурентоспособности, рыночной стоимости компании, что отражается на экономической эффективности компании, ее социально-экологической ответственности для прогнозирования репутационной составляющей в долгосрочной перспективе» [5]. Раскрытие информации о стратегии и инициативах компании в области ESG помогает продемонстрировать свою приверженность практике ESG и устойчивому росту, одновременно обеспечивая прозрачность и подотчетность и предоставляя заинтересованным сторонам подробное представление о программах ESG.

В статье Ю.А. Шиндиной подчеркивается: «При переводе стратегического плана компании в плоскость конкретных мероприятий по их достижению на помощь приходит бизнес-планирование» [17]. Бизнес-план для внешней среды проекта выступает коммуникативным инструментом для привлечения инвестора. В работе трактуется, что для внутренней среды компании бизнес-план является реальной плановой основой управления бизнесом компании. При таком подходе успех бизнеса не зависит исключительно от прибыльности и финансовых доходов. Процесс бизнес-планирования регулируется финансами и является одним из способов, с помощью которого финансы могут оказать огромное влияние на устойчивость компании. Таким образом, бизнес-план отвечает запросам эффективного управления компании и должен отражать тенденции развития общества. Для этого необходимо интегрировать экологический менеджмент, социальный менеджмент в свои бизнес-процессы.

При разработке бизнес-планов инвестиционных проектов агропромышленного комплекса И.В. Страшко, А.В. Шалаев, Ю.А. Сокольников выделают особенности деятельности сферы аграрного производства: «...уровень плодородия земель и урожайности культур, сезонность и незавершенность производства в земледелии и цикличность получения животноводческой продукции; повышенная степень рискованности сельскохозяйственного производства; постоянная зависимость производства от конъюнктуры рынка; неравномерное поступление доходов и необходимость в кредитах под текущие затраты; медленная оборачиваемость капитала; получение экономического эффекта при ухудшении экологической обстановки, формирование страховых фондов» [13]. Это требует практического отражения в бизнес-планировании. Предпринимательская деятельность в АПК постоянно сопряжена с различными видами сельскохозяйственных рисков и управляет ими [1, 19]. Риски влияют на инвестиционную активность, поэтому в бизнес-планировании используется сценарный подход оценки риска, основанный на анализе сценариев (базисный, пессимистический, оптимистический) развития событий.

Цель исследований: изучить возможность реализации ESG-принципов в бизнес-планировании для компаний агропромышленного комплекса, которые придерживаются растущих экологических требований, социальной ответственности и стремятся преобразовать производственные процессы для обеспечения устойчивой работы.

Для достижения цели поставлены задачи: на первом этапе проанализировать методические подходы в бизнес-планировании, включающие в себя метрики устойчивого развития; на втором этапе выявить и описать особенности инвестиционных проектов в АПК; на третьем этапе сформулировать рекомендации по использованию

ESG – принципов при создании бизнес-плана инвестиционных проектов в агропромышленной сфере. В качестве объекта исследований определена унифицированная форма бизнес-плана в соответствии со стандартами UNIDO.

Материал и методы исследований

Качественные исследования проводились на основе вторичных данных: научных материалов отечественных и зарубежных ученых в области бизнес-планирования, устойчивого развития, ESG, а также публикаций ученых из открытого доступа интернет-источников по проблеме исследования. В работе использовались: системный подход как многовариантный анализ выбора лучших практик управления бизнесом; дедуктивный подход, когда общие идеи внедрения ESG-принципов применены к конкретным направлениям в бизнес-планировании, чтобы определить место тенденций, идей ESG в структуре бизнес-плана применительно к компаниям агропромышленного комплекса.

Объектом исследований стала унифицированная форма бизнес-плана в соответствии со стандартами UNIDO – United Nations Industrial Development Organization (www.unido.org), включающая в себя разделы:

1. Резюме – краткое содержание бизнес-плана.
2. Описание отрасли и компании.
3. Проектируемый продукт или вид услуг.
4. Продажи и маркетинг.
5. План производства.
6. Организационный план.
7. Финансовый план.
8. Оценка эффективности проекта.
9. Гарантии и риски компании.
10. Приложения.

Использование методики UNIDO обосновано тем, что она является признанным и универсальным инструментом для создания бизнес-плана по привлечению инвестиций в предпринимательскую деятельность и по обоснованию экономической эффективности проекта [9].

Предметом исследований являются ESG-принципы, встроенные в бизнес-план.

Результаты и их обсуждение

Реализация целей устойчивого развития в разделах бизнес-плана рассматривается через ESG-факторы, описание которых включается в документ. Общий перечень описывает преимущества, позволяющие сделать бизнес ответственным и экологичным: сокращение издержек, сокращение отходов, мотивация сотрудников, лояльность клиентов, конкурентные достоинства, и как следствие – снижение рисков, улучшение финансовых результатов [10].

Рассмотрим особенности бизнес-планирования для сферы аграрного производства. Система агропромышленного комплекса включает в себя 3 основные сферы: «...первая охватывает отрасли промышленности, обеспечивающие АПК средствами производства: тракторное и сельскохозяйственное машиностроение, машиностроение для пищевой и легкой промышленности, производство минеральных удобрений и химических средств защиты растений, ремонт оборудования и техники, сельскохозяйственное строительство. Вторая сфера представлена сельским хозяйством. Сельское хозяйство получает производственные ресурсы от 80 отраслей и поставляет

продукцию в 60 отраслей. Третья – включает совокупность отраслей и предприятий, обеспечивающих заготовку, транспортировку, хранение, переработку сельскохозяйственного сырья, а также реализацию конечной продукции. Она охватывает пищевую (пищевкусовую, молочную и мясную) и комбикормовую промышленность» [6].

Функция АПК – производить достаточное количество продуктов питания высокого качества, поддерживающих здоровье населения. Система АПК использует ресурсы окружающей среды. Для сельского хозяйства основными являются земля и вода, и одновременно оно производит множество продуктов, имеющих экологическое значение. С учетом ограниченности названных ресурсов при бизнес-планировании агропроектов необходимо минимизировать уровень негативного воздействия на окружающую среду.

При планировании производства в аграрном секторе требуется учесть масштаб воздействия сельского хозяйства на метрики ESG для проектов с учетом территориальной принадлежности. В плане учитываются изменения в природной среде, возникающие непосредственно в результате деятельности предприятий агробизнеса, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на природные ресурсы, имеющие краткосрочные или долгосрочные последствия с соответствующими затратами.

К множеству факторов, характеризующих ответственное отношение к окружающей среде (англ. E – environment), относятся: воздействие на изменение климата через выбросы парниковых газов; загрязнение воды; потребление пресной воды; загрязнение воздуха; деградация почвы; снижение биоразнообразия; производство отходов и обращение с ними; использование энергии; энергоэффективность здания; логистика; использование бумаги; расход топлива и готовность к энергопереходу; использование возобновляемых источников энергии; энергоэффективность установок и оборудования; декарбонизация и углеродная нейтральность; стратегия цикличности; сырье и производимая продукция; управление экологическими рисками [11, 23].

Социальная устойчивость (англ. S – Social) связана с управлением влияния бизнеса на людей: соблюдение прав человека, гарантированные рабочие места, демография сотрудников, женское представительство в совете директоров, инклюзивная культура сотрудников, предоставление малым предприятиям справедливых и равных возможностей, честная торговля, детский труд, прожиточный минимум и минимальный размер заработной платы, безопасность для здоровья и благополучия, корпоративная культура.

Социальные аспекты в агробизнесе сосредоточены на повышении качества жизни фермеров, работников сельскохозяйственных предприятий и общества в целом. Элементами трудовой устойчивости, которые могут быть отражены в бизнес-плане, являются заработная плата и льготы за особые условия труда, безопасность и охрана труда, стабильное трудоустройство, участие работников в улучшении условий труда.

Управленческие принципы (англ. G – governance) включают в себя следующие элементы: организационная структура управления, отраслевые риски, управление информацией, защита прав сотрудников, обслуживание клиентов, защита прав акционеров, этическая политика компании, политика противодействия уклонению от уплаты налогов, борьба со взяточничеством и коррупцией, борьба с отмыванием денег, оценка воздействия на окружающую среду и открытая отчетность, публикация данных о выбросах, отчетность о рисках ESG, устойчивость цепи поставок, эффективная пенсионная система, внешний и внутренний аудит, сравнение и анализ конкурентов, свобода информации, политика разнообразия, равных возможностей и инклюзии, корпоративная социальная ответственность.

Инвесторы стали все более внимательными к практикам устойчивости компаний и учитывают ESG-факторы при принятии решений об инвестировании. Отчетность о результатах устойчивого развития (например, по стандартам GRI – Global Reporting Initiative) стала неотъемлемой частью корпоративной отчетности, что

позволяет заинтересованным сторонам лучше понимать влияние компании на окружающую среду и общество. На основе стандартов GRI для устойчивого сельского хозяйства существенными темами являются [21]:

1. Выбросы (по всей цепи поставок).
2. Адаптация к изменениям климата.
3. Сохранение биоразнообразия.
4. Изменение естественных экосистем (существенные изменения их видового состава, структуры или функций включая деградацию земель).
5. Здоровье почвы.
6. Использование пестицидов.
7. Водопользование.
8. Продовольственная безопасность (food security).
9. Безопасность пищевых продуктов (food safety).
10. Здоровье и благополучие животных.
11. Взаимодействие с местными сообществами.
12. Принудительный, детский труд.
13. Экономическая интеграция (влияние на доступ местных жителей к экономическим возможностям).
14. Практики трудоустройства.

Эффективно функционирующие агропродовольственные системы являются ключевыми факторами искоренения нищеты, развития сельских территорий, создания рабочих мест, экономического роста, инноваций, и в более широком смысле – устойчивого развития, предлагая молодежи возможность проживать и оставаться в сельской местности.

Методической основой разработки отдельных проектов для реализации в агробизнесе является бизнес-план. На рисунке представлена концептуальная схема связей ЦУР, ESG-принципов и разделов бизнес-плана. Концептуальная схема предусматривает понимание предметной области разделов бизнес-плана за счет упорядочивания информации.

Бизнес-план проекта							
3. Проектируемый продукт или вид услуг	4. Продажи и маркетинг	5. План производства	2. Описание отрасли и компании	6. Организационный план	7. Финансовый план	8. Оценка эффективности проекта	9. Гарантии и риски компании
Окружающая среда, экологическая ответственность (E)			Общество, социальная ответственность (S)		Корпоративное управление, экономическая ответственность (G)		
6. Чистая вода и санитария 7. Недорогостоящая и чистая энергия 12. Ответственное потребление и производство 13. Борьба с изменением климата 14. Сохранение морских экосистем 15. Сохранение экосистем суши			1. Ликвидация нищеты 2. Ликвидация голода 3. Хорошее здоровье и благополучие 4. Качественное образование 5. Гендерное равенство 8. Достойная работа и экономический рост 10. Уменьшение неравенства 11. Устойчивые города и населенные пункты		9. Индустриализация, инновации и инфраструктура 16. Мир, правосудие и эффективные институты 17. Партнерство в интересах устойчивого развития		

Рис. Концептуальная схема связей разделов бизнес-плана, ESG-принципов и ЦУР ООН

На рисунке показано, как при разработке бизнес-плана можно использовать проблемно-ориентированный подход к заданному разделу документа.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) поощряет увеличение инвестиций в проекты компаний агропромышленного комплекса для производства различных продуктов питания в целях повышения продовольственной безопасности и сокращения воздействия на окружающую среду [14]. Агробизнес выбирает цели устойчивого развития в зависимости от направления деятельности, обозначает приверженность ЦУР ООН в бизнес-стратегиях, стратегиях ESG, достижимость ЦУР отражают в нефинансовых отчетах по устойчивому развитию [12].

Оценка устойчивости бизнеса, принципы работы в трех направлениях: окружающая среда, социальная сфера и корпоративное управление – представлена в ESG-рейтингах, рэнкингах. В ежемесячный ESG-рэнкинг российских компаний (май 2023 г.) вошли агрохолдинг «СТЕПЬ» (отрасль – сельскохозяйственная продукция), № 29, и группа компаний «Русагро» (отрасль – сельскохозяйственная продукция), № 73, из 160 компаний по данным рейтингового агентства RAEX (https://raex-rr.com/ESG/ESG_companies/ESG_rating_companies/2023.5/). Наиболее авторитетным рейтинговым агентством RAEX дается оценка по управлению ESG-рисками и реализацией концепции устойчивого развития.

Группа компаний «Русагро» среди 10 крупнейших компаний в агропромышленном комплексе из рейтинга RAEX-600 по объему реализации продукции в 2022 г. занимает первое место и 86 место из 600 компаний крупнейших компаний России (табл.).

Таблица

Рэнкинг крупнейшего агробизнеса в рейтинге RAEX-600 2022 г.

№	Название	Место в рейтинге RAEX-600	Объем реализации в 2021 г., млн руб.	Темпы роста выручки за год, %
1	«Русагро», группа компаний	86	222932	40.2
2	«Ресурс», группа агропредприятий	154	125668	53.7
3	«Астон продукты питания и пищевые ингредиенты»	171	108330	–6.4
4	«Агропродукт»	182	102519	49.3
5	Агрокомплекс им. Н.И. Ткачёва, фирма	258	71813	25.4
6	Маслоэкстракционный завод «ЮГ Руси»	284	66369	19.8
7	«КОМОС ГРУПП», агрохолдинг	301	61825	18.1
8	Свинокомплекс «Короча»	303	61475	10.1
9	«Содружество-Соя» (ЗАО)	305	61216	6.2
10	Брянская мясная компания	379	49162	22.8

Примечание. Источник – данные рейтингового агентства RAEX (https://raex-rr.com/largest/including_industry/APK/2022/).

Исходя из представленных данных, бенчмаркинг бизнеса в сельском хозяйстве позволил выявить группу компаний «Русагро» как компаний, демонстрирующих лидерство по всей цепи создания стоимости в вопросах устойчивого развития в агропродовольственной системе. В годовом отчете 2022 г. «Русагро» заявляет, что компания прикладывает усилия к достижению 13 целей из 17 ЦУР [7]. Отдельно в отчете представлена информация об инвестициях в проекты, например: по 9 ЦУР – внедрение технологии точного земледелия, автоматизация бизнес-процессов и повышение урожайности и плодородия почв; 15 ЦУР – рекультивация земель и ввод в оборот залежей, использование севооборотов, оптимальных для поддержания качества почв.

Проанализируем метрики устойчивого развития при бизнес-планировании применительно к достижению наилучшей дорожной карты бизнеса компании агропромышленного комплекса. Ниже приведены рекомендуемые тенденции ESG для включения в бизнес-план.

Резюме: краткое содержание бизнес-плана. Резюме должно подробно отражать ключевые элементы бизнес-плана и представлять информацию для привлечения внимания инвесторов, потенциальных партнеров. Проект представляется в контексте устойчивости предприятия.

Описание отрасли и компании. Отраслевой анализ в проекте позволяет дать оценку своего положения на рынке относительно конкурирующих компаний, производящих аналогичные продукты. Рассматривая процесс планирования, компания должна понимать состояние отрасли в целом. Методы отраслевого анализа в бизнес-планах позволяют предприятиям выявлять угрозы и возможности. Это помогает сосредоточить свои ресурсы на выявлении метрик производимых продуктов для получения конкурентного преимущества. В раздел включается информация о размере отрасли, продуктах и географической концентрации. Описываются конкуренты и соответствующая статистическая информация об их доходах, прибылях и т.д. По возможности анализируются ассортимент их продукции и стратегии.

Отдельный акцент следует сделать на разделе, посвященном оценке социальной ответственности своего бизнеса и конкурентных компаний: соблюдение соответствующих законов и нормативных актов, защита информации о клиентах, защита местных народностей, недопущение дискриминации, соблюдение прав человека, этическое поведение компании (ЦУР 8, ЦУР 10).

Проектируемый продукт, или вид услуг, включает в себя описание потребительских свойств продукции, ее конкурентных преимуществ. Экологическая ответственность компании отражает сокращение вредных выбросов от производства продукции. Увеличение безопасности продукта для снижения риска вредного воздействия на организм человека и будущее поколение, повышение качества и доступности продукции. Также отражаются предложения по возможной переработке и повторному использованию продукции и сырья, необходимости технологических процессов утилизации, переработки и сокращения объемов отходов (твердые и жидкие отходы).

Продажи и маркетинг. Наиболее важной частью любого плана продаж и маркетинга должны быть установленные в нем цели. Они должны быть конкретными (то есть продать X количество продуктов, повысить вовлеченность на Y процентов и т.д.). Цели также должны быть реалистичными на основе исследования текущих тенденций рынка и брендов конкурентов, чтобы помочь создать достижимые цели. В разделе учитываются факторы, влияющие на продажи: географию, сезонность, способы оплаты, изменения платежеспособности клиентов, транспортную логистику. На основе спланированных продаж формируют выручку от реализации продукции.

Успех компании приходит через удовлетворенность клиентов. В плане маркетинга отражают: обзор маркетинговых и рекламных целей бизнеса; описание текущей маркетинговой позиции бизнеса; ключевые показатели эффективности (KPI); описание целевого рынка бизнеса и потребностей клиентов. Исследователи Т.В. Бирюкова, Е.В. Энкина, Т.И. Ашмарина подчеркивают важность разработки маркетинговой стратегии для организаций сферы АПК, которая повышает конкурентоспособность на рынке [4].

Одним из требований стратегии маркетинга является исключение использования гринвошинга: ложной информации о практике ESG для привлечения потребителей к экологически чистым и устойчивым характеристикам продукта или услуги [20]. Во всех маркетинговых коммуникациях компании (маркировка продуктов и услуг, рыночные коммуникации и реклама) необходимо тщательно учитывать экологическую уязвимость предприятия, поскольку она играет ключевую роль в усилении влияния уровней экологической чистоты на реакцию покупательских, трудовых и инвестиционных намерений заинтересованных сторон.

План производства. Указывается, какие виды сырья и материалов необходимы, местонахождение поставщиков и то, каковы условия поставки. Далее описываются процессы всего производства с необходимым оборудованием и все требования к кадровому составу, условиям труда, структуре и составу подразделений включая обучение и предполагаемые изменения по мере развития компании и то, как будут утилизироваться отходы.

При составлении раздела «План производства» возникает необходимость расчета экологических издержек продуктов, имеющих серьезные последствия для окружающей среды, поскольку затраты на выбросы парниковых газов в атмосферу в организации их производства вообще не учитываются в ценообразовании, а вместо этого перекладываются на окружающую среду, общество в целом или будущие поколения.

Важным требованием становится необходимость описания того, что можно, действительно, создать эффективное производство экологически чистой продукции с учетом ESG-факторов: сокращение выбросов парниковых газов, сокращение выбросов прочих опасных химических веществ в атмосферу, разумное использование водных/природных ресурсов, сохранение биоразнообразия, переход к принципам замкнутого цикла в производстве/операциях, повышение энергоэффективности.

Организационный план. Организационный план проекта отражает повышение компетентности управляющих органов (включение в совет директоров людей с подходящей квалификацией и опытом), сохранение здоровья сотрудников, улучшение условий и охраны труда, развитие навыков и компетенций сотрудников, предоставление достойной оплаты труда сотрудникам, соблюдение принципов разнообразия в штате (инклюзивности).

На этапе планирования необходимо включить расходы на повышение профессиональных компетенций сотрудников в зависимости от специфики производственных процессов отраслей АПК.

Финансовый план. Использование программных продуктов для исследования финансового состояния проекта способствует лучшему принятию решений при каждом инвестиционном подходе [2, 16]. Это один из наиболее ценных аспектов любого бизнес-плана, поскольку он дает четкое представление о том, что компания делает со своими деньгами или как она растет – от первоначальных инвестиций до прибыльности.

В финансовом плане необходимо агрегировать информацию об экологических и социальных издержках проекта. Учет экологических и социальных затрат существенно влияет на финансовые показатели организации для будущей отчетности.

Оценка эффективности проекта анализируется через интегральные показатели экономической эффективности, через контроль за соблюдением бизнес-этики (уплата

налогов, предоставление прозрачной отчетности в будущем), соблюдение прав акционеров и повышение вовлеченности стейкхолдеров, через контроль за вознаграждением высшего руководства.

Экономическая эффективность проекта находится во взаимосвязи с экологическими и социальными аспектами проекта [20].

Экологическую эффективность определяют по сокращению углеродного следа продукта, который рассчитывается как: общий объем выбросов парниковых газов, производимых продуктом или услугой на различных этапах жизненного цикла продукта; сокращение выбросов парниковых газов, разграниченных на прямые и косвенные: по охвату 1 (прямые выбросы из источников, находящихся в собственности или под контролем компании), охвату 2 (косвенные выбросы от купленной или приобретенной энергии – такой, как электричество, пар, тепло или охлаждение, которая производится за пределами предприятия и потребляется отчитывающейся компанией), охвату 3 (косвенные выбросы, не включенные в охват 2, производимые в цепочке создания стоимости. Сокращение выбросов охвата 3 может иметь наибольший эффект); снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников.

Уменьшение нагрузки на окружающую среду оценивают через управление потреблением электроэнергии: сокращение общего объема потребляемой энергии, процента сетевой электроэнергии; увеличение процента низкоуглеродной и возобновляемой электроэнергии.

Показатели управления отходами: снижение общего веса отходов I–V классов опасности, выведение отходов из захоронения, уровень переработки упаковочных отходов по видам упаковки.

Экологическую эффективность управления водными ресурсами определяют как снижение потребления воды из всех источников водоснабжения (удельного водопотребления).

Оценка социальной эффективности агропромышленного проекта отражает: изменения оптимальных условий труда работников; улучшение качества жизни на селе в результате внедрения; использование показателей расходов на оплату труда; численность сотрудников (в том числе инвалидов); среднюю заработную плату с разбивкой по полу и возрасту; расходы на мероприятия по охране труда (показатели снижения травматизма); обучение сотрудников и участие в поддержке социальных программ (благотворительных, здравоохранения, образования, жилищных); коэффициент текучести кадров.

Гарантии и риски компании отражают анализ вероятных рисков для сельскохозяйственного бизнеса. Производственные риски: неблагоприятные погодные условия – такие, как ураганы, засуха, заморозки или чрезмерное количество осадков во время сбора урожая или посева; лесные пожары, повреждения растений, вызванные насекомыми-вредителями и болезнями, несмотря на принятые меры; выход из строя оборудования и механизмов. Финансовые риски – отсутствие достаточного количества денежных средств, получение прибыли ниже ожидаемой [8]. Экологические риски – загрязнение воды, эрозия почвы и использование пестицидов. Рыночный риск – неопределенность в отношении цен, которые производители получают за товары, или цен, которые они должны платить за ресурсы. Институциональный риск: налоговое законодательство, правила использования химикатов, правила утилизации отходов животноводства. Человеческий, или личный риск: проблемы со здоровьем человека или с личными отношениями, которые могут повлиять на сельскохозяйственный бизнес.

Одним из ключевых аспектов ESG-подхода является управление рисками. Компании, которые принимают во внимание ESG-факторы, имеют более прозрачную

и надежную систему управления рисками, что способствует снижению возможных негативных последствий для своей деятельности.

Исходя из сформулированных выше рекомендаций по использованию ESG-принципов при разработке бизнес-планов инвестиционных проектов в агропромышленной сфере, можно сделать предположение того, что игнорирование повестки устойчивого развития может привести к таким негативным последствиям, как:

1. Дополнительные ограничения в реализации проекта.
2. Отказ инвесторов от финансирования.
3. Репутационный ущерб.
4. Рост стоимости привлечения долгового финансирования.
5. Снижение кредитных рейтингов.
6. Сокращение клиентской базы.
7. Сужение рынков для расширения деятельности.

В то же время интеграция ЦУР в бизнес-планы дает существенные преимущества: усиление выявления и управления существенными рисками и затратами; доступ к новым рынкам; инновации в бизнес-моделях, что делает их более эффективными, тем самым согласовывая стратегию и ожидания компании с ее сотрудниками, клиентами, инвесторами.

Выводы

Включение ESG-факторов в бизнес-план позволяет сделать бизнес ответственным и экологичным, а также приносит ряд преимуществ – таких, как улучшение финансовых результатов, повышение лояльности клиентов и мотивации сотрудников. С усилением угрозы изменения климата и истощения ресурсов инвесторы все больше учитывают инвестиции в устойчивое развитие при принятии решений, что делает учет ESG-факторов более важным. ESG-факторы связаны с ответственным отношением к окружающей среде, социальной устойчивостью и управленческими принципами. Каждый из этих аспектов включает в себя ряд конкретных элементов, которые должны быть учтены при планировании и реализации проектов.

В агробизнесе особую важность имеет устойчивое сельское хозяйство, которое включает в себя множество тем – таких, как адаптация к изменениям климата, сохранение биоразнообразия, здоровье почвы, использование пестицидов, безопасность пищевых продуктов. Развитие эффективно функционирующих агропродовольственных систем способствует искоренению нищеты, созданию рабочих мест и устойчивому развитию сельских территорий.

Разработанный подход в концептуальной схеме помогает организациям внести свой вклад в достижение ЦУР на этапе бизнес-планирования, расставить приоритеты, оценить возможности, вызовы и риски, обусловленные ESG-принципами, подготовиться к нефинансовой отчетности.

Таким образом, важность учета ESG-принципов и устойчивого развития в бизнес-планах помогает компаниям создавать ответственный и прибыльный бизнес.

Библиографический список

1. *Азжеурова М.В.* Особенности бизнес-планирования в условиях сельскохозяйственного производства // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 3. – С. 213–220.
2. *Баранов Р.Д.* Разработка информационной подсистемы анализа финансового состояния предприятия в рамках бизнес-планирования // Актуальные проблемы экономики, социологии и права. – 2020. – № 2. – С. 22–25.

3. Бизнес-планы в сфере АПК. – URL: <http://mcx-consult.ru/business> (дата обращения: 10.07.2023).
4. *Бирюкова Т.В., Энкина Е.В., Ашмарина Т.И.* Стратегическое планирование деятельности АПК как основа конкурентоспособности организации // Известия ТСХА. – 2021. – № 1. – С. 87–97. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-1-87-97.
5. *Вахрушева О.Б.* Применение концепции устойчивого развития для стратегического планирования организации // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 5–1. – С. 92–95. – DOI: 10.24412/2411-0450-2021-5-1-92-95.
6. *Воронин Б.А. и др.* Агропромышленный комплекс России как единая система отраслей народного хозяйства // Аграрное образование и наука. – 2018. – № 2. – С. 14.
7. Годовой отчет Rosagro PLC за 2022 год. – URL: <https://download.praxisgroup.ru/Rusagro-Annual-Report-2022-RUS.pdf> (дата обращения: 10.07.2023).
8. *Солопов В.А. и др.* Государственная поддержка развития регионального агропромышленного комплекса // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (70). – С. 117–124.
9. *Зинина О.В., Ткачук Н.С.* Бизнес-планирование в АПК: специфика, методики // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2021. – Т. 10, № 1 (34). – С. 345–349.
10. *Мустафина А.С., Мекуш Г.Е., Панов А.А.* Концепция ESG-трансформации: Практикум. – Кемерово, 2023. – 118 с.
11. *Мустафина А.С., Мекуш Г.Е., Панов А.А.* Энергетический переход и новые институты: Учебное пособие. – Кемерово, 2023. – 100 с.
12. Национальный регистр корпоративных нефинансовых отчетов. – URL: https://rspp.ru/sustainable_development/register/ (дата обращения: 10.07.2023).
13. *Страшко И.В.* Особенности разработки бизнес-планов инвестиционных проектов в аграрной сфере // Экономика, статистика и информатика: Вестник УМО. – 2010. – № 2. – С. 54–57.
14. ФАО. 2022. Мировое продовольствие и сельское хозяйство: Статистический ежегодник. – Рим, 2022. – URL: <https://doi.org/10.4060/cc2211en> (дата обращения: 10.07.2023).
15. Цели в области устойчивого развития. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 10.07.2023).
16. *Шалаев А.В., Сокольников Ю.А.* К вопросу о бизнес-планировании в аграрном производстве // Финансовый вестник. – 2023. – № 1 (60). – С. 58–62.
17. *Шиндина Ю.А.* Бизнес-планирование и стратегическое планирование: три уровня взаимосвязей // Проблемы современной экономики (Новосибирск). – 2015. – № 28–2. – С. 175–179.
18. *Adam M. Komarek, Alessandro De Pinto, Vincent H. Smith.* A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know // Agricultural Systems. – 2020. – Vol. 178. – P. 102738. – DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102738.
19. *Adesuwa Vanessa.* Agbedahin Sustainable development, Education for Sustainable Development, and the 2030 Agenda for Sustainable Development: Emergence, efficacy, eminence, and future // Sustainable development. – 2019. – Vol. 27, Iss. 4. – P. 669–680. – DOI: 10.1002/sd.1931.
20. *Aldowaiash A., Kokuryo J., Almazyad O., Goi H.C.* Environmental, Social and Governance Integration into the Business Model: Literature Review and Research Agenda // Sustainability. – 2022. – № 14. – P. 2959. – DOI: 10.3390/su14052959.
21. GRI 13: Agriculture, Aquaculture and Fishing Sectors. – 2022. – URL: <https://www.globalreporting.org/search/?query=GRI+13> (дата обращения: 11.05.2023).

22. Riccardo Torelli, Federica Balluchi, Arianna Lazzini. Greenwashing and environmental communication: Effects on stakeholders' perceptions // *Business Strategy and the Environment*. – 2020. – Vol. 29, Iss. 2. – P. 407–421. – DOI: 10.1002/bse.2373.

23. Sulewski Piotr & Golaś Marlena. Environmental Awareness of Farmers and Farms' Characteristics // *Problems of Agricultural Economics*. – 2019. – № 361. – P. 55–81. – DOI: 10.30858/zer/115186.

IMPLEMENTATION OF ESG PRINCIPLES IN BUSINESS PLANNING OF INVESTMENT PROJECTS IN THE AGRIBUSINESS SECTOR

A.S. MUSTAFINA, I.A. BAKIN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The key areas for improving agribusiness sustainability and responsibility are related to environmental, economic, health and social factors. Companies recognize that integrating the ESG (Environmental, Social, and Governance) approach into their operations not only contributes to eliminating negative environmental and social impacts, but can also be a source of competitive advantage. A more sustainable company can attract investors who are committed to ESG principles. Incorporating an ESG approach into business planning minimizes risk and maximizes the efficiency of agribusiness projects. The novelty of the research lies in identifying and describing specific ESG metrics in the business planning process, both quantitative, measurable indicators, and qualitative ones, to motivate agribusinesses to improve their financial performance.. The study places a particular emphasis on environmental and social performance. The authors have formulated methodological approaches for the use of ESG principles in business planning for investment projects in the agribusiness sector. The integration of Sustainable Development Goals (SDGs) and ESG principles into the sections of a business plan is presented in the form of a conceptual scheme. Using this relationship, companies should strive to incorporate various ESG trends into their business plans. Based on the analysis of rating agency data, business benchmarking in the agribusiness sector is presented, and sustainable development projects are discussed. The concept of sustainable agriculture is interpreted to include projects such as the implementation of precision farming technology, the automation of business processes, the improvement of soil fertility and productivity, land reclamation, the use of fallow land and the use of crop rotations optimised to maintain soil quality. The practical significance is defined in the identified ESG practices and the opportunities for their incorporation into business plans for the agribusiness investment projects.

Keywords: business plan, financial indicators, risks, agro-industrial sector, investment project, ESG (Environmental, Social, Governance).

References

1. Azzheurova M.V. Features of business planning in of agricultural production. *Nauka i Obrazovanie*. 2020;3(3):213–220. (In Russ.)

2. Baranov R.D. Development of enterprise financial analysis information subsystem within business planning. *Aktual'nye problemy ekonomiki, sociologii i prava*. 2020;2:22–25. (In Russ.)

3. Business plans in the agribusiness sector. (In Russ.) URL: <http://mcx-consult.ru/business> (Access date: 10.07.2023)

4. Biryukova T.V., Enkina E.V., Ashmarina T.I. Strategic planning of agribusiness activities as a basis for the organization competitiveness. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2021;(1):87–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-87-97>

5. Vahrusheva O.B. Applying the concept of sustainable development for strategic planning of the organization. *Economy and Business: Theory and Practice*. 2021;5–1:92–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2021-5-1-92-95>
6. Voronin B.A. et al. Agro-industrial complex of Russia as a system of sectors of the economy. *Agrarnoe obrazovanie i nauka*. 2018;2:14. (In Russ.)
7. Annual report of ROSAGRO PLC for 2022. (In Russ.) URL: <https://download.praxisgroup.ru/Rusagro-Annual-Report-2022-RUS.pdf> (Access date: 10.07.2023)
8. Solopov V.A. et al. State support for the development of the regional agro-industrial complex. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022;3(70):117–124. (In Russ.)
9. Zinina O.V., Tkachuk N.S. Business planning in the agro-industrial complex: specifics, methods. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2021;10(1(34)):345–349. (In Russ.)
10. Mustafina A.S., Mekush G.E., Panov A.A. ESG – Transformation concept: Practical course. Kemerovo, 2023:118. (In Russ.)
11. Mustafina A.S., Mekush G.E., Panov A.A. Energy transition and new institutions: A study guide. Kemerovo, 2023:100. (In Russ.)
12. National Register of corporate non-financial reports. (In Russ.) URL: https://rspp.ru/sustainable_development/registr/ (Access data: 10.07.2023)
13. Strashko I.V. Particularities of the development business plans investment project in the agrarian sphere. *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO*. 2010;2:54–57. (In Russ.)
14. FAO. 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook]. 2022. Rom. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.4060/cc2211en> (Access date: 10.07.2023).
15. Sustainable Development Goals. (In Russ.) URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (Access date: 10.07.2023)
16. Shalaev A.V., Sokolnikova Yu.A. On the issue of business planning in agricultural production, *Finansoviy vestnik*. 2023;1(60):58–62. (In Russ.)
17. Shindina Yu.A. Business planning and strategic planning: three levels of relationships. *Problemy sovremennoy ekonomiki (Novosibirsk)*. 2015;28–2:175–179. (In Russ.)
18. Adam M. Komarek, Alessandro De Pinto, Vincent H. Smith, A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*. 2020;178:102738. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>
19. Adesuwa Vanessa Agbedahin Sustainable development, Education for Sustainable Development, and the 2030 Agenda for Sustainable Development: Emergence, efficacy, eminence, and future. *Sustainable development*. 2019;27(4):669–680. <https://doi.org/10.1002/sd.1931>
20. Aldowaiash A., Kokuryo J., Almazyad O., Goi H.C. Environmental, Social, and Governance Integration into the Business Model: Literature Review and Research Agenda. *Sustainability*. 2022,14:2959. <https://doi.org/10.3390/su14052959>
21. GRI 13: Agriculture, Aquaculture and Fishing Sectors 2022. URL: <https://www.globalreporting.org/search/?query=GRI+13> (Access date: 11.05.2023)
22. Riccardo Torelli, Federica Balluchi, Arianna Lazzini Greenwashing and environmental communication: Effects on stakeholders' perceptions. *Business Strategy and the Environment*. 2020;29(2):407–421. <https://doi.org/10.1002/bse.2373>
23. Sulewski Piotr, Gołaś Marlena. Environmental Awareness of Farmers and Farms' Characteristics. *Problems of Agricultural Economics*. 2019;361:55–81. <https://doi.org/10.30858/zer/115186>

Мустафина Анна Сабирдзяновна, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, канд. техн. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Лиственничная аллея, 4а; e-mail: mustafina_as@mail.ru; тел.: 8–908–941–50–48

Бакин Игорь Алексеевич, и.о. заведующего кафедрой процессов и аппаратов перерабатывающих производств, д-р техн. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Лиственничная аллея, 4а; e-mail: bakin@rgau-msha.ru; тел.: 8(499) 977–92–73

Anna S. Mustafina, CSc (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Horticulture and Plant Products, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (908) 941–50–48; E-mail: mustafina_as@mail.ru)

Igor' A. Bakin, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Processes and Equipment of Processing Productions, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 977–92–73; E-mail: bakin@rgau-msha.ru)

ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЕКТОРА

Д.Ю. САМЫГИН¹, А.А. ИВАНОВ²

(¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»;

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»)

Рассматривается комплексная проблема территориального размещения и стратегического развития агропродовольственного сектора, при должном состоянии которого обеспечивается физическая и экономическая доступность продукции на уровне рациональных норм потребления для каждого гражданина страны. Территориальное планирование призвано задействовать те конкурентные преимущества регионов, которые в большей степени соответствуют задаче «желаемого» развития аграрной сферы. Целью исследований является оценка влияния сложившегося размещения агропродовольственного сектора на результаты его стратегического развития. Информационным ресурсом исследований явилась авторская база данных, характеризующая развитие агропродовольственного сектора субъектов РФ за 2017–2020 гг. Для выявления конкурентных преимуществ регионов используется метод сравнительной оценки уровня показателей (локализация как критерий специализации, продуктивность, себестоимость, доходность, цена реализации как критерий защиты потребителей) между регионами. Логика подхода заключается в том, что «правильная» специализация является следствием сравнительных преимуществ регионов по названным позициям конкурентоспособности продукции. Показано, что сложившееся распределение ресурсов стратегического развития агросектора обусловлено природно-экономическими условиями. Выявлено, что в регионах с лучшим рентаобразующим фактором наблюдается также сосредоточенность энергетических мощностей, трудовых и материально-технических ресурсов, основного капитала, инвестиционных вложений. Показано также, что высокая концентрация средств и предметов труда на определенном этапе не ведет к росту эффективности новых инвестиций, а больше способствует усилению капиталоемкости продукции, ее удорожанию и снижению экономической доступности. Определено, что конкурентные преимущества регионов недостаточно задействованы для решения задач стратегического развития агропродовольственного сектора. Сделан вывод о необходимости усиления мер «стимулирующей» поддержки производителей. Новизна исследований заключается в том, что научные аспекты пространственного размещения агропродовольственного сектора дополнены теоретико-методологическими положениями, основанными на принципах сбалансированного формирования физической и экономической доступности продукции. Научные разработки могут быть использованы органами власти в качестве поддержки принятия стратегических решений по территориальному планированию АПК.

Ключевые слова: агропродовольственный сектор, территориальное планирование, размещение ресурсов, аграрный потенциал, конкурентные преимущества, физическая доступность, экономическая доступность.

Введение

В связи с Доктриной продовольственной безопасности РФ [1] от 2020 г. перед агропродовольственным сектором поставлена качественно новая стратегическая задача: способствовать достижению физической и экономической доступности продукции на уровне рациональных норм потребления для каждого гражданина страны.

Решение задачи сводится по сути к увеличению одновременно объемов выпуска и потребления продукции, то есть обеспечению сбалансированного формирования производства и потребления на душу населения и их равновесия в принципиально иной точке. Исходя из этого сфера производства и реализации должна достичь такого уровня социально-экономического развития, который приведет к решению указанной выше стратегической задачи, что и характеризует понятие стратегического развития агропродовольственного сектора.

Россия обладает огромным аграрным потенциалом для решения новых задач продовольственной безопасности. Как отмечает академик А.И. Алтухов [1], чтобы эффективно задействовать потенциал сельхозтоваропроизводителей, важно обеспечить максимальное соответствие природных условий биологическим требованиям и особенностям возделывания отдельных сельскохозяйственных культур и выращивания животных. Известно, что по многим видам продукции не все регионы могут производить ее с одинаковой эффективностью. Наряду с этим справедливым является утверждение академика Г.В. Беспехотного [2], заключающееся в том, что для обеспечения «желаемого» уровня равновесия спроса и предложения на агропродовольственном рынке, особенно в условиях внешних санкций, не удастся ограничиться аграрными ресурсами только регионов с благоприятными территориями. Важно рационально использовать аграрный потенциал регионов с менее благоприятными природно-экономическими условиями хозяйствования.

Ученые Тимирязевской СХА [3] оправданно утверждают, что рациональное использование аграрного потенциала – эффективный ответ на многие вызовы устойчивого развития АПК. Полагаем, что нужно таким образом организовать территориальное размещение и использование на этой основе аграрного потенциала каждого региона страны, чтобы обеспечить «желаемое» стратегическое развитие агропродовольственного сектора и в итоге создать условия по достижению заданных рациональными нормами потребления параметров физической и одновременно экономической доступности продукции.

Особенно важно учесть конкурентные преимущества регионов при распределении федеральных субсидий субъектам РФ [4], выделяемых на поддержку развития приоритетных отраслей сельского хозяйства. Такой порядок стимулирования закладывает определенные основы территориального развития агропрома. Сегодня такой механизм пока еще не отработан. Субъекты РФ на свое усмотрение выбирают приоритеты аграрного развития, зачастую слабо обоснованные. Так, в 2020 г. в приоритеты регионального развития АПК Камчатский край определил овощи открытого грунта, ряд регионов Сибири и Дальнего Востока посчитал перспективным расширение плодово-ягодных насаждений, а Краснодарский край не выбрал производство зерновых культур [5].

Цель исследований: оценка влияния сложившегося размещения агропродовольственного сектора на результаты его стратегического развития.

Задачи исследований:

- проанализировать эффективность территориального размещения ресурсов стратегического развития агропродовольственного сектора;
- дать сравнительную оценку конкурентных преимуществ регионов в обеспечении стратегического развития агропродовольственного сектора;
- обосновать рекомендации по территориальному размещению и рациональному использованию аграрного потенциала регионов.

Теоретические аспекты исследований. Теория размещения производства, изложенная М. Блаугом [6], исходит из того, что выбор географического месторасположения бизнеса базируется на принципах максимизации прибыли. Отдельные

положения по развитию этой теории применительно к аграрной сфере нашли отражение в трудах иностранных и российских ученых и специалистов. В основе их научных положений по размещению сельскохозяйственного производства заложены, как правило, отдельные экономические (объем выпуска продукции [7, 8], объем реализации на экспорт [9], степень защиты производителей по цене [10, 11], размер транспортных издержек [12, 13]) и природно-климатические аспекты развития отраслей АПК (биоклиматический потенциал регионов [14, 15], изменение климата [16]). Во главу угла размещения аграрного сектора поставлены по сути абсолютные преимущества субъектов РФ, которые, как отмечал А. Смит [17], возникают за счет благоприятных природных и климатических условий, дешевизны и легкодоступности сырья и других факторов. Абсолютные преимущества, как пишут западные специалисты [18], зависят от наделенности субъектов РФ природными, трудовыми и технологическими ресурсами. Сравнительные преимущества, по мнению Д. Бернхофена [19], в отличие от абсолютных есть у каждого региона при сопоставлении конкретных видов продукции. Известный специалист М. Портер [20] считал, что как раз такие преимущества имеют стратегическое значение в развитии бизнеса. При этом советские ученые [21] настаивали на том, что в аграрном секторе необходимо учитывать устойчивую и углубленную специализацию регионов с преимущественным ростом производства тех видов сельскохозяйственной продукции, для которых имеются наилучшие условия.

По мнению авторов статьи и в соответствии с положениями теории сравнительных преимуществ, изложенными Д. Рикардо [22], одни регионы РФ должны производить и вывозить в другие регионы ту продукцию (сырье и продовольствие), которые обходятся им относительно дешевле, и ввозить ту продукцию (сырье и продовольствие), которые производятся в других регионах РФ сравнительно дешевле, чем у них. Это же утверждение будет правильным касательно других критериев формирования физической и экономической доступности продукции. В определенных природно-экономических условиях более целесообразно выращивать те виды продукции, сырье и продовольствие, по которым выше продуктивность (урожайность), ниже себестоимость, выше доходность для производителей, ниже цена реализации, выше покупательная способность доходов населения. В общем виде сравнительные преимущества в стратегическом развитии агропродовольственного сектора характеризуют способность товаропроизводителей в регионах осуществлять выпуск тех или иных видов продукции с относительно более высокими показателями конкурентоспособности и на этой основе обеспечить физическую и экономическую доступность продукции наилучшим образом. Поэтому теория размещения (с учетом поставленных Доктриной РФ продовольственных задач и положений теории сравнительных преимуществ) приобретает новый контекст, в котором учитываются интересы не только аграрного бизнеса, но и общества. Здесь следует согласиться с ведущими учеными [23] в том, что в любом случае эффективное размещение обосновано учетом климатических условий, важных для производства продукции, спроса потребителей и возможностей их обеспечения на территории каждой группы регионов. Несомненно и то, что рентообразующий фактор остается ключевым неизменным ориентиром размещения аграрных ресурсов и стратегического развития агропродовольственного сектора.

Вместе с тем авторы статьи полагают, что для успешного достижения заданных Доктриной параметров физической и экономической доступности продукции целесообразно усилить специализацию регионов на выпуске тех видов продукции, сырья и продовольствия, по которым имеются максимальные сравнительные преимущества, выгодные как производителям, так и потребителям.

Материал и методы исследований

В качестве информационного ресурса исследований использовалась база данных «Сравнительные преимущества субъектов РФ в агропродовольственном секторе» [24], которая содержит основные показатели в разрезе субъектов РФ в среднем за 2017–2020 гг. Ее показатели были проанализированы на предмет соответствия специализации аграрного производства субъектов РФ и конкурентных преимуществ в обеспечении физической и экономической доступности продукции. В базе данных представлен набор показателей, характеризующих сравнительные преимущества субъектов РФ по уровням локализации производства, самообеспеченности, физической доступности, экономической доступности, урожайности (продуктивности), себестоимости, доходности производителей, защиты потребителей, доходов населения в различных природно-экономических условиях.

В качестве аналитического выражения природно-экономических условий сельскохозяйственной деятельности регионов РФ используется показатель кадастровой стоимости 1 га земель сельскохозяйственного назначения. В этом контексте для оценки влияния территориальных факторов на предпосылки и параметры формирования физической и экономической доступности продукции вся совокупность субъектов РФ разбита на 5 равных групп (20% наполняемости) по мере увеличения кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий. Это позволило кластеризовать регионы, существенно различающиеся по биоэкономическому потенциалу и полученным результатам развития агропродовольственного сектора (рис. 1).

Группы субъектов РФ	Кадастровая оценка 1 га сельхозугодий к среднему уровню по РФ, %	Состав субъектов РФ
Первая	27	Чукотский АО, Республики: Саха (Якутия), Тыва, Коми, Бурятия, Хакасия, Калмыкия, Край: Камчатский, Забайкальский, Пермский, Области: Кировская, Мурманская, Амурская, Сахалинская, Томская, Тюменская
Вторая	77	Республики: Алтай, Карелия, Край: Алтайский, Красноярский, Области: Архангельская, Магаданская, Астраханская, Самарская, Новгородская, Иркутская, Псковская, Кемеровская, Костромская, Новосибирская, Свердловская
Третья	111	Республики: Удмуртская, Чеченская, Татарстан, Край: Приморский, Хабаровский, области: Волгоградская, Вологодская, Калужская, Саратовская, Тверская, Курганская, Владимирская, Челябинская, Кировская, Смоленская, Ульяновская
Четвертая	147	Республики: Башкортостан, Кабардино-Балкарская, Ингушетия, Марий Эл, Дагестан, Чувашская, Мордовия, Области: Ярославская, Брянская, Пензенская, Оренбургская, Ивановская, Еврейская автономная, Тамбовская, Рязанская, Омская, Тульская
Пятая	302	Республики: Карачаево-Черкесская, Адыгея, Северная Осетия-Алания, Крым, Край: Ставропольский, Краснодарский, Области: Орловская, Липецкая, Калининградская, Курская, Ростовская, Белгородская, Воронежская, Ленинградская, Московская

Рис. 1. Группы субъектов РФ по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий (расчеты авторов по данным Росстата)

Процесс исследования разбит на 2 этапа и включает в себя:

1. Оценку структуры ресурсов развития агропродовольственного сектора, ответственности доли аграрного производства и емкости рынка продукции (сырья и продовольствия), обеспеченности условий стратегического развития сектора, результативности использования ресурсов, капиталоемкости произведенной продукции.

На данном этапе выявляется структура распределенности аграрных ресурсов по регионам в зависимости от природно-экономических условий ведения сельского хозяйства. Результаты такого распределения соотносятся со структурой спроса на продовольственном рынке и с обеспеченностью условий стратегического развития агропродовольственного сектора. Соотношение доли валовой продукции к доле населения является своеобразным индикатором самообеспеченности продовольственного внутреннего рынка регионов в целом по основным видам продукции.

2. Оценку сравнительных преимуществ регионов по отдельным аспектам конкурентоспособности продукции. В основе используются подход Б. Баласса [25] по относительному сравнению уровня показателей одного субъекта предпринимательства с уровнем аналогичных показателей другого субъекта. На данном этапе задействованы 2 группы показателей, характеризующие сравнительные преимущества в формировании:

- физической доступности (урожайность, себестоимость, доходность);
- экономической доступности (защита потребителей по цене, покупательная способность доходов населения).

Для оценки сформированности уровня физической (экономической) доступности используется соотношение уровня производства (потребления) основных видов продукции на душу населения с рациональными нормами потребления. Уровень физической доступности в данном случае показывает самообеспеченность рациональных норм в регионе по конкретному виду продукции [26].

Для оценки специализации применяется показатель локализации, характеризующий соотношение доли производства продукции в регионе к доле этой же продукции в стране, выраженное в процентах. Значение показателя выше 100% показывает наличие специализации по данному виду продукции, ниже 100% – наоборот, отсутствие специализации [27].

Логичным является то, если специализация аграрного бизнеса в регионе базируется на сравнительных конкурентных преимуществах в уровне урожайности сельхозкультур (продуктивности сельхозживотных), уровне себестоимости, уровне доходности, уровне цен реализации как показатель защиты потребителей на внутреннем рынке, покупательная способность доходов населения.

В процессе оценки сравнительных преимуществ регионов достигнутый уровень данных показателей в группах регионов по кадастровой стоимости соотносится со средним уровнем тех же показателей по стране. Полученный показатель выражается в процентах. Если значение показателя превышает 100%, значит, товаропроизводители в регионе имеют сравнительное конкурентное преимущество по тому или иному критерию формирования физической и экономической доступности. Такое сравнение наглядно показывает, с одной стороны, специализацию региона на конкретных видах продукции, с другой стороны – соответствие этой специализации выявленным конкурентным преимуществам.

Как отмечалось выше, субъектам РФ логически верной является специализация на тех видах продукции, по которым выше продуктивность (урожайность), ниже себестоимость, выше доходность для производителей, ниже цена реализации, выше покупательная способность доходов населения. Это способствует лучшей конвергенции физической и экономической доступности тех или иных видов продукции.

Результаты и их обсуждение

1. Размещение ресурсов и результаты развития аграрного сектора

На начальной стадии данного этапа исследований определена структура ресурсного обеспечения развития агропродовольственного сектора в зависимости от природно-экономических условий (рис. 2).

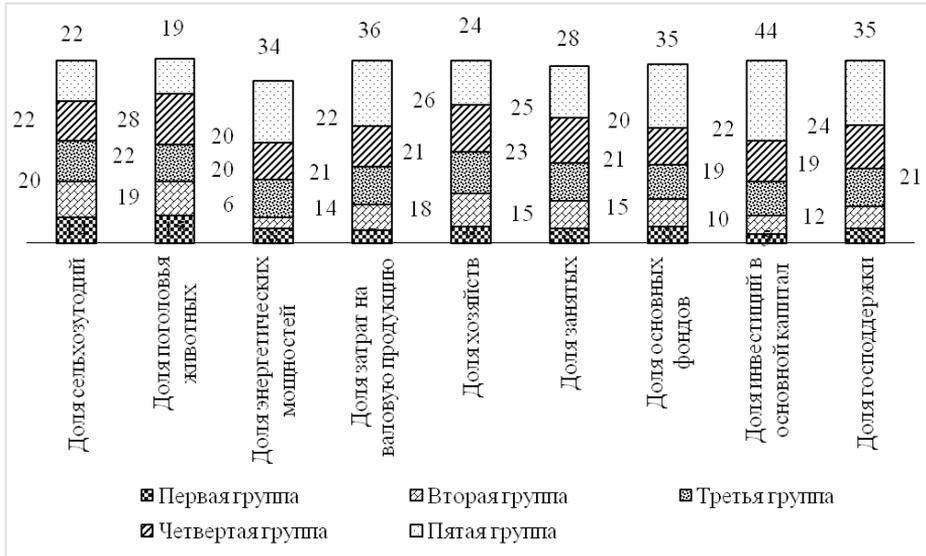


Рис. 2. Структура ресурсов развития агропродовольственного сектора в группах регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий, % (расчеты авторов по данным Росстата)

Видим, что структура сельхозугодий распределена примерно в равных долях начиная со второй группы регионов. Не слишком большой является вариация между группами регионов по доле поголовья животных. По остальным показателям, характеризующим долю ресурсного обеспечения, происходит увеличение по мере улучшения естественных рентных факторов. Так, доля энергетических мощностей составляет 35% в пятой группе против 8% в первой группе регионов. Последняя группа также превышает первую: по доле трудовых ресурсов (занятых) – в 3,5 раза; по доле основных фондов – почти в 4 раза; по доле господдержки – в 4,4 раза; по доле текущих затрат – более чем в 5 раз; по доле инвестиций в основной капитал – почти в 9 раз.

Логично предположить то, что ресурсная обеспеченность стратегического развития в группах с благоприятными условиями выше, чем в группах с менее благоприятными условиями. Тем самым в регионах с лучшим климатом имеются предпосылки получения рентного дохода за счет не только природного, но и экономического факторов (табл. 1).

Из данных таблицы напрашивается вывод о том, что пятая группа регионов в большей степени, чем первая, обеспечена условиями для формирования как физической, так и экономической доступности. Так, в последней группе регионов фондообеспеченность (стоимость основных средств на 1 га сельхозугодий) составляет более 65 тыс. руб., тогда как в первой группе – только 29 тыс. руб. Аналогичной является картина и по фондовооруженности (стоимость основных средств на одного занятого). По другим показателям тоже наблюдается существенная разница между крайними группами регионов, различающихся климатическими рентообразующими

факторами. Особенно интересным является тот факт, что индекс цен производителей продукции и средние цены по различным видам сырья и продовольствия имеют более благоприятные значения тоже в группах с лучшими природно-экономическими условиями.

Таблицы 2, 3 характеризуют сложившуюся структуру размещения производства и структуру потенциальных потребителей продукции агропродовольственного сектора.

Таблица 1

Обеспеченность условий стратегического развития агросектора в группах регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Фондообеспеченность, тыс. руб./га	29,1	32,2	32,9	35,8	65,3
Фондовооруженность, тыс. руб./чел.	10,4	10,6	10,8	11,2	14,1
Энергообеспеченность, л.с/га	0,4	0,5	0,6	0,6	1,0
Инвестиции в основной капитал на 1 га сельхозугодий, тыс. руб./га	1,1	1,3	1,9	2,3	5,3
Объем господдержки на 1 га сельхозугодий, тыс. руб./га	0,7	0,7	1,1	1,3	1,9
Соотношение зарплаты в сельском хозяйстве со средним уровнем по региону, %	60	69	69	72	87
Индекс цен производителей продукции, %	102	100	99	99	96
Соотношение цен по основным видам продукции в среднем по региону со средним уровнем по стране (среднее геометрическое)	118	100	95	88	95

Таблица 2

Соотношение доли валовой продукции к доле населения
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Доля валовой продукции	7	14	21	21	37
Доля ВП растениеводства	5	12	21	20	42
Доля ВП животноводства	9	16	21	23	31
Доля населения	13	20	23	19	25
Соотношение доли валовой продукции к доле населения	54	70	91	111	148

Вследствие существенного превышения доли ресурсов в группах с лучшими природными факторами наблюдается и больший удельный вес валовой продукции (37% в пятой группе против 7% в первой группе). В этой связи получается значительный перевес доли валового производства к доле населения, которая характеризует долю емкости продовольственного рынка. Самообеспеченность емкости продовольственного рынка в первой группе регионов составляет 54%, а в пятой – 148%. Необходимо отметить, что полное покрытие емкости рынка продукции наблюдается только в двух последних группах регионов с самыми благоприятными факторами природно-экономической среды.

Данные таблицы 4 показывают, что уровень валовой продукции в расчете на единицу ресурсов, используемых для ее производства или потребления, увеличивается по мере повышения кадастровой стоимости земли сельскохозяйственного назначения. К примеру, на 1 га сельхозугодий уровень валовой продукции составил более 59 тыс. руб. в пятой группе против примерно 21 тыс. руб. в первой группе.

Существенными являются различия и по уровню валовой продукции на единицу энергетических мощностей, основных фондов, трудовых ресурсов, доходов населения. При этом обратная тенденция отмечается по уровню валовой продукции на рубль инвестиций в основной капитал. Так, если в первой группе показатель составляет 20 руб., то в пятой – менее 11,5 руб.

Наблюдается насыщенность средствами труда в регионах с лучшими условиями. Это можно объяснить тем, что отдача от использования ресурсов не является безграничной. На определенном этапе развития по мере роста вложений их эффективность снижается. Наступает момент, когда для повышения эффективности дополнительных вложений (инвестиций в основной капитал) требуются значительная модернизация мощностей или перевооружение производства. Логика данных рассуждений как раз вытекает из положений теории предельной эффективности затрат, описанной в книге А. Маршала [28]. Выводы подтверждаются отчасти данными таблицы 4.

Таблица 3

Производство валовой продукции (ВП) агросектора в группах регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий (расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
ВП всего на 1 га сельхозугодий, млн руб/га	20,7	25,5	32,2	34,2	59,2
ВП растениеводства на 1 га посевов, млн руб/га	7,7	11,8	16,5	16,3	35,4
ВП животноводства на 1 гол. животных, млн руб/га	80,4	117,1	136,4	144,8	216,0
ВП всего на 1 л.с., млн руб/л.с.	48,9	48,6	55,6	62,2	70,1
ВП всего на 1 чел., млн руб/чел.	862,2	906,1	993,9	1049,1	1290,1
ВП всего на 1 руб. доходов населения, тыс. руб/руб.	621,1	887,9	1261,7	1820,8	1828,6
ВП всего на 1 руб. основных фондов, коп/руб.	75,3	80,1	95,4	97,1	99,3
ВП на 1 руб. инвестиций в основной капитал, руб/руб.	20,0	19,2	15,8	13,8	11,6

**Оценка затратно- и фондоемкости продукции агросектора
в группах регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий**
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Затратоемкость продукции, руб/руб.	0,89	0,87	0,89	0,90	0,88
Фондоемкость продукции, руб/руб.	1,33	1,25	1,05	1,07	1,10
Инвестициеёмкость продукции, коп/руб.	5,00	5,21	6,33	7,25	8,62

Примечание. Составлено авторами.

Результаты оценки затратоемкости (затраты производства на 1 руб. валовой продукции) показывают, что величина затрат в каждом рубле продукции является примерно одинаковой во всех группах регионов, несмотря на различия в природно-экономических условиях. К тому же степень концентрации инвестиций в основной капитал в каждом рубле продукции растет по мере увеличения кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий. Получается, что дальнейшее вливание средств в регионах с благоприятными условиями может привести к удорожанию продукции, и как следствие – к снижению ее экономической доступности.

Сегодня ученые [29–31] все больше приходят к выводу о том, что рынку нельзя «поручить» задачу оптимизации территориального размещения аграрного производства, так как зачастую преобладает приоритет финансовых интересов бизнеса над социально-экономическими интересами общества. Поэтому, на наш взгляд, дальнейшее размещение инвестиционных вложений между группами регионов по природно-экономическим условиям требует более рационального подхода, основанного на оценке конкурентных преимуществ субъектов РФ в решении качественно новых продовольственных задач.

2. Сравнительные преимущества регионов в аграрном развитии

Результаты, полученные на данной стадии исследований, представляют собой показатели по выделенным группам регионов, соотнесенные со средними значениями тех же показателей по стране в целом. Сравнительные значения показателей представлены в процентах и характеризуют наличие или отсутствие конкурентных преимуществ регионов по отдельным позициям и аспектам стратегического развития агропродовольственного сектора в разрезе отдельных видов продукции, сырья и продовольствия. Для интерпретации полученных результатов каждому показателю, превышающему значение 100%, условно присваивается единица, не превышающему значению 100% присваивается ноль.

Специализация по зерну является напрямую следствием природно-экономического фактора. По мере его улучшения увеличивается уровень специализации от группы к группе. Однако на выращивании данного вида продукции специализируется только группа регионов с максимальной стоимостью 1 га сельхозугодий. Уровень самообеспеченности рациональных норм здесь почти в 2 раза превышает уровень четвертой группы и почти в 6 раз – уровень первой группы. Тренды уровней самообеспеченности рациональных норм, экономической доступности, специализации и урожайности имеют похожую направленность и не согласуются с трендами уровней себестоимости, доходности и защиты потребителей. Сбалансированное формирование производства и потребления на душу населения наблюдается только в пятой группе регионов.

Важно отметить, что группа регионов с ярко выраженной специализацией на выпуске зерна имеет только 2 сравнительных преимущества, в то время как первая и вторая группы имеют по 3 таких преимущества, а четвертая – 4.

Таблица 5

Сравнительные конкурентные преимущества групп регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий в формировании физической и экономической доступности зерна/хлебных продуктов, %
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Самообеспеченность рациональных норм	44	59	100	149	260
Уровень экономической доступности	98	99	97	100	105
Локализация	40	75	83	86	142
Урожайность	71	64	82	84	161
Себестоимость	96	109	96	102	88
Доходность	107	110	109	105	94
Защита потребителей	106	112	100	108	94
Покупательная способность доходов населения	102	94	95	106	103

Примечание. Составлено авторами.

Таблица 6

Сравнительные конкурентные преимущества групп регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий в формировании физической и экономической доступности картофеля, %
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Самообеспеченность рациональных норм	64	87	87	168	124
Уровень экономической доступности	87	103	101	115	98
Локализация	112	123	118	129	62
Урожайность	85	96	99	110	99
Себестоимость	82	108	89	103	111
Доходность	82	100	100	102	106
Защита потребителей	100	108	89	102	104
Покупательная способность доходов населения	106	102	99	95	98

Примечание. Составлено авторами.

Относительно картофеля наблюдается специализация во всех группах регионов (кроме пятой). Уровень специализации слабо связан с природно-экономическими условиями, но вполне повторяет тенденцию уровней самообеспеченности рациональных норм и экономической доступности продукции. В то же время не прослеживается одинаковая направленность тенденции специализации и сравнительных преимуществ по мере улучшения плодородных качеств сельхозугодий. Сбалансированное формирование производства и потребления на душу населения наблюдается только в четвертой группе регионов.

Первая и третья группы регионов с ярко выраженной локализацией имеют в совокупности только 3 сравнительных преимущества, то время как пятая группа регионов тоже имеет 3 преимущества, при этом не специализируясь на производстве данного вида продукции.

Относительно овощей наблюдается определенное совпадение тенденции уровней самообеспеченности рациональных норм, экономической доступности продукции и специализации. В то же время такие характеристики конкурентных преимуществ, как урожайность, себестоимость, доходность, защита потребителей, не определяют специализацию регионов на выращивании овощей. Сбалансированное формирование производства и потребления на душу населения наблюдается в третьей, четвертой и пятой группах регионов.

Группы регионов с ярко выраженной специализацией в производстве овощей не отличаются сравнительными преимуществами от других регионов: третья, четвертая и пятая имеют 8 сравнительных преимуществ на три группы, а первая и вторая – 7 на две группы.

В выращивании мяса КРС и свиней наблюдается общая направленность тенденции уровней самообеспеченности рациональных норм, экономической доступности продукции и специализации. Одновременно вразрез им направлены уровни продуктивности, себестоимости, доходности и защиты потребителей. Сбалансированное формирование производства и потребления на душу населения наблюдается только в пятой группе регионов.

Таблица 7

Сравнительные конкурентные преимущества групп регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий в формировании физической и экономической доступности овощей, %
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Самообеспеченность рациональных норм	45	128	101	145	119
Уровень экономической доступности	85	94	103	112	109
Локализация	61	86	108	108	104
Урожайность	109	128	104	108	78
Себестоимость	111	105	95	101	99
Доходность	100	79	105	83	155
Защита потребителей	111	134	91	122	64
Покупательная способность доходов населения	103	96	102	97	101

Примечание. Составлено авторами.

Ярко выраженная специализация в первой группе регионов совсем не сопровождается сравнительными преимуществами в производстве мяса КРС и свиней. Даже группы (третья, четвертая, пятая) с отсутствием специализации на выпуске данной продукции имеют большее количество сравнительных конкурентных преимуществ.

Таблица 8

Сравнительные конкурентные преимущества групп регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий в формировании физической и экономической доступности мяса КРС и свиней, %
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Самообеспеченность рациональных норм	62	83	67	143	200
Уровень экономической доступности	100	101	97	95	107
Локализация	149	112	91	100	83
Продуктивность	74	85	125	112	136
Себестоимость	76	103	95	108	103
Доходность	94	102	103	125	99
Защита потребителей	89	103	95	98	98
Покупательная способность доходов населения	116	104	96	92	93

Примечание. Составлено авторами.

Таблица 9

Сравнительные конкурентные преимущества групп регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий в формировании физической и экономической доступности молока, %
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Самообеспеченность рациональных норм	80	87	106	125	110
Уровень экономической доступности	96	105	99	100	100
Локализация	138	122	122	116	68
Продуктивность	71	84	96	74	110
Себестоимость	99	106	101	96	99
Доходность	98	103	100	99	103
Защита потребителей	99	103	101	98	96
Покупательная способность доходов населения	116	102	94	95	93

Примечание. Составлено авторами.

На производстве молока специализируются первые четыре группы регионов. При этом уровню специализации не соответствует ни в одной группе уровень продуктивности, а также в первой и четвертой группах – уровни себестоимости, доходности и защиты потребителей. Достигаются одновременно самообеспеченность рациональных норм и уровень экономической доступности только в пятой группе регионов, где специализация на выпуске молока является невыраженной. Близким к сбалансированному формированию производства и потребления на душу населения наблюдается сбалансированное формирование в четвертой и пятой группах регионов.

Локализация производства молока почти не сопровождается сравнительными преимуществами в первой и четвертой группах, причем продуктивность во всех группах регионов с ярко выраженной специализацией ниже среднего по стране, и наоборот – выше в пятой группе, где специализация на молоке отсутствует.

На выпуске и реализации яиц специализируются первые четыре группы регионов, уровень специализации имеет обратную связь с природно-экономическими условиями, то есть увеличивается по мере снижения качества плодородия сельхозугодий и других территориальных факторов. Тенденции самообеспеченности рациональных норм, уровня экономической доступности и уровня специализации имеют разную направленность. Только во второй и пятой группах регионов наблюдается сбалансированное формирование производства и потребления на душу населения.

Не все группы регионов, которые отличаются ярко выраженной специализацией, имеют сравнительные преимущества в производстве яиц. Например, в третьей группе такое преимущество только одно (по продуктивности), как одно (по доходности) и в пятой группе, которая не специализируется на данном виде продукции. Полностью положительная комбинация локализации и всех изучаемых сравнительных преимуществ наблюдается во второй группе регионов, и это единственный случай из всех рассмотренных видов продукции.

Таблица 10

Сравнительные конкурентные преимущества групп регионов по кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий в формировании физической и экономической доступности яиц, %
(расчеты авторов по данным Росстата)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	Третья группа	Четвертая группа	Пятая группа
Самообеспеченность рациональных норм	57	104	90	143	130
Уровень экономической доступности	91	100	106	96	107
Локализация	134	126	106	101	80
Продуктивность	103	104	105	96	93
Себестоимость	98	108	95	105	96
Доходность	100	100	96	101	102
Защита потребителей	98	109	99	104	94
Покупательная способность доходов населения	116	107	96	88	93

Примечание. Составлено авторами.

Выводы

Результаты исследований позволяют сделать ряд выводов и внести определенные предложения.

В современных условиях научные аспекты стратегического планирования и территориального размещения агропродовольственного сектора приобретают новый контекст, в котором акценты смещаются в пользу сбалансированного формирования физической и экономической доступности продукции. В основу пространственного развития вписывается конвергенция интересов производителей и потребителей продовольственных товаров.

Современное распределение ресурсного обеспечения развития агропродовольственного сектора сложилось под влиянием природно-экономических условий хозяйственной деятельности товаропроизводителей. По мере их улучшения усиливается концентрация энергетических мощностей, трудовых и материально-технических ресурсов, основного капитала, инвестиционных вложений. Кроме высоких показателей фондообеспеченности, фондовооруженности, отмечается и лучший уровень покупательной способности доходов населения, что по сути создает все предпосылки для «желаемого» развития агропродовольственного сектора на территориях с благоприятными рентообразующими факторами.

Ведущие специалисты и ученые, мнение которых поддерживают авторы статьи, справедливо указывают, что аграрного потенциала регионов с лучшими природно-экономическими условиями недостаточно для решения задач продовольственной безопасности, особенно в новых, заданных доктриной параметрах. Крайне важно задействовать конкурентные преимущества регионов и с менее благоприятными условиями. В пользу данного утверждения говорят и положения теории предельной эффективности затрат.

Результаты оценки затратоемкости и инвестициемкости показывают, что эффективность новых вложений в основной капитал имеет тенденцию снижения по мере улучшения природно-экономических факторов и насыщения производства средствами и предметами труда. Величина текущих затрат в каждом рубле продукции остается примерно равной во всех регионах, несмотря на различия в природно-экономических условиях, а степень концентрации инвестиций в каждом рубле продукции повышается. Следовательно, дальнейшее вливание средств в регионах с благоприятными условиями без привязки к их конкурентным преимуществам будет способствовать не только росту физической доступности продукции, но и ее удорожанию, а следовательно, снижению экономической доступности.

Для оценки конкурентных преимуществ регионов в формировании аспектов продовольственной безопасности в статье отражен использованный метод относительного сравнения уровня ряда показателей (локализация как критерий специализации, продуктивность, себестоимость, доходность, цена реализации как критерий защиты потребителей). Логика анализа исходит из того, что «правильная» специализация является следствием сравнительных преимуществ регионов по названным позициям конкурентоспособности продукции.

Как и предполагалось, в большинстве своем специализация в растениеводстве является более зависимой от природно-экономического потенциала, а в животноводстве – наоборот, менее зависимой. По всем рассмотренным рационаобразующим видам продукции наблюдается взаимосвязь специализации с конвергенцией физической и экономической доступности. В этом отношении особую настороженность вызывает то, что ярко выраженная специализация на том или ином видах продукции зачастую не сопровождается или не вытекает из сравнительных преимуществ регионов. Результаты показывают, что регионы с ярко выраженной специализацией на тех или иных видах продукции проигрывают регионам, не специализирующимся на этих

видах по критериям урожайности (продуктивности), себестоимости, доходности и защиты потребителей. Главный парадокс заключается в том, что в регионах значительную долю продукции составляют те виды, которые не только обходятся более дорого для потребителей, но и являются менее выгодными для товаропроизводителей.

Для совершенствования структуры размещения агропродовольственного сектора целесообразно усилить развитие тех мер господдержки, которые ориентируют бизнес на использование конкурентных преимуществ, способствующих сбалансированному формированию физической и экономической доступности продукции, тем более это вполне логично вписывается в порядок распределения «стимулирующих» субсидий из федерального бюджета регионам на поддержку приоритетных отраслей АПК.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–28–10277 (<https://rscf.ru/project/23-28-10277/>) и Пензенской области.

Библиографический список

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 02.09.2023).

2. Алтухов А.И. Методология формирования специализированных высокотехнологических зон в сельском хозяйстве страны // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 7. – С. 2–12.

3. Беспяхотный Г.В. О разработке новой концепции государственной поддержки сельскохозяйственных предприятий // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2019. – № 6. – С. 8–11.

4. Мигунов Р.А., Сюткина А.А. Исследование вызовов агропромышленного комплекса – основа стратегического целеполагания развития аграрной сферы // Известия ТСХА. – 2022. – № 4. – С. 135–145.

5. Правила предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на стимулирование развития приоритетных подотраслей агропромышленного комплекса и развитие малых форм хозяйствования (в ред. постановления Правительства Российской Федерации от 18 января 2023 г. № 42).

6. Компенсирующая и стимулирующая субсидии в сельском хозяйстве РФ. – [Электронный ресурс]. – URL: https://agrardialog.ru/files/prints/kompensiruyushchaya_i_stimuliruyushchaya_subsidii_v_selskom_hozyaystve_rf_mart_2020.pdf (дата обращения: 30.08.2023).

7. Блауг М. Экономическая теория использования пространства и классическая теория размещения производства // Экономическая мысль в ретроспективе. – 1994. – С. 568–585.

8. Боговиз А., Воробьев С., Воробьева В. Экономическая эффективность специализации сельскохозяйственных организаций зернового типа // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2016. – № 9. – С. 43–49.

9. Свободин В.А., Свободина М.В. Системное исследование эффективности сельского хозяйства // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 1997. – № 9. – С. 8–12.

10. Maslova V., Zaruk N., Fuchs C., Avdeev M. Competitiveness of Agricultural Products in the Eurasian Economic Union // Agriculture. – 2019. – № 9. – P. 61.

11. Serova E.V. Sustainable agriculture: Why we are concerned today // Russian Journal of Economics. – 2022. – Vol. 8, № 1. – Pp. 1–6.

12. Fukasaku K. Economic Regionalisation and Intra-Industry Trade: Pacific-Asian Perspectives. Documents de travail du Centre de développement de l'OCDE. – Paris:

Éditions OCDE, 1992. – № 53. – URL: <https://doi.org/10.1787/035300332827> (дата обращения: 21.08.2023).

13. Романенко И.А., Сиптиц С.О., Евдокимова Н.Е., Рыбакова Р.А., Егорова О.Д. Методика разработки стратегических направлений размещения растениеводства: Научн. тр. ВИАПИ им. А.А. Никонова. – Вып. 45. – Москва: ЭРД, 2016. – 246 с.

14. Силаева Л.П. Формирование и развитие специализированных высокотехнологических зон производства продукции сельского хозяйства // Научное обозрение: теория и практика. – 2023. – Т. 13, № 1 (95). – С. 33–40.

15. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А. и др. Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. – Москва: Типография Россельхозакадемии, 2012. – 203 с.

16. Винничек Л.Б., Иванов А.А. Концептуальные основы развития, размещения и специализации производства зерна в Пензенской области // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2011. – № 2. – С. 64–70.

17. Svetlov N.M., Siptits S.O., Romanenko I.A., Evdokimova N.E. The Effect of Climate Change on the Location of Branches of Agriculture in Russia // Studies on Russian Economic Development. – 2019. – Vol. 30, № 4. – Pp. 406–418.

18. Smith A. An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, History of Economic Thought Books, McMaster University Archive for the History of Economic Thought, number smith 1776.

19. Dornbusch R., Fischer S., Samuelson P.A. Comparative Advantage, Trade, and Payments in a Ricardian Model with a Continuum of Goods // The American Economic Review. – 1997. – № 67 (5). – Pp. 823–839.

20. Bernhofen D.M. Gottfried Haberler's 1930 Reformulation of Comparative Advantage in Retrospect // Review of International Economics. – 2005. – № 13. – Pp. 997–1000.

21. Porter M.E. The five competitive forces that shape strategy // Harvard Business Review. – 2008. – № 86 (1). – Pp. 25–40.

22. Граник Г.И., Иванченко А.А. Размещение производительных сил // Большая советская энциклопедия: В 30 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

23. Ricardo D. On the Principles of Political Economy and Taxation (1 ed.). – London: John Murray, via Google Books, 1817. – URL: <https://books.google.ru/books?id=cUBKAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false> (дата обращения: 12.09.2023).

24. Зарук Н.Ф., Кагирова М.В., Харитонова А.Е., Романцева Ю.Н., Колосеева Е.С., Мигунов Р.А. Эффективное размещение производства органической продукции растениеводства по регионам России // Известия ТСХА. – 2022. – № 3. – С. 90–112.

25. Самыгин Д.Ю., Луночкин Д.А., Мякишев А.В. База данных «Сравнительные преимущества субъектов РФ в агропродовольственном секторе (данные в среднем за 2017–2020 г.)». № 2023622863: заявл. 06.09.2023; опубли. 20.09.2023 / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623180. Российская Федерация. Заяв. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет».

26. Balassa B. An Empirical Demonstration of Classical Comparative Cost Theory // The Review of Economics and Statistics. – 1963. – № 45 (3). – Pp. 231–238.

27. Самыгин Д.Ю., Иванов А.А., Губанова Е.В. Стратегические прогнозы частичного равновесия физической и экономической доступности продукции // Аграрный вестник Урала. – 2023. – № 6 (235). – С. 111–120.

28. Самыгин Д.Ю. Территориальное планирование сельского хозяйства с учетом задач и вызовов продовольственной безопасности // АПК: экономика, управление. – 2021. – № 4. – С. 29–38.

29. Маршалл А. Принципы экономической науки: В 3 т. – Т. 3. – М.: Прогресс: Универс, 1993. – 352 с.
30. Бородин К.Г. Методология прогнозирования агропродовольственного рынка // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2021. – Т. 2, № 12 (82). – С. 60–69.
31. Долгушкин Н.К. Совершенствование размещения производительных сил в АПК – важнейший фактор устойчивого развития сельских территорий // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2015. – № 4 (25). – С. 8–11.
32. Кузьменкова В.Д. Прогнозирование территориально-отраслевой структуры сельскохозяйственного производства // Экономика сельского хозяйства России. – 2013. – № 9. – С. 57–62.

TERRITORIAL LOCATION AND STRATEGIC DEVELOPMENT OF THE AGRIFOOD SECTOR

D.YU. SAMYGIN¹, A.A. IVANOV²

(¹Penza State University, ²Penza State Agrarian University)

The article deals with the complex problem of the territorial location and strategic development of the agrifood sector, the proper condition of which ensures the physical and economic availability of products at the consumption rate of each citizen. Territorial planning is designed to use those competitive advantages of regions that are more relevant to the task of the “desired” development of the agricultural sector. The purpose of the article is to assess the impact of the current location of the agrifood sector on the results of its strategic development. The information resource of the study was the author’s database characterizing the development of the agrifood sector of the constituent entities of the Russian Federation for 2017–2020. The method of comparative assessment of the level of indicators (localization as a criterion of specialization, productivity, costs, profitability, and selling price as a criterion of consumer protection) between regions is used to identify the competitive advantages of regions. The logic of the approach is that the “correct” specialization is a consequence of the comparative advantages of the regions in the above-mentioned positions of product competitiveness. It is shown that the current distribution of resources for the strategic development of the agricultural sector is determined by natural and economic conditions. It was revealed that in regions with the best rent-generating factors, there is also a concentration of energy capacities, labor, material and technical resources, fixed capital, and investment. It is shown that a high concentration of funds and objects of labor at a certain stage does not lead to an increase in the efficiency of new investments, but rather contributes to an increase in the capital intensity of products, their price increase and a decrease in affordability. It was found that the competitive advantages of the regions are not sufficiently used to solve the problems of strategic development of the agrifood sector. It is concluded that it is necessary to strengthen the “incentive” support measures for producers. The novelty of the study lies in the fact that the scientific aspects of the territorial location of the agrifood sector are supplemented by theoretical and methodological provisions based on the principles of balanced formation of the physical and economic accessibility of products. The scientific developments can be used by public authorities to support strategic decisions on territorial planning of the agribusiness sector.

Keywords: agrifood sector, territorial planning, resource allocation, agricultural potential, competitive advantages, physical accessibility, economic accessibility.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation dated January 21, 2020 No. 20 “On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation.” (In Russ.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/564161398> (Access date: 02.09.2023)

2. *Altukhov A.I.* Methodology for the formation of specialized high-tech zones in the country's agriculture. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2023;7:2–12. (In Russ.)
3. *Bespakhotny G.V.* About development of the new concept of the state support of the agricultural enterprises. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2019;6:8–11. (In Russ.)
4. *Migunov R.A., Syutkina A.A.* Research of challenges of the agro-industrial complex as the basis of strategic goal-setting of the development of the agricultural sector. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;(4):135–145. (In Russ.)
5. Rules for the provision and distribution of subsidies from the federal budget to the budgets of the constituent entities of the Russian Federation to stimulate the development of priority sub-sectors of the agro-industrial complex and the development of small businesses (as amended by Decree of the Government of the Russian Federation dated January 18, 2023 No. 42). (In Russ.)
6. Compensating and incentive subsidies in agriculture of the Russian Federation [Electronic source]. (In Russ.) URL: https://agrardialog.ru/files/prints/kompensiruyushchaya_i_stimuliruyushchaya_subsidii_v_selskom_hozyaystve_rf_mart_2020.pdf (Access date: 30.08.2023)
7. *Blaug M.* Economic theory of space use and the classical theory of production location. *Ekonomicheskaya mysl' v retrospektive*. 1994:568–585. (In Russ.)
8. *Bogoviz A., Vorobyov S., Vorobyova V.* Economic efficiency of specialization of the agricultural organizations of grain-type. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2016;9:43–49. (In Russ.)
9. *Svobodin V.A., Svobodina M.V.* Systematic study of agricultural efficiency. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 1997;9:8–12. (In Russ.)
10. *Maslova V., Zaruk N., Fuchs C., Avdeev M.* Competitiveness of Agricultural Products in the Eurasian Economic Union. *Agriculture*. 2019;9:61.
11. *Serova E.V.* Sustainable agriculture: Why we are concerned today. *Russian Journal of Economics*. 2022;8(1):1–6.
12. *Fukasaku K.* Economic Regionalisation and Intra-Industry Trade: Pacific-Asian Perspectives. Documents de travail du Centre de développement de l'OCDE. Paris: Éditions OCDE. 1992;53. URL: <https://doi.org/10.1787/035300332827> (Access date: 21.08.2023)
13. *Romanenko I.A., Siptits S.O., Evdokimova N.E., Rybakova R.A., Egorova O.D.* Methodology for developing strategic directions for the placement of crop production. *Nauchnye trudy VIAPI im. A.A. Nikonova*. Moscow: ERD, 2016;45:246. (In Russ.)
14. *Silaeva L.P.* Formation and development of specialized high-tech zones of production of agricultural products. *Science Review: Theory and Practice*. 2023;13(1(95)):33–40. (In Russ.)
15. *Gordeev A.V., Kleshchenko A.D., Chernyakov B.A. et al.* Bioclimatic potential of Russia: productivity and rational placement of agricultural crops in conditions of climate change. Moscow: Tipografiya Rossel'khozakademii. 2012; 203. (In Russ.)
16. *Vinnichuk L.B., Ivanov A.A.* Conceptual frameworks of development, distribution and specialization of the grain production in the Penza region. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova*. 2011;2:64–70. (In Russ.)
17. *Svetlov N.M., Siptits S.O., Romanenko I.A., Evdokimova N.E.* The Effect of Climate Change on the Location of Branches of Agriculture in Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2019;30(4):406–418.
18. *Smith A.* An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. History of Economic Thought Books. McMaster University Archive for the History of Economic Thought. London, 1776.
19. *Dornbusch R., Fischer S., Samuelson P.A.* Comparative Advantage, Trade, and Payments in a Ricardian Model with a Continuum of Goods. *The American Economic Review*. 1997;67(5):823–839.
20. *Bernhofen D.M.* Gottfried Haberler's 1930 Reformulation of Comparative Advantage in Retrospect. *Review of International Economics*. 2005;13:997–1000.

21. Porter M.E. The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*. 2008;86(1):25–40.
22. Granik G.I., Ivanchenko A.A. Distribution of productive forces. Great Soviet Encyclopedia: [in 30 volumes]. Ch. ed. A.M. Prokhorov. 3rd ed. M.: Sovetskaya entsyklopediya, 1978. (In Russ.)
23. Ricardo D. On the Principles of Political Economy and Taxation (1ed.), London: John Murray, via Google Books, 1817. URL: <https://books.google.ru/books?id=cUBKAA-AAYAAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false> (Access date: 09.12.2023)
24. Zaruk N.F., Kagirowa M.V., Kharitonova A.E., Romantseva Yu.N., Kolomeeva E.S., Migunov R.A. Efficient location of organic crop production by regions of Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;(3):90–112. (In Russ.)
25. Samygin D.Yu., Lunochkin D.A., Myakishev A.V. Certificate of state registration of the database No. 2023623180. Russian Federation. Database “Comparative advantages of the constituent entities of the Russian Federation in the agri-food sector (data on average for 2017–2020)”: No. 2023622863: application date – 06.09.2023: published – 20.09.2023; applicant – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University”. (In Russ.)
26. Balassa B. An Empirical Demonstration of Classical Comparative Cost Theory. *The Review of Economics and Statistics*. 1963;45(3):231–238.
27. Samygin D.Yu., Ivanov A.A., Gubanov E.V. Strategic forecasts of partial equilibrium of the products physical and economic accessibility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;6(235):111–120. (In Russ.)
28. Samygin D.Yu. Territorial planning of agriculture, taking into account the tasks and challenges of food security. *AIC: Economics, Management*. 2021;4:29–38. (In Russ.)
29. Marshall A. Principles of economic science: in 3 volumes. M.: Progress: Univers, 1993;3:352. (In Russ.)
30. Borodin K.G. Agrofood market forecasting methodology. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2021;2:12(82):60–69. (In Russ.)
31. Dolgushkin N.K. Improving the placement of productive forces in the agro-industrial sector is the most important factor in the sustainable development of rural areas. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2015;4(25):8–11. (In Russ.)
32. Kuzmenkova V.D. Forecasting of the territorial and sectoral structure of agricultural production. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2013;9:57–62. (In Russ.)

Самыгин Денис Юрьевич, и.о. заведующего кафедрой «Бухгалтерский учет, налогообложение и аудит», д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»; 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40; тел.: +7 906 398–59–32; e-mail: vekont82@mail.ru

Иванов Александр Александрович, доцент кафедры «Управление, экономика и право», канд. экон. наук, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»; 440014, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30; тел.: +7 906 158–60–12; e-mail: aaivanov58@mail.ru

Denis Yu. Samygin, DSc (Econ), Associate Professor, Acting Head of the Department of Accounting, Taxation and Audit, Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation; phone: +7 (906) 398–59–32; E-mail: vekont82@mail.ru)

Aleksandr A. Ivanov, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Management, Economics and Law, Penza State Agrarian University (30, Botanicheskaya Str., Penza, 440014, Russian Federation; phone: +7 (906) 158–60–12; E-mail: aaivanov58@mail.ru)

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ

С.К. СЕИТОВ

(Кафедра агроэкономики экономического факультета
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;
Евразийский центр по продовольственной безопасности – Аграрный центр МГУ)

Актуальность темы обусловлена необходимостью преодоления зависимости сельского хозяйства России от импорта иностранных технологий. В стране имеются проблемы эффективного взаимодействия с предприятиями и исследовательскими учреждениями в области исследований и разработок, обмена знаниями, и потенциально – коммерциализации и маркетинговой деятельности. Цель исследований – раскрыть факторы, сдерживающие инновационное развитие сельского хозяйства в России, за счет поддержки и предложить меры по повышению ее эффективности. Современных показателей роста количества результатов интеллектуальной деятельности для страны с таким крупным потенциалом развития агропромышленного комплекса, как у России, недостаточно. Их положительная динамика обусловлена эффектом «низкой базы» и увеличением финансирования научных организаций в рамках государственных программ. В России сложились два полюса хозяйств по уровню внедрения инновационных технологий. Малые формы хозяйствования менее активно их внедряют в свою практику в отличие от крупных хозяйств. Используются сравнительный анализ, монографический метод, метод экспертных оценок. В работе, во-первых, раскрыты масштабы интеллектуальной деятельности в сельском хозяйстве России. Во-вторых, продемонстрирована динамика уровня инновационной активности организаций в сельском хозяйстве России. В-третьих, представлен удельный вес субсидий в общем объеме затрат на инновационную деятельность. В-четвертых, обозначено место финансирования исследований и институтов, образования в структуре поддержки общих услуг в России. В-пятых, даны рекомендации по повышению эффективности поддержки инноваций.

Ключевые слова: субсидии, наука, инновационная активность, инновационные технологии, патенты, интеллектуальная собственность.

Введение

Актуальность темы подтверждается необходимостью преодоления импортозависимости российского сельского хозяйства в части зарубежных технологий. В условиях санкционного давления нарастает обеспечение научно-технологического суверенитета сельского хозяйства. В стране имеются проблемы эффективного взаимодействия с предприятиями и исследовательскими учреждениями в области исследований и разработок, обмена знаниями, и потенциально – коммерциализации и маркетинговой деятельности. Если не брать в расчет крупные хозяйства, можно считать, что аграрный сектор продолжает уступать другим отраслям в уровне инновационного развития. Дополнительного осмысления требуют вопросы участия государства в стимулировании разработчиков интеллектуальной собственности.

Цель исследований: раскрыть факторы, сдерживающие инновационное развитие сельского хозяйства в России, за счет поддержки и предложить меры по повышению ее эффективности.

Материал и методы исследований

При проведении исследований использовались сравнительный анализ, монографический метод, метод экспертных оценок.

Результаты и их обсуждение

Долгосрочный рост инновационной активности сельского хозяйства может обеспечиваться: активным внедрением инноваций производителями; наличием конкурентной среды в сельском хозяйстве; поддержкой развития человеческого капитала; политикой развития инфраструктуры, науки.

В развивающихся странах темпы роста инновационной активности могут обеспечиваться за счет увеличения капиталовооруженности и движения вслед за ведущими странами мира. Страна, достигая передового уровня развития технологий, со временем начинает испытывать замедление роста инновационной активности. Для возобновления ее высоких темпов необходим скачок за счет перехода к принципиально новым технологиям.

Производственные, технологические и организационные возможности фирм и их конкурентоспособность на мировом рынке, государственная поддержка НИОКР, деятельность научно-исследовательских университетов – это факторы, которые могут обусловить успех страны в технологическом сближении с развитыми странами. Эти факторы образуют так называемую «тройную спираль» (Etzkowitz, Leydesdorff, 1995). От успешности ее функционирования зависит инновационная активность организаций в стране.

Уровень инновационной активности, определяемый как отношение числа организаций, осуществлявших инновационную деятельность, к общему числу обследованных в отчетном году организаций (Российский статистический ежегодник, 2018)¹ в сельском хозяйстве России является пока низким: 8,1% в 2021 г. против 17,4% в промышленном производстве² (рис. 1).

Сельское хозяйство России продолжает отставать от среднего по экономике уровня инновационной активности (Васильченко, Дерунова, 2022). Невысокий удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг обусловлен недостаточным уровнем инвестиций в новые технологии, исследования и разработки (Петриков, Голубев, 2023; Погребцова, 2023). Так, в российском сельском хозяйстве в 2021 г. этот показатель составлял 2,3%, тогда как в промышленном производстве – 5,5%³ (рис. 2).

Сельское хозяйство отличается высокой долей кредитов и займов в финансировании инновационной деятельности (36,1% в 2021 г.⁴) (рис. 3). При этом в промышленном производстве их доля составляла 16,7%⁵. Следовательно, в условиях нехватки собственных средств и субсидий успешность внедрения инновационных разработок в сельском хозяйстве зависит от своевременности и достаточности выделения

¹ Имеется в виду совокупный уровень инновационной активности: удельный вес организаций, осуществлявших технологические, маркетинговые, организационные инновации, в общем числе организаций (примеч. авт.).

² Индикаторы инновационной деятельности: 2023: Статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2023. С. 18.

³ Там же. С. 21.

⁴ Индикаторы инновационной деятельности: 2023: Статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2023. С. 86.

⁵ Там же. С. 85.

заемных средств. Из этого следует целесообразность стимулирования инвестиций государством (в том числе посредством их субсидирования), чтобы переломить тенденции слабого развития инноваций в аграрном секторе.

Мировой опыт показывает, что для инновационного развития важной является поддержка государства. Между тем доля субсидий в общем объеме затрат на инновационную деятельность в сельском хозяйстве России остается весьма низкой, составляя 2,0% по итогам 2021 г.⁶ (для сравнения: в промышленном производстве – 2,9%⁷) (рис. 3).



Рис. 1. Уровень инновационной активности организаций по видам экономической деятельности в России в 2016–2021 гг., % (составлено автором на основе: Индикаторы инновационной деятельности, 2023)

Примечание. Статистическое наблюдение по организациям, занятым в сфере сельского хозяйства России, осуществляется с 2016 г.



Рис. 2. Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг по видам экономической деятельности в России в 2016–2021 гг., % (составлено автором на основе: Индикаторы инновационной деятельности, 2023)

⁶ Индикаторы инновационной деятельности: 2023: Статистический сборник / В.В. Владова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2023. С. 88.

⁷ Там же. С. 87.



Рис. 3. Удельный вес кредитов и займов, а также субсидий в общем объеме затрат на инновационную деятельность в сельском хозяйстве России в 2016–2021 гг., % (составлено автором на основе: Индикаторы инновационной деятельности, 2023)

Примечание. За 2016–2020 гг. данные взяты из статистических сборников, изданных в предыдущие годы

Без получения субсидий в сельском хозяйстве будет крайне затруднительным осуществление инновационной деятельности. Принимая во внимание важность кредитов и займов для этой цели, считаем логичным продолжение выделения инвестиционных субсидий, а также субсидий на возмещение части процентной ставки по кредитам. Несмотря на то, что эти виды поддержки входят в состав «янтарной корзины», указанное соображение имеет смысл в свете инновационного развития аграрного сектора.

Инновационные и экологически безопасные технологии имеют большое значение для модернизации сельскохозяйственного производства. В качестве примера таких технологий можно привести такие, как (Российский статистический ежегодник, 2018): «капельная система орошения; биологические методы защиты растений от вредителей и болезней; система индивидуального кормления скота; бесклеточное содержание птицы; очистные сооружения на животноводческих фермах; система водоотведения и очистки производственных стоков; возобновляемые источники энергоснабжения; система точного вождения и дистанционного контроля качества выполнения технологических процессов». К этому перечню можно добавить: вертикальные фермы на основе аква-, аэро- и гидропоники; умные теплицы; беспилотные технологии; применение дронов, коптеров и роботов в сельском хозяйстве. Особое внимание можно обратить на список «зеленых технологий» (Steensland, 2021).

В целом направление цифровизации учеными признается передовым в сельском хозяйстве (Годин и др., 2020; Alt et al., 2020). Также можно выделить применение био- и геномных технологий.

В России сельскохозяйственные организации, не относящиеся к субъектам малого предпринимательства, будучи лучше оснащенными соответствующими кадрами, обладая более широкими финансовыми возможностями и эффектом масштаба, более активно, чем малые предприятия, крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели, внедряют инновационные технологии (табл. 1). Этот тезис также находит свое подтверждение в статье Е.В. Бураевой (2020).

**Удельный вес организаций (хозяйств),
применявших инновационные технологии, в общем количестве
организаций (хозяйств) соответствующей категории, осуществлявших
сельскохозяйственную деятельность на 1 июля 2016 г. в России, %
(составлено автором на основе: Итоги Всероссийской
сельскохозяйственной переписи 2016 г.)**

№	Наименование инновационной технологии	СХО – всего*	СХО, в том числе		К(Ф)Х	ИП
			СХО, не относящиеся к субъектам МП	малые предприятия ⁸		
1	Капельная система орошения	4,7	5,9	4,4	3,2	5,5
2	Биологические методы защиты растений от вредителей и болезней	9,7	12,9	9,4	7,4	15,1
3	Система индивидуального кормления скота	8,1	11,5	7,0	4,3	5,9
4	Метод бесклеточного содержания птицы	1,5	3,4	0,9	1,7	1,5
5	Очистные сооружения на животноводческих фермах	5,3	11,7	3,2	1,4	1,0
6	Система водоотведения и очистки производственных стоков	9,9	14,3	8,5	3,6	3,9
7	Возобновляемые источники энергоснабжения, в том числе:	1,9	2,0	1,8	2,1	0,7
7.1	Биоэнергетические установки	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
7.2	Ветряные энергоустановки	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7.3	Солнечные батареи	0,8	1,0	0,7	1,4	0,4
8	Система точного вождения и дистанционного контроля качества выполнения технологических процессов	7,1	15,5	4,3	0,9	0,4

Примечания. Данные представлены только на 2016 г., поскольку основаны на итогах Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г

СХО – сельскохозяйственные организации.

СХО, не относящиеся к субъектам МП, – сельскохозяйственные организации, не относящиеся к субъектам малого предпринимательства.

К(Ф)Х – крестьянские (фермерские) хозяйства.

ИП – индивидуальные предприниматели.

*Без учета подсобных сельскохозяйственных предприятий несельскохозяйственных организаций.

⁸ К малым предприятиям относятся предприятия с численностью работников до 100 чел. и объемом дохода, полученного от осуществления предпринимательской деятельности за предшествующий календарный год, не более 800 млн руб. Источники: 1. О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации: Федеральный закон Российской Федерации от 24 июля 2007 г. № 209-ФЗ (по сост. на 29 декабря 2022 г.). 2. О предельных значениях дохода, полученного от осуществления предпринимательской деятельности, для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства: постановление Правительства Российской Федерации от 4 апреля 2016 г. № 265 (примеч. авт.).

Мелких фермеров не интересуют сложные автоматизированные решения (включая системы датчиков, интернет-вещей). Причины кроются в их высокой стоимости, отсутствии стратегического планирования в мелких хозяйствах, нехватке знаний фермеров, необходимых для принятия производственных решений, в дефиците времени и загруженности другими проблемами (уходом за культурами и животными, поиском поставщиков ресурсов, каналов сбыта своей продукции). Последняя причина (загруженность многочисленными задачами) связана с нехваткой рабочей силы. При этом у них нет возможности делегировать часть своих функций кооперативам, так как они не получили достаточного распространения в России. В результате малые и средние сельскохозяйственные товаропроизводители практически не внедряют цифровые технологии (Шендерюк О. и др., 2023; Развитие АПК..., 2021).

Если некоторые из мелких хозяйств и готовы применять новые решения, то только дешевые, несложные и понятные во внедрении и эксплуатации. Это, например, продажа продуктов питания через маркетплейсы (Нестеренко, Мелоян, 2021), CRM-системы и подобные решения. Отдельные фермерские хозяйства сумели своими силами освоить цифровые технологии для решения своих задач, но это больше характерно для крупных хозяйств (Раскрытие потенциала..., 2018). Личные подсобные хозяйства обычно основаны на использовании ручного труда (Гончаров, Сальников, 2023).

Таким образом, в России высокой является дифференциация хозяйств по уровню внедрения инновационных технологий (Гальченко и др., 2021).

Нацеленность поддержки на краткосрочные результаты в виде восполнения оборотных средств (вместо внедрения новых технологий) имеет следствием низкий удельный вес сельскохозяйственных производителей, применяющих инновационные технологии.

Имеются свидетельства в пользу справедливости утверждения Дж. Рифкина о том, что иногда бывает сложно получить преимущество от внедрения «зеленых технологий» (Рифкин, 2014). Ученый связывает эту трудность с небольшим масштабом и ограниченными производственными и технологическими возможностями. Также он отмечает, что большинство технологий, находясь на зародышевой стадии, нуждаются в субсидиях. Есть свидетельства наибольшей отдачи от поддержки НИ-ОКР, тем не менее в России на эти расходы отводится лишь 2–4% аграрного бюджета (Шик и др., 2020). Недофинансированность сельскохозяйственной науки (Итоги работы Временной комиссии..., 2020; Анохина, 2022) тормозит рост инновационной активности.

В характеристике инновационной активности особое место занимают масштабы и динамика интеллектуальной деятельности. В настоящее время в России платформы собирают и публикуют множество данных по ее динамике, которые представляют интерес для экономистов и иных специалистов, в том числе в области сельского хозяйства⁹. В таблице 2 демонстрируются высокие темпы роста числа охраняемых объектов интеллектуальной собственности, используемых изобретений и оформленных лицензий в 2011–2020 гг. по сравнению с 2001–2010 гг. Однако этих показателей роста для страны с таким крупным потенциалом развития агропромышленного комплекса, как у России, недостаточно.

⁹ У Российского научно-исследовательского института экономики, политики и права в научно-технической сфере (РИЭПП) есть подобная платформа, где в открытом доступе публикуется статистика по динамике числа объектов интеллектуальной собственности (<https://нтр.рф/indicators-and-ratings/indicator/cube30/?ysclid=lo6u12ypv5904623239#face4>; <https://нтр.рф/indicators-and-ratings/indicator/cube23/>). Система ЕГИСУ НИОКТР размещает данные о количестве и состоянии результатов интеллектуальной деятельности в России (<https://rosrid.ru/>) (примеч. авт.).

**Динамика патентно-лицензионной активности
в агропромышленном комплексе России в 2001–2010 и 2011–2020 гг., ед.**
(Ганиева, 2023; Ульяшина, 2023)

№	Показатель	2001–2010 гг.	2011–2020 гг.	Темп роста*, %
1	Охраняемые объекты интеллектуальной собственности, в том числе:	983	1 854	188,6
1.1	- патенты на изобретения	676	908	134,3
1.2	- патенты на селекционные достижения	273	852	312,1
2	Используемые изобретения	3 086	5 021	162,7
3	Оформленные лицензии	1 683	2 534	150,6

*Темп роста в 2011–2020 гг. относительно 2001–2010 гг.

Впечатляющая динамика обусловлена, на наш взгляд, эффектом «низкой базы» и увеличением финансирования научных организаций в рамках государственных программ (Погребцова, 2023), в том числе Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы¹⁰. Между тем нужны более крупные масштабы не только создания интеллектуальной собственности, но и введения ее в хозяйственный оборот.

Лицензионные соглашения играют большую роль во внедрении и тиражировании разработанных объектов интеллектуальной собственности. За период 2011–2020 гг. количество оформленных лицензионных соглашений превысило 2,5 тыс. ед. (табл. 2).

Патенты на изобретения в сфере агропромышленного комплекса охватывают в первую очередь новые конструктивные решения (узлы, агрегаты, машины) для сельскохозяйственной техники и оборудования. За 2011–2020 гг. число патентов на изобретения достигло 908 против 676 в 2001–2010 гг. (табл. 2). Число используемых изобретений за 2011–2020 гг. достигло 5 021.

В сфере сельского хозяйства на первый план также выходят селекционные достижения. Динамика подачи заявок на них в целом отличается положительной тенденцией, если не считать падения их числа в 2020 г. (рис. 4)¹¹. Спад может объясняться влиянием пандемии и временного прекращения работы в научных организациях, сотрудники которых ранее подавали заявки на селекционные достижения.

¹⁰ Грантополучатели патентуют свои разработки и предоставляют сведения о них в рамках отчетов по освоению бюджетных средств. В этом смысле государственные программы развития науки и технологий являются для специалистов стимулом, чтобы подавать заявки на изобретения, селекционные достижения и прочие результаты. Несмотря на то, что этот процесс знаменует лишь начальный этап развития инноваций, он обеспечивает правовую охрану для дальнейшей коммерциализации технических достижений (примеч. авт.).

¹¹ Объекты интеллектуальных прав на селекционные достижения (сорта растений и породы животных), зарегистрированные в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений, если эти результаты интеллектуальной деятельности отвечают требованиям, установленным Гражданским кодексом Российской Федерации к таким селекционным достижениям // Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. 4: Федеральный закон Российской Федерации от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ (по сост. на 5 декабря 2022 г.), с изм., вступ. в силу 29 июня 2023 г. (примеч. авт.).

В России с 2018 г. наблюдается неустойчивая динамика выданных патентов на селекционные достижения по российской селекции (рис. 5). Согласно нашим расчетам за 2019 г. количество таких патентов на 1 млн чел. населения составляло 4,3, а за 2018 г. – 3,0, что показывает весьма низкий уровень.

В России количество используемых охраняемых селекционных достижений в 2021 г. составляло 1 817 ед., в 2022 г. – 2 008 (Российский статистический ежегодник, 2021; Ульяшина и др., 2023). Этот показатель для такой крупной страны является незначительным. По нашим расчетам, за 2020 г. количество заявок на селекционные достижения в расчете на 1 млн чел. населения составляло 8,3. Это свидетельствует о том, что уровень селекционной науки в России является низким, и имеется смысл в стране развивать ее более активно, финансируя за счет государственного бюджета.



Рис. 4. Количество поданных заявок на селекционные достижения (по сортам растений) в России в 2015–2022 гг., ед. (составлено автором по данным Государственных реестров охраняемых селекционных достижений за 2015–2022 гг.)

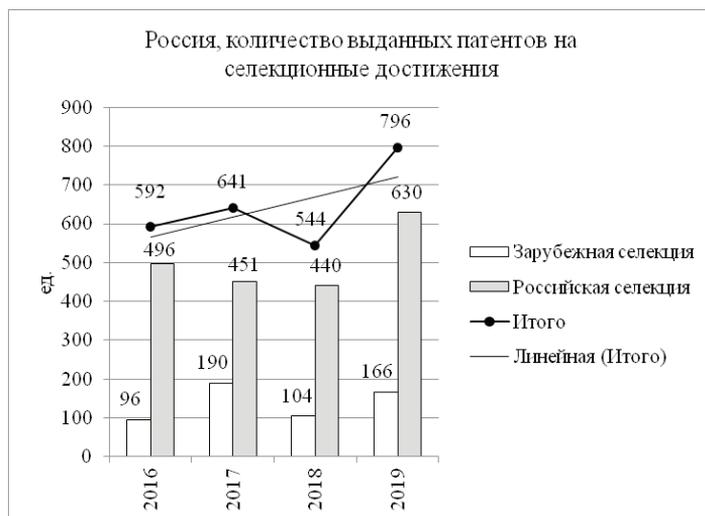


Рис. 5. Количество выданных патентов на селекционные достижения в России в 2016–2019 гг., ед. (составлено автором по данным: Королькова и др., 2020)

В 2021 г. значительное превышение импорта над экспортом зарегистрировано по статье «Плата за пользование интеллектуальной собственностью» по раздел А «Сельское, лесное хозяйство, охота и рыболовство» (10,5 млн долл. США) (Банк России, 2023). В целом торговле технологиями России с зарубежными странами присущ пассивный баланс (в том числе в сфере сельского хозяйства) (Внешняя торговля технологиями..., 2020).

Для преодоления зависимости от импорта иностранных технологий необходимо налаживать эффективное взаимодействие с предприятиями и исследовательскими учреждениями в области исследований и разработок, обмена знаниями, и потенциально – коммерциализации и маркетинговой деятельности. Важно создавать условия для распространения инноваций. В этих целях необходимо обеспечивать товаропроизводителей услугами научных институтов, конструкторских бюро аграрного профиля, поддерживать трансферт агротехнологий, а также внедрение современных управленческих технологий, увеличение объемов инвестиций в системы ветеринарии и фитосанитарии, безопасности продовольствия.

В России поставлена не одна цель развития сельского хозяйства[□], но, на наш взгляд, к множеству целей можно добавить и повышение инновационной активности. Анализ достижения целей должен быть неотъемлемым элементом стратегии субсидирования. Мониторинг динамики инновационной активности послужит базой для получения сигналов об обстановке в отрасли и об эффективности аграрного сектора. При снижении его динамики государство может проанализировать причины спада и выработать меры по улучшению ситуации.

Страны, которым присущ высокий уровень инновационной активности в сельском хозяйстве, проделали скачок в развитии благодаря приоритетности мер «зеленой корзины». Субсидии «янтарной корзины», будучи направленными в пользу отдельных хозяйств – получателей поддержки, – не способствуют развитию аграрного сектора в его целостности (Ромашкин и др., 2020). Эти положения выдвигают важность мер «зеленой корзины», тем более что бизнес-среда в России остается недостаточно благоприятной для предпринимателей (Инновационное развитие..., 2020).

Важно рассмотреть не только пользователей результатами интеллектуальной деятельности, но и ее создателей, включая тех, кто непосредственно занимается составлением технических описаний. Для многих изобретателей и агрономов процедуры по оформлению заявок на изобретения, селекционные достижения являются длительными по времени и сложными в подготовке. Одна из самых сложных задач для российских разработчиков – прохождение экспертизы по существу, в ходе которого эксперт Роспатента производит оценку изобретения по признакам патентоспособности (мировая новизна, изобретательский уровень и промышленная применимость) и принимает решение о приеме/отказе. Индикатором эффективности поддержки изобретателей должно стать прохождение ими данного этапа.

Один из способов решения указанной проблемы – проведение семинаров «Подготовка патентных заявок для Роспатента». Они обучат участников написанию материалов заявки для Роспатента, покажут им примеры качественно и неудачно оформленных описаний изобретений или полезных моделей. Семинар будет полезен прежде всего физическим лицам (включая фермеров), не обладающим большим опытом патентования. Также необходима программа менторского сопровождения, то есть комплекс мероприятий, который позволит участникам не только овладеть базовыми знаниями и умениями, необходимыми для подготовки патента, но и увидеть свои ошибки, совершаемые при оформлении описаний изобретений. Программа менторского сопровождения отличается от вышепредложенных

семинаров использованием индивидуального подхода по отношению к авторам результатов интеллектуальной деятельности, в то время как семинары предполагают передачу общих знаний и типовых примеров подготовки патентных заявок для Роспатента.

В ведущих странах в оформлении заявок помощь авторам оказывают центры трансфера технологий, государственные организации, частные фирмы, имеющие крупный штат патентных поверенных и специалистов в области коммерциализации объектов интеллектуальной собственности. Эти меры будут содействовать активизации разработки инноваций в России. Благодаря действующим программам, реализуемым Фондом содействия инновациям (УМНИК, «Студенческий стартап», «Старт-1», «Старт-2» и др.), укрепляется задел для запуска наукоемкого бизнеса, использующего новые технологические решения.

Выводы

Несмотря на позитивные тенденции роста инновационной активности, сельское хозяйство России продолжает отставать от промышленности и экономики в целом. Невысокий удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг обусловлен недостаточным уровнем инвестиций в новые технологии, исследования и разработки. Так, в российском сельском хозяйстве в 2021 г. этот показатель составлял 2,3%, тогда как в промышленном производстве – 5,5%. Торговле технологиями России с зарубежными странами присущ пассивный баланс (в том числе в сфере сельского хозяйства).

Малые формы хозяйствования в России менее активно внедряют инновационные решения в свою практику. У крупных хозяйств есть и финансовые возможности, и кадры, чтобы осваивать более сложные технологии (включая автоматизированные решения). К тому же крупные хозяйства пользуются эффектом масштаба, чтобы быстрее окупать внедряемые инновации.

Сельское хозяйство отличается высокой долей кредитов и займов в финансировании инновационной деятельности (36,1% в 2021 г.). При этом в промышленном производстве их доля составляла 16,7%. Следовательно, в условиях нехватки собственных средств и субсидий успешность внедрения инновационных разработок в сельском хозяйстве зависит от своевременности и достаточности выделения заемных средств. Из этого вытекает необходимость стимулирования инвестиций государством (в том числе посредством их субсидирования).

Доля субсидий в общем объеме затрат на инновационную деятельность в сельском хозяйстве России является весьма низкой, составляя 2,0% по итогам 2021 г. (для сравнения: в промышленном производстве – 2,9%). Без получения субсидий в сельском хозяйстве будет крайне затруднительно осуществлять инновационную деятельность. Принимая во внимание важность кредитов и займов для достижения этой цели, считаем логичным продолжать выделять инвестиционные субсидии, а также субсидии на возмещение части процентной ставки по кредитам. Несмотря на то, что эти виды поддержки входят в состав «янтранной корзины», указанное соображение имеет смысл в свете инновационного развития аграрного сектора.

В перспективе поставлена задача более детально выяснить мотивы хозяйств к внедрению инновационных технологий. Во-первых, особое внимание важно уделить экономическим мотивам, на которые может повлиять государство. Во-вторых, планируется исследовать влияние образования руководителей хозяйств, внешней среды, доступа к технологиям, наличия технических возможностей их освоения, а также уровня развития институтов в регионах.

Библиографический список

1. Анохина М.Е. Научность сельского хозяйства и аграрный рост // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – Т. 65, № 3 (387). – С. 264–269. – DOI: 10.55186/25876740_2022_65_3_264.
2. Банк России. Статистика внешнего сектора. Внешняя торговля услугами. – URL: https://cbr.ru/statistics/macro_itm/svs/.
3. Бураева Е.В. Цифровизация сельского хозяйства как детерминанта экономического роста в аграрном секторе экономики // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (83). – С. 99–107. – DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.99.
4. Васильченко М.Я., Дерунова Е.А. Отраслевые особенности инновационных процессов как драйвера устойчивого развития производственного потенциала агропродовольственного комплекса России // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – Т. 65, № 6 (390). – С. 585–589. – DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_585.
5. Внешняя торговля технологиями по видам экономической деятельности / Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. 05.02.2020. – URL: <https://issek.hse.ru/news/339543098.html>.
6. Гальченко С.А., Гвоздева О.В., Смирнова М.А., Чуксин И.В. Основные аспекты и проблематика процесса цифровизации сельского хозяйства как метода управления важнейшей отраслью страны // Московский экономический журнал. – 2021. – № 1. – С. 220–229. – DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10032.
7. Ганиева И.А. Интеллектуальная собственность в АПК: современное состояние, пути стимулирования создания, защиты и коммерциализации: Презентация доклада на Международной научно-практической конференции «Обеспечение научно-технологического суверенитета АПК: роль государства, науки и бизнеса», организованной в рамках XXVIII Никоновских чтений, 23 октября 2023 г., экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. – 4 с.
8. Годин В.В., Белоусова М.Н., Белоусов В.А., Терехова А.Е. Сельское хозяйство в цифровую эпоху: вызовы и решения // E-Management. – 2020. – № 1. – С. 4–15. – DOI: 10.26425/2658-3445-2020-1-4-15.
9. Гончаров В.Д., Сальников С.Г. Развитие инновационной деятельности в продовольственном комплексе России // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Обеспечение научно-технологического суверенитета АПК: роль государства, науки и бизнеса», организованной в рамках XXVIII Никоновских чтений, 23–24 октября 2023 г. – М.: ВИАПИ имени А.А. Никонова, 2023. – С. 26–31.
10. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 368 с.
11. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 392 с.
12. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 355 с.
13. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 392 с.
14. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 336 с.
15. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 512 с.
16. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 535 с.

17. Государственный реестр охраняемых селекционных достижений: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 624 с.
18. Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. 4: Федеральный закон Российской Федерации от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ (по сост. на 5 декабря 2022 г.), с изм., вступ. в силу 29 июня 2023 г.
19. Индикаторы инновационной деятельности: 2023: Статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 292 с.
20. Орлова Н.В., Серова Е.В., Николаев Д.В. и др. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0: Доклад к XXI Апрельской Международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. / Под ред. Н.В. Орловой; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2020. – 128 с.
21. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т. / Федеральная служба гос. статистики. – Т. 1. Основные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. Кн. 1. Основные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года по Российской Федерации. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. – 458 с.
22. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т. / Федеральная служба гос. статистики. – Т. 6. Технические средства, производственные помещения и инфраструктура. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. – 525 с.
23. Итоги работы Временной комиссии Совета Федерации по вопросам законодательного обеспечения развития технико-технологической базы агропромышленного комплекса Российской Федерации в 2019 году. – М., 2020. – 129 с. – URL: <http://council.gov.ru/media/files/bUxtOdo9hdW7wrS4AFqcLgXHRO9sSEsd.pdf>.
24. Королькова А.П., Кузьмин В.Н., Маринченко Т.Е., Горячева А.В. Стимулирование развития селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур: отечественный и зарубежный опыт: Аналитический обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 124 с.
25. Нестеренко Н., Мелоян С. Трансформация системы сбыта продукции в фермерском хозяйстве под воздействием пандемии COVID-19 // Продовольственная безопасность в Евразийском регионе 2020: Тематические исследования. – М.: Евразийский центр по продовольственной безопасности, 2021. – С. 41–55. – URL: https://ecfs.msu.ru/images/ECFS_case_studies_2020_RUS.pdf.
26. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: Постановление Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (по сост. на 31 марта 2020 г.).
27. Петриков А.В., Голубев А.В. Актуальные направления инновационного развития АПК и совершенствования научно-технологической политики в России // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Обеспечение научно-технологического суверенитета АПК: роль государства, науки и бизнеса», организованной в рамках XXVIII Никоновских чтений, 23–24 октября 2023 г. – М.: ВИАПИ имени А.А. Никонова, 2023. – С. 3–9.
28. Погребцова Е.А. Оценка инновационного развития аграрного сектора // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Обеспечение научно-технологического суверенитета АПК: роль государства, науки и бизнеса», организованной в рамках XXVIII Никоновских чтений, 23–24 октября 2023 г. – М.: ВИАПИ имени А.А. Никонова, 2023. – С. 14–17.

29. Развитие АПК в Российской Федерации, итоги 2020 года и дальнейшие планы / Германо-Российский аграрно-политический диалог. – 2021. – 14 с. – URL: https://agrardialog.ru/files/prints/obzor_tekushchey_situatsii_apk_v_rossiyskoy_federatsii_yanvar_2020_1_.pdf.
30. Раскрытие потенциала цифровых технологий в сельском хозяйстве России и поиск перспектив для малых фермерских хозяйств / Д. Нильсон, Ю.Т. Мэн, А. Буйволова, А. Акопян. Вашингтон: Всемирный банк, Глобальная практика по сельскому хозяйству, 2018. – 43 с. – URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/ru/840181539110113989/pdf/126745-P164457-RUSSIAN-RussiaDigitalAg-reportRUSWEB.pdf>.
31. *Рифкин Дж.* Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Пер. с англ. – М.: Альпина нон-фикшн, 2014. – 410 с.
32. *Ромашкин Р.А., Седик Д., Авдеев М.В., Черкасова О.В.* Перспективы российского агропродовольственного экспорта на рынке Китая / Под науч. ред. С.А. Шобы. – М.: Издательство «Перо», 2020. – 56 с.
33. *Ульяшина С.Ю., Бабикина О.И., Суконкин А.В., Иванова М.Г., Славин Я.А.* Аналитические исследования сферы интеллектуальной собственности- 2022: использование результатов интеллектуальной деятельности в регионах Российской Федерации. – М.: Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС), 2023. – 54 с.
34. Федеральная служба государственной статистики: Российский статистический ежегодник. – 2018. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994>.
35. Федеральная служба государственной статистики: Российский статистический ежегодник. – 2021. – № 22. Наука и инновации. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994>.
36. *Шендерюк О., Чемашкин Ф., Ветошкин С., Могилюк В.* Цифровизация АПК России: проблемы и предлагаемые решения. – М.: Яков и Партнеры, 2023. – 12 с. – URL: <https://yakov.partners/publications/digitalizing-russia-s-agricultural-sector-challenges-and-solutions/>.
37. *Шук О.В., Серова Е.В., Янбых Р.Г.* Исследование системы бюджетной поддержки аграрного сектора в России // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2020. – № 2. – С. 145–167.
38. *Alt V., Isakova S., Balushkina E.* Digitalization: problems of its development in modern agricultural production // E3S Web of Conferences 210, 10001. – 2020. – ITSE-2020. – Pp. 1–7. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021010001>.
39. *Etzkowitz H., Leydesdorff L.* The Triple Helix – University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development // EASST Review. – 1995. – Vol. 14, № 1. – Pp. 14–19.
40. *Steensland A.* Global Agricultural Productivity Report: Climate for sustainable agricultural growth / T. Thompson (Ed.) Virginia Tech College of Agriculture and Life Sciences, 2021. – 54 p. – URL: <https://globalagriculturalproductivity.org/wp-content/uploads/2021/10/2021-GAP-Report.pdf>.

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIAN AGRICULTURE: CURRENT STATE AND SUPPORTING MEASURES

S.K. SEITOV

(Lomonosov Moscow State University, Eurasian Center for Food Security)

The relevance of the research lies in the need to overcome the dependence of Russian agriculture on imports of foreign technologies. The country has problems with effective interaction between enterprises and research institutions in R&D, knowledge sharing and commercialization and possibly marketing activities. The aim is to identify the factors that hinder the innovative development of agriculture in Russia through support, and to propose measures to improve its effectiveness. The current number of results of intellectual activities is not sufficient for Russia with such a large potential of agro-industrial sector. Its positive dynamics is due to the low base effect and increased government funding of scientific organizations. Russia has two poles of farms in terms of the level of implementation of innovative technologies. Small farms are less active in mastering them, in contrast to large farms. The study uses comparative analysis, monographic method, and expert evaluation method. Firstly, the paper reveals the extent of intellectual activity in Russian agriculture. Secondly, the survey demonstrates the dynamics of the level of innovation activity of organizations in Russian agriculture. Thirdly, the research presents the specific weight of subsidies in the total amount of expenditures on innovation activity. Fourthly, the article outlines the place of financing of research and institutes, education in the structure of support of general services in Russia. Fifthly, the author gives the recommendations on improving the efficiency of innovation support.

Keywords: *subsidies, science, innovation activity, innovative technologies, patents, intellectual property.*

References

1. Anokhina M.E. Agricultural knowledge intensity and agricultural growth. *International Agricultural Journal*. 2022;3(387):264–269. (In Russ.) https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_3_264
2. Bank of Russia. External sector statistics. Foreign trade in services. (In Russ.) URL: https://cbr.ru/statistics/macro_itm/svs/
3. Buraeva E.V. Digitalization of agriculture as a determinant of economic growth in the agricultural sector of economy. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020;2 (83):99–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.99>
4. Vasil'chenko M.Ya., Derunova E.A. Industry features of innovative processes as a driver of sustainable development of the production potential of the agro-food complex of Russia. *International Agricultural Journal*. 2022;6(390):585–589. (In Russ.) https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_585
5. Foreign trade in technology by type of economic activity. Moscow: Institut statisticheskikh issledovaniy i ekonomiki znaniy NIU VShE. 05.02.2020. (In Russ.) URL: <https://issek.hse.ru/news/339543098.html>
6. Gal'chenko S.A., Gvozdeva O.V., Smirnova M.A., Chuksin I.V. Basic aspects and problems of the digitalization of agriculture as a method of management of the most important industry of the country. *Moscow Economic Journal*. 2021;1:220–229. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2413-046H-2021-10032>
7. Ganieva I.A. Intellectual property in the agro-industrial sector: current state, ways to stimulate creation, protection and commercialization: Presentation at the International

Scientific and Practical Conference “Ensuring the Scientific and Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: The Role of the State, Science and Business”, organized under the XXVIII Nikonov Readings, October 23, 2023, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University. (In Russ.)

8. *Godin V.V., Belousova M.N., Belousov V.A., Terekhova A.E.* Agriculture in a digital era: threats and solutions. *E-Management*. 2020;1:4–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2020-1-4-15>

9. *Goncharov V.D., Sal'nikov S.G.* Development of innovative activities in the Russian food complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Ensuring the Scientific and Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Sector: The Role of the State, Science and Business”, organized under the XXVIII Nikonov Readings, October 23–24, 2023. M.: VIAPI imeni A.A. Nikonova, 2023:26–31. (In Russ.)

10. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2017:368. (In Russ.)

11. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2019:392. (In Russ.)

12. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2015:355. (In Russ.)

13. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2016:392. (In Russ.)

14. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2018:336. (In Russ.)

15. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020:512. (In Russ.)

16. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2021:535. (In Russ.)

17. State Register of Protected Selection Achievements (official publication). M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2022:624. (In Russ.)

18. Civil Code of the Russian Federation. Part four: Federal Law of the Russian Federation dated December 18, 2006 No. 230-FL: as of December 5, 2022; as amended, effective June 29, 2023. (In Russ.)

19. *Vlasova V.V., Gokhberg L.M., Gracheva G.A. et al.* Innovative Activity Indicators: 2023: Statistical Collection. M.: NIU VShE, 2023:292. (In Russ.)

20. N.V. Orlova E.V. Serova, D.V. Nikolaev et al. Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. Agriculture 4.0: report to XXI April international scientific conf. on problems of economic and social development, Moscow, 2020. M.: Izd. dom Vyshey shkoly ekonomiki, 2020:128. (In Russ.)

21. Results of the All-Russian Agricultural Census 2016: In 8 volumes. Federal State Statistics Service. Vol. 1: Main results of the All-Russian Agricultural Census 2016: book 1: Main results of the 2016 All-Russian Agricultural Census for the Russian Federation. M.: IITs “Statistika Rossii”, 2018:458. (In Russ.)

22. Results of the All-Russian Agricultural Census 2016: In 8 volumes. Federal State Statistics Service. Vol. 6: Technical means, production facilities and infrastructure. M.: IITs “Statistika Rossii”, 2018:525. (In Russ.)

23. Results of the work of the Temporary Commission of the Federation Council on legislative support for the development of the technical and technological base of the agro-industrial sector of the Russian Federation in 2019. M., 2020:129. (In Russ.) URL: <http://council.gov.ru/media/files/bUxtOdo9hdW7wrS4AFqcLgXHRO9sSEsd.pdf>

24. *Korol'kova A.P., Kuz'min V.N., Marinchenko T.E., Goryacheva A.V.* Stimulating the development of selection and seed production of agricultural crops: domestic

and foreign experience: analytical review. M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020:124. (In Russ.)

25. *Nesterenko N., Meloyan S.* Transformation of a Farm’s Marketing System Prompted by the COVID-19 Pandemic. Food Security in Eurasia 2020: Case Studies. Moscow: Eurasian Center for Food Security, 2021:3952. (In Russ.) URL: https://ecfs.msu.ru/images/ECFS_case_studies_2020_ENG.pdf

26. On the State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food: Decree of the Government of the Russian Federation of July 14, 2012 No. 717: according to comp. as of March 31, 2020. (In Russ.)

27. *Petrikov A.V., Golubev A.V.* Current directions for innovative development of the agro-industrial complex and improvement of scientific and technological policy in Russia. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Ensuring the Scientific and Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Sector: The Role of the State, Science and Business”, organized under the XXVIII Nikonov Readings, October 23–24, 2023. M.: VIAPI imeni A.A. Nikonova, 2023:3–9. (In Russ.)

28. *Pogrebtsova E.A.* Assessment of innovative development of the agricultural sector. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Ensuring the Scientific and Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: The Role of the State, Science and Business”, organized under the XXVIII Nikonov Readings, October 23–24, 2023. M.: VIAPI imeni A.A. Nikonova, 2023:14–17. (In Russ.)

29. Development of the agro-industrial sector in the Russian Federation, results in 2020 and further plans / German-Russian Agrarian-Political Dialogue. 2021:14. (In Russ.) URL: https://agrardialog.ru/files/prints/obzor_tekushchey_situatsii_apk_v_rossiyskoy_federatsii_yanvar_2020_1_.pdf

30. *Nielson D.J., Meng Yu.T., Buyvolova A., Artavazd H.* Unleashing the Power of Digital on Farms in Russia – and Seeking Opportunities for Small Farms. Washington D.C.: World Bank, Agriculture Global Practice, 2018:43. (In Russ.) URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/ru/840181539110113989/pdf/126745-P164457-RUSSIAN-RussiaDigitalAgreportRUSWEB.pdf>

31. *Rifkin J.* The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. Translation from English. M.: Alpina non-fikshn, 2014:410. (In Russ.)

32. *Romashkin R.A., Sedik D., Avdeev M.V., Cherkasova O.V.* Prospects for Russian agri-food exports to the Chinese market. Ed. by S.A. Shoba. M.: Izdatel’stvo “Pero”, 2020:56. (In Russ.)

33. *Ul’yashina S.Yu., Babikova O.I., Sukonkin A.V., Ivanova M.G., Slavin YA.A.* Analytical research in the field of intellectual property 2022: use of the results of intellectual activity in the regions of the Russian Federation. M.: Federal’niy institute promyshlennoy sobstvennosti (FIPS), 2023:54. (In Russ.)

34. Federal State Statistics Service. Russian statistical yearbook. 2018. (In Russ.) URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994>

35. Federal State Statistics Service. Russian statistical yearbook. 2021. 22. Science and innovation. (In Russ.) URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994>

36. *Shenderyuk O., Chemashkin F., Vetoshkin S., Mogilyuk V.* Digitalization of the Russian agro-industrial sector: problems and proposed solutions. M.: Yakov i Partnery, 2023:12. (In Russ.) URL: <https://yakov.partners/publications/digitalizing-russia-s-agricultural-sector-challenges-and-solutions/>

37. *Shik O.V., Serova E.V., Yanbykh R.G.* Review of the budget support system for the agricultural sector in Russia. *Public Administration Issues*. 2020;2:145–167. (In Russ.)

38. *Alt V., Isakova S., Balushkina E.* Digitalization: problems of its development in modern agricultural production. *E3S Web of Conferences* 210, 10001. *ITSE-2020*. 2020:1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021010001>

39. *Etzkowitz H., Leydesdorff L.* The Triple Helix University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development. *EASST Review*. 1995;14(1):14–19.

40. *Steensland A.* 2021 Global Agricultural Productivity Report: Climate for sustainable agricultural growth. Ed. by T. Thompson. Virginia Tech College of Agriculture and Life Sciences, 2021:54. URL: <https://globalagriculturalproductivity.org/wp-content/uploads/2021/10/2021-GAP-Report.pdf>

Сентов Санат Каиргалиевич, канд. экон. наук, инженер 2 категории кафедры агроэкономики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119991, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр. 46; инженер 1 категории Евразийского центра по продовольственной безопасности (Аграрного центра МГУ), ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119991, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр. 12; тел.: +7 (495) 939–34–27; e-mail: sanatren@mail.ru

Sanat K. Seitov, CSc (Econ), 2nd Category Engineer, Department of Agroecconomics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University (1, b.46, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation); 1st Category Engineer, Eurasian Center for Food Security, Lomonosov Moscow State University (1, b.12, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; phone: +7 (495) 939–34–27; E-mail: sanatren@mail.ru)

СТАТИСТИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ ОВЦЕВОДСТВА И КОЗОВОДСТВА В КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.В. УКОЛОВА, Б.Ш. ДАШИЕВА, В.С. ТОКАРЕВ,
А.С. НЕВЗОРОВ, Д.Э. ХРАМОВ

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье отражена установленная положительная тенденция ряда динамики с 1990 по 2022 гг. численности поголовья овец и коз в крестьянских фермерских хозяйствах в отличие от сельскохозяйственных организаций и хозяйств населения, что привело к структурным сдвигам по категориям хозяйств. Если в 2000 г. удельный вес поголовья овец и коз в крестьянских (фермерских) хозяйствах составлял всего 6% от их общей численности во всех категориях хозяйств, то в 2022 г. он достиг 40% при увеличении всего поголовья овец и коз в Российской Федерации с 15 до 21 млн гол. за этот период. Разработана методика анализа состояния и развития овцеводства и козоводства в Российской Федерации. В качестве объекта исследования выбрана совокупность крестьянских (фермерских) хозяйств. Для аналитического выравнивания ряда динамики поголовья овец и коз в крестьянских (фермерских) хозяйствах были выделены подпериоды и использованы кусочно-линейные функции. Наибольший угол наклона (среднегодовой абсолютный прирост) наблюдался в 2000–2008 гг. – 753 тыс. гол. В период с 2009 по 2016 гг. он уменьшился до 468 тыс. гол. в год, а последний период (2017–2022 гг.) характеризуется уже убывающим трендом: в среднем за год поголовье уменьшается на 156 тыс. Предложен подход к построению факторной аналитической группировки по поголовью овец и коз по данным формы № 1-КФХ, предоставляемой крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и индивидуальными предпринимателями, получающими субсидии из федерального бюджета или из бюджетов субъектов Российской Федерации. Методика была апробирована на совокупности, включающей в себя почти 3 тыс. хозяйств, специализирующихся на производстве продукции овцеводства и козоводства. В отличие от публикаций по данным всероссийских сельскохозяйственных переписей и микропереписей характеристика выделенных групп дана системой результативных показателей, как это делается в странах с развитой экономикой в целом, и сельским хозяйством – в частности. На основе группировки установлена положительная связь между численностью поголовья животных и общими размерами производства и его эффективностью, что может быть использовано для разработки мер адресной государственной поддержки. Разработанная методика может применяться для анализа и прогнозирования развития отрасли овцеводства и козоводства с учетом особенностей субъектов малого предпринимательства в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: статистико-экономический анализ, группировка, крестьянское (фермерское) хозяйство, поголовье овец и коз, овцеводство, козоводство, временной ряд, производство шерсти.

Введение

Отрасли овцеводства и козоводства в России после спада, вызванного либеральными реформами конца прошлого века, до сих пор не восстановлены до уровня 1990 г. Поголовье овец и коз на конец 2022 г. во всех категориях хозяйств составляет 20,8 млн гол., или всего 35,8% от уровня 1990 г. В 2022 г. произведено

210 тыс. т продукции выращивания овец и коз на убой (в убойном весе) и 46 тыс. т шерсти, то есть 53,2 и 20,3% от уровня 1990 г. соответственно. Производство шерстяных тканей сократилось за этот же период с 465,6 [14] до 6,7 млн м² в 2022 г., что свидетельствует об уничтожении практически отрасли шерстяной промышленности. Несмотря на изменение методологии учета, данные в динамике являются достаточно сопоставимыми. В соответствии с Общероссийским классификатором продукции ОК 005–93 (ОКП) к 2009 г. объем производства готовых шерстяных тканей уменьшился до 18,1 м², а в соответствии с Общероссийским классификатором продукции по видам экономической деятельности ОК 034–2007 (КПЕС 2002) (ОКПД) – до 17,9 м². За период с 2009 по 2016 гг., когда действовал последний классификатор, объем производства сократился еще на 50%, а к 2022 г. по сравнению с 2017 г. – на 30% (в соответствии с Общероссийским классификатором продукции по видам экономической деятельности ОК 034–2014 (КПЕС 2008) (ОКПД2)). Уровень использования среднегодовой производственной мощности организаций по выпуску шерстяных тканей с 1991 по 2021 г. сократился с 83 до 15%. О факторе падения спроса на шерсть свидетельствуют работы и ряда авторов [1, 4, 11].

Для восстановления отрасли в 2011 г. Министерством сельского хозяйства Российской Федерации была утверждена отраслевая целевая программа «Развитие овцеводства и козоводства в Российской Федерации на 2012–2014 годы и на плановый период до 2020 года» [7]. Целевые индикаторы программы были выполнены по увеличению поголовья овец на 70,7%, коз – на 73,1%; по увеличению объемов производства шерсти – на 61,9%; по продукции выращивания овец и коз на убой (в убойном весе) – на 60,4% [7, 13]. Согласно Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2025 годы, утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (с изм. на 13 июня 2023 г.), развитие овцеводства и козоводства остается одним из приоритетных направлений [9].

Анализ динамики и состояния овцеводства и козоводства в мире и в России проводился во многих работах отечественных ученых [1, 4, 6, 12, 15, 18]. Так, авторами [18] отмечается, что за период с 1990 по 2019 г. в подотраслях овцеводства и козоводства произошли изменения, связанные с перераспределением поголовья среди хозяйствующих субъектов, под которыми понимаются категории хозяйств. Структурные сдвиги продолжают и в настоящее время.

С 2012 по 2022 гг. удельный вес поголовья овец и коз в крестьянских (фермерских) хозяйствах (К(Ф)Х) в общей их численности по всем категориям хозяйств увеличился на 5,5 п.п. и достиг 39,6%, что привело к приращению доли К(Ф)Х в общем объеме продукции выращивания овец и коз в убойном весе на 9,7 п.п. (28,6% – на конец периода), шерсти – на 9,6 п.п. (39,6% – в 2022 г.). Вклад хозяйств населения (ХН) несмотря на то, что они продолжают занимать лидирующее положение в производстве продукции овцеводства и козоводства, уменьшается в динамике [2].

Цель исследований: разработка и апробация методики статистико-экономического анализа состояния и развития овцеводства и козоводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах Российской Федерации.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ изменения численности поголовья овец и коз по всем категориям хозяйств в длительной динамике (с 1990 по 2022 гг.) по отдельным категориям хозяйств;
- изучить размещение поголовья овец и коз по всем категориям хозяйств по субъектам Российской Федерации с целью выявления регионов-лидеров и разработки дифференцированных мер по восстановлению отрасли;
- разработать предложения по совершенствованию анализа и представления результатов всероссийских сельскохозяйственных переписей по овцеводству и козоводству на основе изучения опыта зарубежных стран с развитым сельским хозяйством;

– разработать подходы к проведению анализа овцеводства и козоводства с использованием формы отчетности № 1-КФХ «Информация о производственной деятельности глав крестьянских (фермерских) хозяйств – индивидуальных предпринимателей» (далее – форма № 1-КФХ).

В качестве объекта исследований используются совокупности крестьянских (фермерских) хозяйств, регионов и временные ряды численности поголовья овец и коз в Российской Федерации. Основное исследование рядов динамики проведено начиная с 1990 г., когда начался процесс формирования многоукладного сельского хозяйства России и появилась категория крестьянских (фермерских) хозяйств.

Предметом исследований является система статистических показателей, характеризующих состояние и развитие овцеводства и козоводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах.

Материал и методы исследований

Статистический метод предполагает рассмотрение явлений и процессов через систему показателей в их динамике, взаимосвязи и развитии. Предлагаемая авторами методика статистического исследования развития овцеводства и козоводства в России включает в себя следующие этапы:

1. Анализ сопоставимых натуральных показателей развития отрасли овцеводства и козоводства в длительной динамике (численности поголовья овец и коз, производства продукции).

Для выявления тенденции по качественно однородным периодам могут быть использованы методы аналитического выравнивания, например, с использованием функции уравнения прямой:

$$\tilde{y} = a + bt, \quad (1)$$

где y – численность поголовья овец, тыс. гол.; t – момент времени, год.

Для оценки возможности построения тенденции по данным всего ряда без подпериодов предлагается использовать тест Чоу [19]. При применении данного теста выдвигается нулевая гипотеза (H_0) о том, что вектор оценок параметров тренда по первому подпериоду равен вектору – по второму подпериоду либо о равенстве остаточных дисперсий отклонений от линий трендов по этим подпериодам, а также альтернативная (H_a) ей:

$$H_0: \beta' = \beta''; D(\varepsilon') = D(\varepsilon'') = \sigma^2;$$

$$H_a: \beta' \neq \beta''; D(\varepsilon') \neq D(\varepsilon'') \neq \sigma^2.$$

По тесту Чоу принимается альтернативная гипотеза о наличии точки перегиба, если:

$$F = \frac{\left(\sum_{i=1}^n e_i^2 - \sum_{i=1}^{n_1} e_i^2 - \sum_{i=n_1+1}^n e_i^2 \right) \cdot (n - 2p - 2)}{\left(\sum_{i=1}^{n_1} e_i^2 + \sum_{i=n_1+1}^n e_i^2 \right) \cdot (p + 1)} > F_{\alpha; p+1; n-2p-2}, \quad (2)$$

где p – число параметров без свободного члена; $\sum_{i=1}^n e_i^2$ – остаточная сумма квадратов при построении тренда по всей совокупности; $\sum_{i=1}^{n_1} e_i^2$, $\sum_{i=n_1+1}^n e_i^2$ – остаточные суммы квадратов для первого и второго подпериодов; n – число лет за весь период.

Если ряд содержит структурные изменения в момент (период) времени t , повлиявшие на характер тенденции ряда, необходима периодизация [17].

С учетом многоукладности сельского хозяйства анализ динамики следует проводить не только в целом по всем категориям хозяйств, но и по каждой категории в отдельности.

2. Изучение размещения поголовья овец и коз по регионам Российской Федерации в целом, а также по категориям хозяйств, чтобы учесть природные, климатические и исторические факторы, для чего могут быть использованы рейтинги на основе построения ранжированных рядов, группировки, картограммы и картодиаграммы.

3. Для получения действительно объективных характеристик изучаемых массовых явлений – учет их качественного своеобразия, который достигается путем использования метода группировок [3].

В практике российской и зарубежной статистики широко используется аналитическая группировка по численности поголовья скота [5]. В статье отражен изученный опыт представления результатов российской и американской сельскохозяйственных переписей, на основе которого разработан подход к построению аналитической группировки по данным формы № 1-КФХ. Метод построения факторных аналитических группировок позволяет оценить распределение единиц совокупности по поголовью скота, установить степень изменения признаков, с использованием которых дается характеристика выделенных групп, а также оценить влияние на них группировочного признака путем сопоставления изменения показателей в различных группах. Сказуемое факторной группировки по данным формы № 1-КФХ может включать в себя показатели доходов от реализации продукции овцеводства и козоводства, наличия трудовых, земельных и финансовых ресурсов и др.

В качестве информационной базы исследований использованы итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 г. [10] и данные формы отчетности № 1-КФХ за 2021 год, которая предоставляется в Министерство сельского хозяйства Российской Федерации крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и индивидуальными предпринимателями, получающими субсидии из бюджета [8].

Результаты и их обсуждение

В настоящее время в Российской Федерации численность поголовья овец и коз меньше уровня 1932–1933 гг., когда было 23,6 млн гол. (рис. 1) [13].

На рисунке 2 по кривой, характеризующей изменение численности овец и коз за период 1990–2022 гг. в условиях многоукладной экономики, явно видна точка перегиба – 1999 г. (по тесту Чоу $F_{\text{факт}} = 249,8$, что больше $F_{\text{крит}} = 3,3$), когда убывающая тенденция сменилась на возрастающую. Подпериод 1990–1999 гг. характеризуется резким спадом численности поголовья на 43,4 млн гол. со средним ежегодным темпом убыли 14,1%. На конец 1999 г. поголовье овец и коз составило всего 14,8 млн гол.

Период с 2000 по 2022 гг. содержит точку перегиба – 2016 год ($F_{\text{факт}} = 97,9$ при $F_{\text{крит}} = 3,5$), когда возрастающая тенденция с ежегодным темпом прироста 3,2% сменилась на убывающую – с темпом снижения 2,8%. В итоге к концу 2022 г. численность овец и коз сократилась до уровня 2006 г.

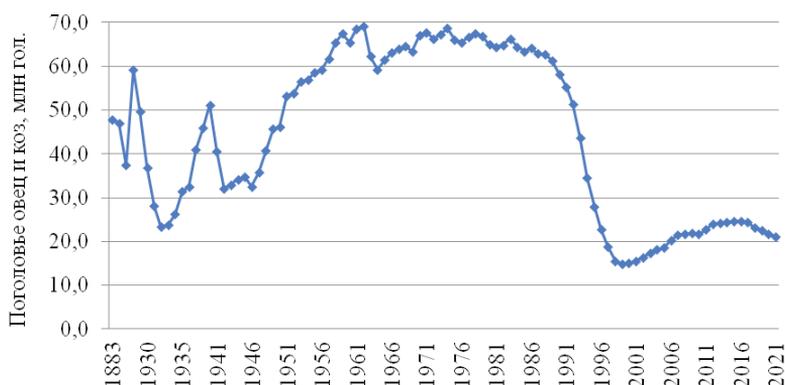
Из данных рисунка 2 следует, что по категориям хозяйств тенденция изменения численности овец и коз является различной. В сельскохозяйственных организациях (СХО) к концу 2022 г. численность поголовья овец и коз составила всего 3,2 млн гол., что почти на 40 млн гол. меньше, чем в 1990 г. В хозяйствах населения поголовье овец и коз с 1990 по 1999 гг. сокращалось меньшими темпами по сравнению с сельскохозяйственными организациями, с 2000 по 2005 гг. оно занимало

уровень 9,8 млн гол., в 2006–2016 гг. повысилось до 11,2 млн гол., а с 2017 г. опять началось сокращение. К концу 2022 г. в хозяйствах населения поголовье овец и коз составило 9,4 млн гол., что ниже уровня 1990 г. на 6,7 млн гол., или на 41,5%. В К(Ф)Х с момента их создания в 1990 г. численность овец и коз в целом увеличивалась, но с 2017 г. началось ее снижение. На конец 2022 г. в К(Ф)Х численность овец и коз составляла 8,2 млн гол., из них 97,1% приходилось на овец.

На рисунке 3 приведена численность поголовья овец с 1991 по 2022 гг.

На рисунке визуализируются четыре точки перегиба: 1994 г., 1999 г., 2008 г., 2016 г. Последние три точки подтверждены тестом Чоу (табл. 1).

Таким образом, для выявления тенденции в рядах динамики могут быть использованы кусочно-линейные функции, и изучаемый период может быть подразделен на несколько подпериодов: 1991–1993, 1994–1999, 2000–2008, 2009–2016, 2017–2022 гг. По всем уравнениям получены высокие и статистически значимые коэффициенты детерминации, что говорит о хорошем качестве моделей (рис. 3).



*В 1883 г. данные приведены только по Европейской части Российской Империи на основании сведений сборника «Статистический временник Российской Империи».

Рис. 1. Численность поголовья овец и коз в границах Российской Федерации на конец года, млн гол. (расчеты авторов [13])

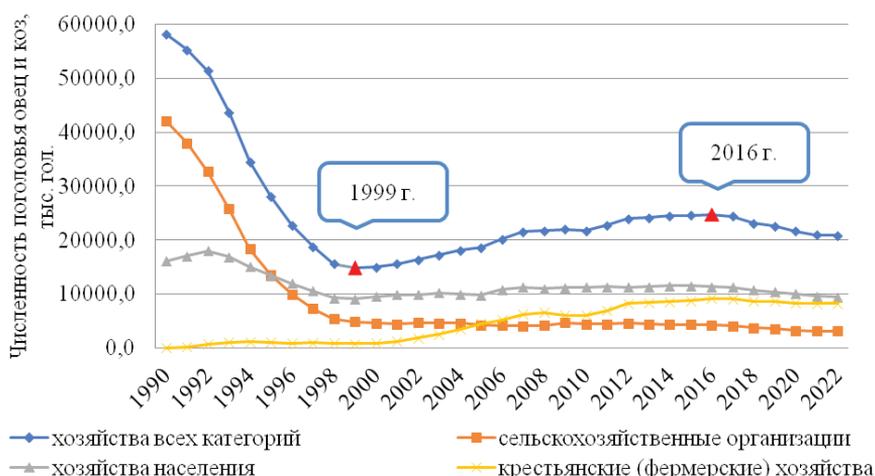


Рис. 2. Численность поголовья овец и коз по категориям хозяйств на конец года в Российской Федерации, тыс. гол. (расчеты авторов [2])

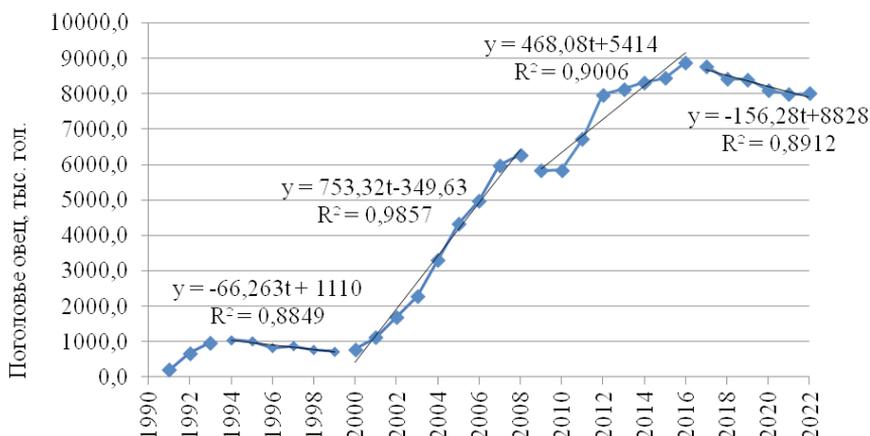


Рис. 3. Динамика численности поголовья овец в крестьянских (фермерских) хозяйствах Российской Федерации за период 1991–2022 гг. (расчеты авторов [13])

Таблица 1

Результаты теста Чоу (расчеты авторов [13])

Точка перегиба	Период	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{табл}}$	Принимаемая гипотеза
1999 г.	1994–2016	15,480	3,522	H_a (1999 г. является точкой перегиба)
2008 г.	2000–2022	23,717	3,522	H_a (2008 г. является точкой перегиба)
2016 г.	2009–2022	28,905	4,103	H_a (2016 г. является точкой перегиба)

В период 1994–1999 гг. численность поголовья овец с каждым годом уменьшалась на 66,3 тыс. гол. В 2000 г. произошел перелом тенденции: период 2000–2008 гг. характеризуется ежегодным приростом 753,3 тыс. гол., с 2009 по 2016 гг. рост численности овец уменьшился до 468,1 тыс. гол., с 2017 г. опять началась убыль по 156,3 тыс. гол. в год, что в 2,4 раза выше темпов сокращения в 1990-е гг.

Если тенденция последних лет не изменится и не будут приняты меры государственной поддержки и регулирования развития овцеводства и козоводства, численность поголовья овец к 2024 г. снизится еще на 429 тыс. гол. и составит 7,6 млн гол. (с доверительным уровнем вероятности 95% прогнозное значение попадает в интервал от 7,1 до 8,1 млн гол.).

Поскольку на специализацию и размещение сельскохозяйственного производства оказывают влияние природно-климатические и исторические условия, различающиеся по регионам страны, необходимо изучить размещение поголовья овец во всех категориях хозяйств по территориям. По итогам сельскохозяйственной микропереписи 2021 г. построена картограмма (рис. 4).

На основе ранжированного ряда распределения регионов по численности поголовья овец, в котором выделено 7 групп, выявлено, что на 64 из 83 субъектов Федерации приходится всего 14,5% поголовья овец (первые 4 группы регионов – на рисунке 4), а на оставшиеся 19 с поголовьем от 200 тыс. овец – 85,5% (последние 3 группы – на рисунке 4). Абсолютным лидером по численности поголовья является Республика Дагестан, в которой сосредоточено 22,3% численности овец (табл. 2), на 2 месте – Республика

Калмыкия (8,8%), на 3–5 местах – соответственно Астраханская область (6,9%), Карачаево-Черкесская Республика (6,3%) и Ставропольский край (6,2%).

По каждой из категорий хозяйств Дагестан тоже лидирует с удельным весом: от 13 в хозяйствах населения до 36% в СХО. Почти половина численности овец в Республике Дагестан содержится в К(Ф)Х, что в свою очередь составляет 1/4 всего поголовья овец страны в данной категории хозяйств.

По данным сельскохозяйственных переписей (ВСХП) и микропереписей (СХМП), Росстат публикует группировки по поголовью овец и коз в разрезе категорий хозяйств. В таблице 3 представлена группировка К(Ф)Х и индивидуальных предпринимателей (ИП) по СХМП-2021.

Всего 12,5% всех К(Ф)Х и ИП имели в 2021 г. поголовье овец и коз, почти половина из них – от 11 до 300 гол., свыше 1000 гол. – 18%, свыше 2000–8%. Кредитными средствами хозяйства с поголовьем и без поголовья овец и коз пользовались практически в равной степени: 8,5% хозяйств в первой категории и 11,3% – во второй. Государственную поддержку в 2020 г. получили 45,6% К(Ф)Х и ИП с поголовьем овец и коз, и всего 21,8% – без поголовья.

По мере перехода от мелких к крупным по численности овец и коз хозяйствам наблюдается рост плотности поголовья и четко прослеживается тенденция увеличения удельного веса хозяйств, получающих субсидии: если получателями субсидий в группах от 11 до 300 гол. являлись от 28,5 до 40,2% К(Ф)Х и ИП, то с поголовьем от 701 гол. – более 60%, свыше 2000 гол. – 71,1%, то есть меры государственной поддержки направлены в первую очередь на развитие относительно крупного специализированного овцеводства.

В США, по данным сельскохозяйственной переписи, также строят аналитические группировки по численности поголовья овец и ягнят, но при этом приводится и количество ферм, реализовавших продукцию выращивания овец и производивших шерсть, а также объемы реализации в натуральном и стоимостном выражении (табл. 4). Это дает возможность оценить, какую долю рынка занимают группы ферм разного размера [16] и каков характер их хозяйственной деятельности.



Рис. 4. Численность поголовья овец во всех категориях хозяйств на 1 августа 2021 г. по субъектам Российской Федерации (расчеты авторов [10])

**Рейтинг регионов Российской Федерации по численности поголовья овец
по состоянию на 1 августа 2021 г.
(расчеты авторов [10])**

Место	Субъект Российской Федерации	Поголовье овец по всем категориям хозяйств, тыс. гол.	Удельный вес в общей численности поголовья овец, %			
			все категории хозяйств	СХО	К(Ф)Х и ИП	ХН
1	Республика Дагестан	4430,4	22,3	35,5	25,3	13,2
2	Республика Калмыкия	1755,0	8,8	9,7	9,3	8,0
3	Астраханская область	1377,6	6,9	1,5	10,4	5,6
4	Карачаево-Черкесская Республика	1246,4	6,3	7,1	10,6	1,2
5	Ставропольский край	1243,8	6,2	7,0	6,5	5,6
6	Ростовская область	1141,8	5,7	2,5	5,1	7,8
7	Волгоградская область	1030,5	5,2	4,1	3,1	7,9
8	Республика Тыва	876,2	4,4	7,0	3,8	4,0
9	Республика Башкортостан	498,3	2,5	0,4	0,7	5,4
10	Республика Алтай	467,1	2,3	2,0	2,6	2,2
11	Саратовская область	433,3	2,2	1,5	1,7	3,0
12	Забайкальский край	430,9	2,2	4,5	1,7	1,7
13	Республика Хакасия	367,0	1,8	1,0	3,2	0,8
14	Кабардино-Балкарская Республика	335,1	1,7	3,0	1,2	1,6
15	Республика Бурятия	313,4	1,6	1,8	1,8	1,2
16	Республика Ингушетия	305,6	1,5	0,4	2,6	0,9
17	Чеченская Республика	268,5	1,3	0,8	1,4	1,5
18	Оренбургская область	252,7	1,3	0,1	0,8	2,3
19	Республика Татарстан	249,8	1,3	0,4	0,4	2,5
Другие регионы		2886,0	14,5	9,7	7,8	23,6
Итого		19909,4	100	100	100	100

**Группировка крестьянских (фермерских) хозяйств
и индивидуальных предпринимателей по поголовью овец и коз
на 1 августа 2021 г. по данным сельскохозяйственной микропереписи 2021 г.
(расчеты авторов [10])**

Интервалы по поголовью овец и коз, гол.	Число К(Ф)Х и ИП			Поголовье овец и коз				Удельный вес, %, хозяйств, получавших в 2020 г.	
	всего	%		всего, тыс. гол.	в процентах от общего поголовья	в среднем на одно хозяйство, гол.	в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий, гол.	кредитные средства	субсидии (дотации)
		от общего числа хозяйств	от числа хозяйств, имевших поголовье						
до 6	421	0,4	2,9	1,4	0,0	3	3	5,2	18,8
6–10	597	0,5	4,0	5,2	0,1	9	6	7,9	21,6
11–30	1820	1,5	12,3	38,5	0,4	21	8	10,0	28,5
31–100	2726	2,3	18,5	169,3	1,9	62	17	10,8	32,6
101–300	2712	2,3	18,4	532,6	6,1	196	35	8,9	40,2
301–500	1683	1,4	11,4	676,8	7,7	402	49	9,1	53,0
501–700	1075	0,9	7,3	647,4	7,4	602	67	7,5	59,3
701–1000	1029	0,9	7,0	874,2	9,9	850	100	5,4	62,6
1001–1500	925	0,8	6,3	1155,8	13,1	1250	112	6,8	66,2
1501–2000	585	0,5	4,0	1027,2	11,7	1756	173	7,5	68,7
свыше 2000	1176	1,0	8,0	3666,2	41,7	3118	303	6,5	71,1
всего хозяйств, имевших поголовье	14 749	12,5	100	8794,5	100	596	95	8,5	45,6
не имевшие поголовья	103 541	87,5	х	х	х	х	х	11,3	21,8
Итого	118 290	100	х	8794,5	100	74	21	11,0	24,7

Экономическая характеристика групп хозяйств по численности поголовья возможна и в России, если использовать данные формы № 1-КФХ. В статье приводятся результаты построения такой группировки (табл. 5, 6). Границы интервалов по численности поголовья овец и коз в целом такие же, как и по итогам сельскохозяйственной

переписи. Группы до 6, 6–10, 11–30, 31–100 в силу их малочисленности объединены в одну, куда вошли 208 хозяйств. Последняя группа «Свыше 2000» дополнительно подразделена еще на 5 интервалов: 2001–2500, 2500–3000, 3001–4000, 4001–6000, свыше 6000. Для апробации группировки были отобраны 2962 специализированных К(Ф)Х и ИП, у которых удельный вес доходов от реализации продукции выращивания овец и коз, козьего молока сырого, шерсти в физическом весе в общих доходах от сельскохозяйственной деятельности превышает 66%.

Распределение специализированных К(Ф)Х по численности поголовья овец и коз имеет правостороннюю скошенность, группа хозяйств до 100 гол. достаточно является малочисленной (7% от общей численности), в группу 101–500 гол. вошли 30% хозяйств, в группу от 501 до 1500–35%, от 1501 до 4000–27%. Очень крупных К(Ф)Х с поголовьем более 4000 гол. – всего 1,4%. Самый большой удельный вес коз в стаде наблюдается в первой группе (25%); во второй – 7%; в третьей – 6%; в 3–5 группах – на уровне 2–3%; в 7–10–0,3–1,4%. В последней, 11 группе, нет коз, а в группе с поголовьем 4001–6000, которая отличается самой большой средней численностью коз (134 гол.), он достигает почти 3%. На основе группировки можно сделать вывод о наличии положительной связи между поголовьем овец и коз и размером земельного участка, численностью работников и удельным весом тонкорунных овец в стаде и, соответственно, объемами производства шерсти (табл. 6).

Таблица 4

**Группировка ферм по численности поголовья овец и ягнят
в расчете на 1 ферму США, 2017 г.
(расчеты авторов [20])**

Интервалы по размеру поголовья овец и ягнят по состоянию на 31 декабря 2017 г., гол.	Число ферм	Поголовье овец и ягнят, гол.		Объем произведенной шерсти*, кг	Доходы от реализации, тыс. долл. США	
		всего в наличии	реализовано*		продукции* выращивания овец	произведенной шерсти*
1–24	70455	10	9	29	1	0,1
25–99	24089	44	30	122	5	0,3
100–299	4750	153	107	451	18	0,9
300–999	1438	475	349	1486	61	3,0
1000–2499	396	1540	1233	5282	216	14,6
2500–4999	152	3384	2372	10544	421	33,3
5000 и более	107	10430	11587	27347	2189	82,4
Все фермы, имеющие поголовье овец и ягнят	101387	53	71	347	12	0,9

*В расчете на 1 ферму, реализовавшую продукцию овцеводства.

**Ресурсы производства К(Ф)Х и ИП Российской Федерации
овцеводческой и козоводческой направленности
по данным формы № 1-КФХ за 2021 г. в расчете на одно хозяйство
(расчеты авторов [8])**

Интервалы по поголовью овец и коз, гол.	Число хозяйств	Среднегодовое поголовье					Среднегодовая используемая площадь земельных участков, га	Среднегодовая численность работников К(Ф)Х и ИП, чел.	Кредиты*, тыс. руб.	Займы*, тыс. руб.
		овец			коз					
		всего	из них:		всего	из них: коз-матки				
			овце-матки	тонкорунные и полутонкорунные						
до 100	208	43	32	2	14	9	141	1,7	1414	1082
101–300	481	196	151	10	15	10	369	1,6	4681	1263
301–500	398	368	296	29	25	17	560	1,6	4463	4113
501–700	322	576	495	87	20	15	740	1,6	2018	7539
701–1000	344	811	706	150	33	25	887	1,6	3113	3751
1001–1500	357	1205	1007	349	27	19	873	2,0	2338	6577
1501–2000	257	1739	1481	590	6	5	849	2,5	2524	1761
2001–2500	213	2225	1887	1163	33	27	678	2,4	1500	1382
2500–3000	177	2724	2340	1129	20	14	576	2,5	–	5578
3001–4000	163	3410	2929	1729	31	26	844	3,1	–	11160
4001–6000	31	4609	3748	2765	134	126	1521	3,1	3780	2500
свыше 6000	11	9178	6234	2992	–	–	1934	4,3	34000	–
Итого	2962	1130	951	412	23	17	660	2,0	3446	3435

*По хозяйствам, получавшим кредиты и займы.

При переходе от начальных групп хозяйств с небольшой численностью овец и коз к последним группам можно отметить планомерное увеличение доходов в расчете на одно К(Ф)Х и на одного работника, что свидетельствует об увеличении размеров производства в целом и о росте производительности труда. Из тенденции в основном выбивается только первая группа хозяйств. Удельный вес средств государственной поддержки по группам незначительно отклоняется от среднего уровня 14%, лишь в первой группе до 100 гол. он достигает 26%.

Наибольший удельный вес в структуре доходов от реализации имеет продукция выращивания овец и коз. Он увеличивается при переходе от мелких хозяйств к крупным, и при этом первые три группы отличаются существенным удельным весом доходов от реализации козьего молока: от 10 (3 группа) до 16% (1 группа).

Производство продукции и доходы от ее реализации К(Ф)Х и ИП Российской Федерации овцеводческой направленности по данным формы № 1-КФХ за 2021 г.
(расчеты авторов [8])

Интервалы по поголовью овец и коз, гол.	Доходы К(Ф)Х в расчете на одно хозяйство, тыс. руб.					Произведено продукции в расчете на одно хозяйство, ц			Удельный вес доходов от реализации продукции выращивания овец и коз в общих доходах от реализации продукции, %	Доходы К(Ф)Х от реализации продукции овцеводства и козоводства в расчете на одного работника, тыс. руб.
	всего	в том числе:				выращивания овец и коз	молока сырого козьего	шерсти в физическом весе		
		получено средств государственной поддержки	от реализации продукции овцеводства и козоводства:							
			продукции выращивания овец и коз	молока с сырого козьего	шерсти в физическом весе					
до 100	1691	444	572	210	1	57,6	38,8	0,4	45,9	460
101–300	980	105	480	114	5	36,6	30,6	2,6	54,9	366
301–500	1818	231	776	161	18	56,4	31,7	6,0	48,9	611
501–700	1805	253	933	18	17	99,4	7,1	11,1	60,1	599
701–1000	2068	241	1082	115	25	105,6	18,5	21,7	59,2	762
1001–1500	3548	627	1570	125	59	165,7	12,1	25,6	53,7	875
1501–2000	3931	455	2174	–	100	210,8	–	39,3	62,5	918
2001–2500	3946	369	2811	–	153	259,4	–	52,8	78,6	1258
2500–3000	5357	800	3132	20	164	303,7	19,1	57,0	68,7	1315
3001–4000	5937	682	3549	–	253	364,7	–	78,0	67,5	1242
4001–6000	14517	2103	8750	–	352	744,2	–	109,4	70,5	2970
свыше 6000	22369	3531	15205	–	463	1252,9	–	154,7	80,7	3667
Итого	2893	397	1560	86	64	148,2	17,5	24,7	62,5	877

Выводы

Апробация предложенной авторами методики статистического исследования развития овцеводства и козоводства в России позволяет сформулировать ряд важных выводов и предложений, способствующих принятию необходимых государственных мер по развитию этой подотрасли животноводства.

Анализ динамики численности овец и коз с учетом многоукладности сельского хозяйства показал, что по сравнению с сельскохозяйственными организациями и хозяйствами населения крестьянские (фермерские) хозяйства за период с момента их возникновения и по настоящее время характеризуются в целом положительной тенденцией численности поголовья мелкого рогатого скота. Для выявления тенденции в рядах динамики поголовья овец и коз в крестьянских (фермерских) хозяйствах необходима периодизация: 1991–1993, 1994–1999, 2000–2008, 2009–2016, 2017–2022 гг. Для последнего подпериода характерны общие для всех категорий хозяйств тенденции уменьшения поголовья.

Прогноз на основе уравнения линейного тренда за 2017–2022 гг. показал, что численность овец продолжит уменьшаться на 156 тыс. гол. ежегодно и к 2024 г. составит всего 7,6 млн гол.

Особенности исторических традиций регионов России, разнообразие их природно-климатических условий определяют размещение численности поголовья овец по территории страны. Среди федеральных округов Российской Федерации лидерами по содержанию овец и коз являются Северо-Кавказский и Южный федеральные округа. Наибольшая численность поголовья овец – в Республике Дагестан (22,3% всех овец), и в данном регионе почти половина всех овец разводится в крестьянских (фермерских) хозяйствах.

Для учета качественного своеобразия групп крестьянских (фермерских) хозяйств, имеющих разную численность поголовья овец и коз, при подведении итогов сельскохозяйственных переписей и микропереписей в России и зарубежных странах используют метод группировок. С учетом того, что в России сельскохозяйственные переписи проводятся для структурной характеристики ресурсов сельского хозяйства, факторные группировки по поголовью животных не характеризуются результативными показателями, как это делается, например, в США.

В статье отражен разработанный подход к построению факторной аналитической группировки по поголовью овец и коз по данным формы № 1-КФХ, предоставляемой К(Ф)Х и ИП в Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, получающими субсидии из федерального бюджета или бюджетов субъектов Российской Федерации. Методика была апробирована на совокупности, включающей в себя почти 3 тыс. К(Ф)Х и ИП, специализирующихся на производстве продукции овцеводства и козоводства. На основе группировки установлена положительная связь между численностью поголовья животных и общими размерами производства и его эффективностью, что может быть использовано при распределении государственных субсидий.

Разработанная методика может применяться для анализа и прогнозирования развития отрасли овцеводства и козоводства с учетом особенностей субъектов малого предпринимательства в сельском хозяйстве.

Библиографический список

1. Балакирев Н.А., Фейзуллаев Ф.Р., Гончаров В.Д., Селина М.В. Состояние и перспектива развития овцеводства России // *Аграрный вестник Верхневолжья*. – 2019. – № 1 (26). – С. 58–63.

2. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии) – информация 2022 г.: Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13277> (дата обращения: 01.09.2023).

3. Зинченко А.П. Статистика: Учебник для студентов вузов. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 368 с.

4. *Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А.* Состояние, динамика и тенденции в развитии овцеводства в мире и в России // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2019. – № 3. – С. 3–6.

5. *Козлов К.А., Уколова А.В.* Подход к представлению данных специализированных статистических наблюдений по личным подсобным хозяйствам // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 10. – С. 81–92.

6. *Новопашина С.И., Санников М.Ю., Хатаев С.А., Григорян Л.Н., Кизилова Е.И.* Состояние и прогноз развития молочного козоводства в Российской Федерации // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 13–15.

7. Об утверждении отраслевой целевой программы «Развитие овцеводства и козоводства в России на 2012–2014 годы и на плановый период до 2020 года»: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 2 сентября 2011 г. № 294. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902300599> (дата обращения: 01.09.2023).

8. Об утверждении формы отчета о финансово-экономическом состоянии товаропроизводителей агропромышленного комплекса за 2021 год и срока его представления: Приказ Минсельхоза РФ от 13 июля 2021 г. № 465. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=394031#b8eukpTmsjF3Y7Nv> (дата обращения: 01.09.2023).

9. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: Постановление Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902361843?marker=65A0IQ> (дата обращения: 01.09.2023).

10. Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года: Статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2022. – 420 с.

11. *Савинова М.А.* История шерстяной промышленности России: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2012. – 26 с.

12. *Селионова М.И.* Из истории российского овцеводства и его научного сопровождения: Монография. – М.: ФГБНУ ВНИИОК, 2017. – 238 с.

13. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство (поголовье сельскохозяйственных животных в Российской Федерации, продуктивность скота и птицы, индексы объемов производства основных продуктов животноводства в хозяйствах всех категорий): Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. – URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 01.09.2023).

14. Сельское хозяйство России: Статистический сборник / Госкомстат России. – М.: Госкомстат России, 2000. – 414 с.

15. *Трухачев В.И., Селионова М.И., Иванов Ю.Г. и др.* Промышленное молочное козоводство: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2023. – 208 с.

16. *Уколова А.В., Ульянов А.Е.* Статистический анализ результатов сельскохозяйственной переписи 2017 года по типам ферм США // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 1. – С. 109–118.

17. *Уколова А.В., Шайкина Е.В.* Эконометрика: Практикум. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. – 105 с.

18. *Юлдашбаев Ю.А., Морозов Н.М., Колосов Ю.А., Кузьмин В.Н., Кузьмина Т.Н., Свиначев И.Ю.* Инновационные технологии содержания мелкого рогатого скота: Аналитический обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 80 с.

19. *Chow Gregory C.* Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions // *Econometrica*. – 1960. – Vol. 28. № 3. – Pp. 591–605. <https://doi.org/10.2307/1910133>.

20. Census of agriculture 2017: United States Summary and State Data. Volume 1, Geographic Area Series, Part 51. Issued April 2019. – URL: https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Full_Report/Volume_1,_Chapter_1_US/usv1.pdf (дата обращения: 14.09.2023)

STATISTICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE STATE AND DEVELOPMENT OF SHEEP AND GOAT BREEDING IN PEASANT (FARMER) HOUSEHOLDS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. UKOLOVA, B.SH. DASHIEVA, V.S. TOKAREV,
A.S. NEVZOROV, D.E. KHRAMOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The article establishes a positive trend in the dynamics sheep and goat population in peasant (farmer) households from 1990 to 2022, in contrast to agricultural organizations and household farms, which led to structural shifts in farm categories. In 2000, the share of sheep and goats in peasant (farmer) households accounted for only 6% of the total livestock in all categories of farms, but by 2022, it reached 40%, with the total number of sheep and goats in the Russian Federation increasing from 15 to 21 million during this period.

The article presents a methodology for analyzing the state and development of sheep and goat farming in the Russian Federation, focusing on peasant (farmer) households. To analyze the dynamics of the sheep and goat population in peasant (farmer) households, sub-periods were identified and piecewise-linear functions were used to align the data. The highest slope (average annual absolute growth) was observed from 2000 to 2008, with an increase of 753 thousand head per year. From 2009 to 2016, it decreased to 468 thousand head per year, and the last period (2017–2022) is characterized by a declining trend, with an average annual decrease of 156 thousand head.

The proposed approach to factor-based analytical grouping based on sheep and goat population data from Form № 1-KFH, provided by peasant (farmer) households and individual entrepreneurs receiving subsidies from the federal budget or regional budgets of the Russian Federation.

The methodology was tested on a sample of almost three thousand households specializing in sheep and goat production. In contrast to publications on the data of All-Russian agricultural censuses and micro-censuses, the characterization of the identified groups is given by a system of performance indicators, as it is done in countries with developed economies in general and agriculture in particular. Based on the grouping, a positive correlation between the animal population and the overall production size and its efficiency was established, which can be used for developing targeted state support measures.

The developed methodology can be used to analyze and forecast the development of the sheep and goat farming industry, taking into account the characteristics of small businesses in agriculture.

Keywords: *statistical-economic analysis, grouping, peasant (farmer) household, sheep and goat population, sheep farming, goat farming, time series, wool production.*

References

1. Balakirev N.A., Feizullaev F.R., Goncharov V.D., Selina M.V. Status and prospects of sheep breeding development in Russia. *Agrarniy vestnik Verkhnevolzh'ya*. 2019;1(26):58–63. (In Russ.)

2. Bulletins on the state of agriculture (electronic versions) – information of 2022. (In Russ.) URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13277> (Access data: 01.09.2023)

3. *Zinchenko A.P.* Statistics: textbook for university students. M.: Rossiyskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2013:368. (In Russ.)

4. *Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A.* State, dynamics and trends in the development of sheep breeding in the world and in Russia. *Ovtsy, kozy, sherstyanoie delo.* 2019;3:3–6. (In Russ.)

5. *Kozlov K.A., Ukolova A.V.* Podhod k predstavleniyu dannyh specializirovannykh statisticheskikh nablyudenij po lichnym podsobnym hozyajstvam [Approach to the presentation of data from seacialized statistical observations on personal subsidiary farms. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii.* 2023;10:81–92. (In Russ.)

6. *Novopashina S.I., Sannikov M.Yu., Khatataev S.A., Grigoryan L.N., Kizilova E.I.* State and forecast of development of dairy goat breeding in the Russian Federation. *Ovtsy, kozy, sherstyanoie delo.* 2020;1:13–15. (In Russ.)

7. On the approval of the sectoral target program “Development of sheep and goat breeding in Russia for 2012–2014 and for the planning period until 2020”: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated September 2, 2011 No. 294. (In Russ.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/902300599> (Access data: 01.09.2023)

8. On the approval of the form of the report on the financial and economic condition of agricultural complex commodity producers for 2021 and the deadline for its submission: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated July 13, 2021 No. 465. (In Russ.) URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=394031#b8eukpTmsjF3Y7Nv> (Access data: 01.09.2023)

9. On the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Product, Raw Material and Food Markets: Resolution of the Government of the Russian Federation dated July 14, 2012 No. 717. (In Russ.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/902361843?marker=65A0IQ> (Access data: 01.09.2023).

10. Main results of the agricultural microcensus of 2021]: Statistical Collection. Federal State Statistics Service. M.: IITs “Statistika Rossii”, 2022:420. (In Russ.)

11. *Savinova M.A.* History of the wool industry in Russia. CSc (Econ) thesis: 08.00.01. Moscow, 2012:26. (In Russ.)

12. *Selionova M.I.* From the history of Russian sheep farming and its scientific support: monograph. M.: FGBNU VNIIOK, 2017:238. (In Russ.)

13. Agriculture, hunting and forestry (livestock in the Russian Federation, productivity of livestock and poultry, production volume indices of the main livestock products in farms of all categories): official website of the Federal State Statistics Service. (In Russ.) URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (Access data: 01.09.2023)

14. Agriculture of Russia: stat. digest. M.: Goskomstat Rossii, 2000:414. (In Russ.)

15. *Truhachev V.I., Selionova M.I., Ivanov Yu.G. et al.* Industrial dairy goat farming: textbook for higher education. Saint Petersburg: Lan', 2023:208. (In Russ.)

16. *Ukolova A.V., Uliankin A.E.* Statistical analysis of the results of the 2017 agricultural census by types of farms in the USA. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii.* 2023;1:109–118. (In Russ.)

17. *Ukolova A.V., Shaykina E.V.* Econometrics: practical course. M.: Rossiyskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2011:105. (In Russ.)

18. *Yuldashbaev Yu.A., Morozov N.M., Kolosov Yu.A., Kuz'min V.N., Kuz'mina T.N., Svinarev I.Yu.* Innovative technologies for the maintenance of small cattle: analytical review. M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020:80. (In Russ.)

19. Chow Gregory C. Tests of Equality between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica*. 1960;28(3):591–605. <https://doi.org/10.2307/1910133>

20. Census of Agriculture 2017: United States Summary and State Data. Volume 1, Geographic Area Series, Part 51. Issued April 2019. URL: https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Full_Report/Volume_1,_Chapter_1_US/usv1.pdf (Access data: 14.09.2023)

Уколова Анна Владимировна, доцент, и.о. заведующего кафедрой статистики и кибернетики, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: statmsha@rgau-msha.ru; тел.: +7 (499) 976–12–53

Дашиева Баярма Шагдаровна, доцент кафедры статистики и кибернетики, канд. экон. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dashieva.b.sh@rgau-msha.ru; тел.: +7 (499) 976–12–53

Токарев Виктор Сергеевич, ассистент кафедры статистики и кибернетики. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: victokarev@rgau-msha.ru; тел.: +7 (499) 976–12–53

Невзоров Александр Сергеевич, ассистент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a.nevzorov@rgau-msha.ru; тел.: +7 (499) 976–12–53

Храмов Дмитрий Эдуардович, ассистент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: khramovde@rgau-msha.ru; тел.: +7 (499) 976–12–53

Anna V. Ukolova, CSc (Econ), Associate Professor, Acting Head of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–12–53; E-mail: statmsha@rgau-msha.ru)

Bayarma Sh. Dashieva, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–12–53; E-mail: dashieva.b.sh@rgau-msha.ru)

Viktor S. Tokarev, Assistant of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–12–53; E-mail: victokarev@rgau-msha.ru)

Aleksandr S. Nevzorov, Assistant of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–12–53; E-mail: a.nevzorov@rgau-msha.ru)

Dmitriy E. Khramov, Assistant of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: +7 (499) 976–12–53; E-mail: khramovde@rgau-msha.ru)

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

<i>Занилов А.Х., Азнаева М.Р., Дударова Д.Г., Лешкенов А.М.</i> Динамика углеродного статуса почвы на ранней стадии роста растений ячменя под влиянием средств биоактивации почвы	5
---	---

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

<i>Вилунов С.Д., Сидоренко В.С., Степанова Н.А., Шапорова М.А.</i> Использование вегетационных индексов в селекции пшеницы и проса	18
<i>Вишнякова А.В., Гаус Г.Ю., Александрова А.А., Монахос Г.Ф., Монахос С.Г.</i> Комплексный подход ускоренной селекции F1-гибридов ярового рапса на основе ЦМС	35
<i>Гатаулина Г.Г., Шитикова А.В., Медведева Н.В.</i> Формирование плодов, семян и урожайность сортов люпина белого (<i>Lupinus albus</i> L.) с детерминантным типом роста.....	51
<i>Кабашов А.Д., Любимова А.В., Власенко Н.М., Колупаева А.С.</i> Генетическое разнообразие сортов и линий голозерного овса селекции ФИЦ «Немчиновка»	62
<i>Любимова А.В., Ерёмин Д.И., Фомина М.Н.</i> Анализ иммунореактивности авенинов сортов овса посевного (<i>Avena sativa</i> L.), возделываемых в Западной Сибири	75

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

<i>Маланкина Е.Л., Терехова В.И., Ткачёва Е.Н.</i> Повышение эффективности вегетативного размножения лекарственных культур в рассадной культуре.....	88
--	----

ЭКОНОМИКА

<i>Мустафина А.С., Бакин И.А.</i> Реализация принципов esg в бизнес-планировании инвестиционных проектов агропромышленного комплекса.....	101
<i>Самыгин Д.Ю., Иванов А.А.</i> Территориальное размещение и стратегическое развитие агропродовольственного сектора	115
<i>Сеитов С.К.</i> Инновационное развитие сельского хозяйства России: современное состояние и меры поддержки	134
<i>Уколова А.В., Дашиева Б.Ш., Токарев В.С., Невзоров А.С., Храмов Д.Э.</i> Статистико-экономический анализ состояния и развития овцеводства и козоводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах Российской Федерации	151

CONTENTS

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE AND ECOLOGY

<i>Zanilov A.Kh., Aznaeva M.R., Dudarova D.G., Leshkenov A.M.</i> Dynamics of soil carbon status at the early stage of barley plant growth under the influence of soil bioactivation agents.....	5
--	---

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, SELECTION AND SEED BREEDING

<i>Vilyunov S.D., Sidorenko V.S., Stepanova N.A., Shaporova M.A.</i> Use of vegetation indices in wheat and millet breeding	18
<i>Vishnyakova A.V., Gaus G.U., Aleksandrova A.A., Monakhos G.F., Monakhos S.G.</i> , Integrated approach for accelerated breeding of spring rapeseed F1-hybrids based on CMS	35
<i>Gataulina G.G., Medvedeva N.V., Shitikova A.V.</i> Formation of pods, seeds and yield of varieties of white lupin (<i>Lupinus albus</i> L.) with a determinant type of growth	51
<i>Kabashov A.D., Lyubimova A.V., Vlasenko N.M., Kolupaeva A.S.</i> Genetic diversity of varieties and lines of naked oats of the selection of FRC “Nemchinovka”	62
<i>Lyubimova A.V., Eremin D.I., Fomina M.N.</i> Analysis of the immunoreactivity of avenins in oats (<i>Avena sativa</i> L.) cultivated in Western Siberia.....	75

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

<i>Malankina E.L., Terekhova V.I., Tkacheva E.N.</i> Increasing the efficiency of vegetative propagation of medicinal crops in seedling culture.....	88
--	----

ECONOMY

<i>Mustafina A.S., Bakin I.A.</i> Implementation of esg principles in business planning of investment projects in the agribusiness sector	101
<i>Samygin D.Yu., Ivanov A.A.</i> Territorial location and strategic development of the agrifood sector	115
<i>Seitov S.K.</i> Innovative development of Russian agriculture: current state and supporting measures	134
<i>Ukolova A.V., Dashieva B.Sh., Tokarev V.S., Nevzorov A.S., Khramov D.E.</i> Statistical and economic analysis of the state and development of sheep and goat breeding in peasant (farmer) households of the Russian Federation.....	151

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

e-mail: izvtsha@rgau-msha.ru

тел.: (499) 976–07–48

Подписано в печать 23.10.2023 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная

Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 10,6 печ. л.

Тираж 500 экз.

Отпечатано в ООО «ЭйПиСиПублишинг»

127550, г. Москва, Дмитровское ш., д. 45, корп. 1, оф. 8

Тел.: (499) 976–51–84