

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
2025

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. Дубенюк**;
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 – **С.С. Макаров**

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

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2025

© Издательство РГАУ-МСХА, 2025

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
2025

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. Grikshas**, DSc (Ag);
Prof. **Zhivko Danailov**, DSc (Ag) (Bulgaria); Prof. **Fevzi S. Dzhililov**, 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 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 – **Sergey S. Makarov**

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 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

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

**Урожайность гороха в изменяющихся климатических условиях
Северного Приазовья**

**Эмма Анатольевна Гаевая[✉], Артём Владимирович Гринько,
Ольга Степановна Безуглова**

Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Ростовская обл., Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: emmaksay@inbox.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследования урожайности гороха в длительном опыте (1990–2024 гг.) в условиях меняющегося климата Ростовской области. Горох является одной из наиболее востребованных культур как в России, так и в Ростовской области, поэтому получение высоких урожаев – одна из основных задач сельскохозяйственного производства. Целью исследований являлось установление оптимального сочетания гидротермических факторов (температура, осадки), влияющих на урожайность сортов гороха в условиях Приазовской зоны Ростовской области. Проведен сравнительный анализ продуктивности гороха в различные по климатическим характеристикам вегетационного периода (засушливый и влажный) годы. Определены также колебания урожайности гороха (1,65–2,70 т/га) в зависимости от различных норм удобрений и климатических характеристик. В засушливый период урожайность гороха ниже на 8,3%, а во влажный период повышается на 11,0% от среднеемноголетних значений. Определены оптимальные значения температуры и количества осадков вегетационного периода для получения высоких урожаев гороха: 14,0–17,5°C и 200–00 мм соответственно. Во влажный вегетационный период отмечено снижение окупаемости удобрений на 15,3–22,8% по сравнению с засушливыми годами. Выявлен также оптимальный температурный режим (15,5–17,5°C) и количество осадков вегетационного периода 200–300 мм для получения наибольшей окупаемости удобрений прибавкой урожая 6,00–7,00 кг/кг при внесении повышенной нормы ($P_{80}K_{80}$). Применение удобрений в различной норме позволяет увеличить их эффективность и компенсировать неблагоприятное воздействие климатических условий.

Ключевые слова

Урожайность, горох, изменение климата, гидротермический коэффициент, удобрения, окупаемость удобрений, Ростовская область

Благодарности

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме FNFZ-2022–0003 «Разработать усовершенствованные эколого-адаптивные технологии возделывания новых сортов сельскохозяйственных культур в севооборотах различных конструкций Приазовской зоны Ростовской области».

Для цитирования

Гаевая Э.А., Гринько А.В., Безуглова О.С. Урожайность гороха в изменяющихся климатических условиях Северного Приазовья // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 5–19.

Pea yield under changing climatic conditions of the Northern Azov zone

Emma A. Gaevaya✉, Artem V. Grin'ko, Olga S. Bezuglova

Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rostov Region, Russia

✉Corresponding author: emmaksay@inbox.ru

Abstract

This article presents the results of a long-term field experiment (1990–2024) investigating pea yield under changing climatic conditions in the Rostov Region, Russia. Given the high demand for pea in both Russia and the Rostov Region, maximizing yield is a primary objective of agricultural production. The study aimed to determine the optimal combination of hydrothermal factors (temperature, precipitation) influencing the yield of pea varieties in the Azov zone of the Rostov Region. A comparative analysis was conducted to assess pea productivity during vegetation periods characterized by contrasting climatic conditions (drought vs. wet). The study also quantified yield fluctuations (1.65–2.70 t/ha) in relation to varying fertilizer application rates and climatic conditions. During drought periods, pea yield decreased by 8.3%, whereas during wet periods, it increased by 11.0% compared to long-term average values. Optimal temperature and precipitation ranges for maximizing pea yields were identified as 14.0–17.5°C and 200–300 mm, respectively. Fertilizer profitability was reduced by 15.3–22.8% during wet vegetation periods compared to drought years. An optimal temperature range of 15.5–17.5°C and precipitation of 200–300 mm during the vegetation period were also identified for maximizing fertilizer profitability, resulting in yield increases of 6.00–7.00 kg/kg with a higher application rate ($P_{80}K_{80}$). Application of varying fertilizer rates can enhance fertilizer efficiency and compensate for the adverse effects of climatic conditions.

Keywords

Yield, peas, climate change, hydrothermal coefficient, fertilizers, fertilizer profitability, Rostov Region

Acknowledgments

This research was conducted under a state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project number FNFZ-2022–0003 entitled “Develop Improved Ecologically-Adaptive Technologies for Cultivating New Varieties of Crops in Crop Rotations of Various Designs of the Azov Zone of the Rostov Region”.

For citation

Gaevaya E.A., Grinko A.V., Bezuglova O.S. Pea yield under changing climatic conditions of the Northern Azov zone. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 5–19.

Введение Introduction

Изменение климата в настоящее время является одной из проблем, требующей комплексного решения в земледелии, растениеводстве и селекции. Разрабатываемые технологии возделывания новых сортов гороха должны быть основаны на оптимальном использовании земельных ресурсов с применением точного земледелия и составлением краткосрочных и долгосрочных прогнозов климатических изменений. Поэтому селекционерам необходимо учитывать высокую вероятность изменения климата на десятки лет вперед и создавать высокоадаптивные, скороспелые сорта. Составление

долгосрочных прогнозов поможет повысить экономическую эффективность производства сельскохозяйственных культур и окупаемость затрат урожаем [1, 2]. Изменения климата могут быть направлены в любую сторону: как потепления, так и похолодания, поэтому нужно быть готовыми к развитию любых сценариев [3–6].

Горох является одной из наиболее востребованных культур и занимает примерно 80% всех посевных площадей зернобобовых культур в России, что составляет на 2022 г. 1 622 тыс. га. В первой половине 2022 г. поставки российского гороха на международные рынки составили 1,2 млн т, что в 2,2 раза больше, чем годом ранее. Вследствие более высокой урожайности новых сортов валовой сбор зерна гороха по сравнению с предшествующей пятилеткой (2015–2021 гг.) вырос почти в 1,4 раза и составил в 2022 г. 3,6 млн т [7].

Получение высоких, устойчивых урожаев гороха, – актуальная задача, поставленная перед сельскохозяйственным производством. Однако отмечаемое в последние десятилетия для Ростовской области [8] усиление аридности климата и повышение температуры воздуха в летние месяцы до +40°C создают неблагоприятные условия для выращивания гороха; в зоне недостаточного увлажнения он становится низкорентабельным. При этом происходит существенное потепление холодного периода года и нарастание аридности в теплый период [9, 10]. В таких условиях вегетационный период развития гороха удлиняется [11–14]. При этом наблюдается отрицательная корреляция урожайности с суммой температур, и положительная – с количеством осадков [15–17].

Уменьшение количества осадков в период созревания урожая и более высокий дефицит их в определенных стадиях вегетации приводят к снижению урожайности [18–20]. В Ростовской области годовое количество осадков меняется в широких пределах: от 391 до 594 мм, или на 77–117% от нормы [21, 22]. В будущем нельзя исключать учащение дефицита атмосферной влаги, приводящего к засухе, и для смягчения последствий потребуются разработка эффективных мер [23]. Изменение сроков посева в сторону ранних позволит повысить урожайность. Применение минеральных удобрений позволит сгладить стресс растений и отрицательный эффект от засухи [24, 25].

Цель исследований: установление оптимального сочетания гидротермических факторов (температура, осадки), влияющих на урожайность сортов гороха в условиях Приазовской зоны Ростовской области.

Методика исследований

Research method

Исследования были проведены в длительном многофакторном опыте, расположенном на склоне балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области, в 1990–2024 гг. Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке. Мощность $A_{\text{пах}}$ – 25–30 см, $A+B$ – от 40 до 60 см в зависимости от смывости. Горизонт А имеет зернистую структуру, АВ – орехово-комковатую и зернисто-комковатую.

Климат зоны проведения исследований – засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Относительная влажность воздуха имеет ярко выраженный годовой ход. Наименьшие ее значения отмечаются в июле (50–60%), минимальные в отдельные дни могут составлять 25–30% и ниже. Среднее многолетнее количество осадков – 492 мм, распределение их в агрономической оценке часто малоблагоприятное. За весенне-летний период выпадает 260–300 мм осадков. Накопление влаги в почве начинается в основном в конце октября–ноябре, и максимальный ее запас отмечается ранней весной (с середины марта до начала апреля). Среднегодовая температура

составляла 8,8°C; средняя температура января – –6,6°C, июля – +23°C; минимальная температура зимой составила 41°C, максимальная летом – до +40°C. Безморозный период составляет 175–180 дней. Сумма активных температур – 3210–3400°C. Частые явления – суховеи, случаются пыльные бури различной интенсивности [26, 27].

Высевали сорта гороха селекции Донского НИИСХ (ныне Федеральный Ростовский аграрный научный центр): Аксайский усатый 5, Аксайский усатый 7, Аксайский усатый 10, Аксайский усатый 55, Приазовский, Премьер, Сотник, Амулет, Альянс, Атаман, Кадет, Донец [28]. Урожайность гороха изучали в севообороте, развернутом в пространстве и во времени, в 3-кратной повторности. Предшественником являлся яровой ячмень. Делянки были размещены рендомизированно. Применяли три уровня минерального питания растений: «0» – естественное плодородие; «1» – $P_{60}K_{60}$; «2» – $P_{80}K_{80}$, а также две системы основной обработки почвы – чизельную и отвальную. Посев гороха проводили в максимально ранние сроки, начиная со второй декады марта – первой декады апреля при наступлении физической спелости почвы. Vegetационный период высеваемых сортов гороха составлял 70–75 дней. Уборку гороха начинали с конца июня – начала июля.

Математическую обработку полученных результатов производили с использованием Microsoft Office Excel и программы StatSoft Statistica v.13.3.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Неустойчивая урожайность яровых культур объясняется прежде всего значительным колебанием выпадающих за вегетационный период осадков. Одним из показателей, позволяющих оценить погодные условия как всего года в целом, так и периода вегетации культуры, является гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), показывающий отношение атмосферных осадков к сумме среднесуточных температур воздуха выше +10°C [26]. При нормальном распределении осадков и среднесесячных температур ГТК вегетационного периода гороха составлял 1,11. В наших исследованиях этот показатель значительно колебался в разные годы исследований в зависимости от складывающихся метеорологических условий. Поэтому для выявления влияния на урожайность гороха погодных условий весь исследуемый период наблюдений по годам мы подразделили на две группы: засушливый и влажный вегетационный период. За основу был выбран показатель ГТК = 1,11 при нормальном распределении показателей температуры и осадков. К засушливому вегетационному периоду были отнесены группы лет с ГТК < 1,11, а к влажному – с ГТК > 1,11.

Из 35 лет наблюдений большая половина являлась засушливой (20 лет, или 57%), а оставшаяся часть – это влажный вегетационный период (15 лет, или 43%). Такое неравномерное распределение периодов вегетации гороха подтверждает нарастающую аридизацию климата [10–13]. При нормальном распределении количество осадков за вегетационный период с апреля по июнь увеличивается от 36 мм до 61 мм, а среднесуточные температуры нарастают помесечно от 9,0 до 20,1°C. В засушливый вегетационный период количество осадков уменьшается на 11–41%, а температура, наоборот, увеличивается на 7–31%. Влажный вегетационный период характеризуется ростом выпадающего за месяц количества осадков, от 25 до 85% больше нормы при незначительном отклонении среднесесячных температур. Такие колебания погодных условий влияют на ГТК, который изменяется от 0,64 в засушливый период до 1,44 во влажный при норме 1,11 (табл. 1).

Нарастание среднесуточных температур и уменьшение количества осадков с конца прошлого века особенно четко прослеживаются на диаграмме (рис. 1).

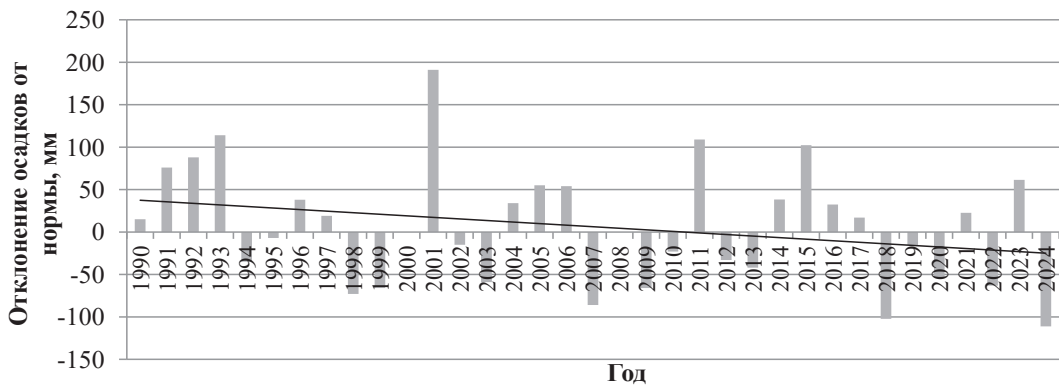
Характеристика гидротермических показателей вегетационного периода гороха

Table 1

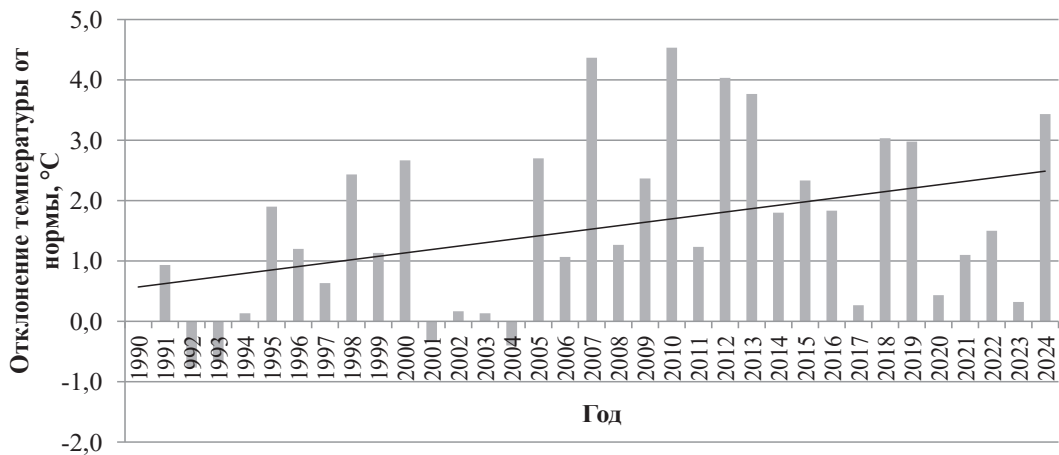
Characteristics of hydrothermal parameters of the pea growing season

Градация вегетационного периода	Количество лет	Сумма осадков, мм				Средняя температура, °С				ГТК
		Апрель	Май	Июнь	Сумма	Апрель	Май	Июнь	Среднее	
Норма*	—	36	43	61	140	9,0	16,4	20,1	15,2	1,11
Среднегодовое	35	41	52	53	146	11,2	17,2	21,8	16,7	0,99
Засушливый	20	32	31	36	100	11,8	17,6	22,6	17,3	0,64
Влажный	15	53	80	76	208	10,4	16,8	20,8	16,0	1,44

*Селянинов Г.Т. [25]



а



б

Рис. 1. Отклонение от нормы суммы осадков (а) и средней температуры (б) вегетационного периода гороха

Figure 1. Deviation from the norm of precipitation (a) and average temperature (b) of the peas growing season

Если в начале 1990-х гг. количество осадков за вегетационный период гороха было в среднем больше нормы на 50 мм (на 35%), то к концу изучаемого периода отклонение от нормы составило 69 мм (на 49% в сторону уменьшения). Об этом свидетельствует линия тренда, подтверждающая уменьшение количества осадков, выпадающего за вегетационный период гороха.

При изменении количества осадков меняется и температурный режим вегетационного периода гороха в сторону увеличения средней температуры вегетационного периода на 1,6°C (на 10%).

Изменения гидротермических условий вегетационного периода гороха отразились на его валовом сборе. Урожайность гороха за годы исследований больше зависела от уровня плодородия почвы и влагообеспеченности года, чем от способа ее обработки. В варианте естественного плодородия почвы средняя урожайность составляла 1,65–1,68 т/га, применение удобрений средней нормой привело к повышению урожайности гороха на 29%, а повышенной – на 45% (табл. 2).

Гидротермические условия периода возделывания гороха значительно сказывались на его урожайности. В засушливый период урожайность гороха была меньше среднемноголетних значений на 8,3% с преимуществом при внесении повышенной нормы удобрений. Во влажный период, наоборот, урожайность превышала средние значения на 11,0%.

Таблица 2

Урожайность гороха в зависимости от гидротермических условий, уровня применения удобрений и способа обработки почвы, т/га

Table 2

Pea yield depending on hydrothermal conditions, fertilizer application level and tillage method, t/ha

Градации вегетационного периода	Способ обработки почвы	Уровень применения удобрений		
		P ₀ K ₀	P ₆₀ K ₆₀	P ₈₀ K ₈₀
Среднемноголетний	Отвальная	1,68±0,13	2,17±0,13	2,23±0,22
	Чизельная	1,65±0,12	2,13±0,14	2,26±0,21
Засушливый	Отвальная	1,64±0,19	2,02±0,20	2,23±0,22
	Чизельная	1,64±0,19	2,03±0,20	2,26±0,21
Влажный	Отвальная	1,74±0,18	2,38±0,21	2,70±0,21
	Чизельная	1,67±0,17	2,26±0,20	2,58±0,21

НСР₀₅ 0,14–0,31. В зависимости от уровня применения удобрений – 0,11–0,23, способа обработки почвы – 0,16–0,25 т/га.

Температурный режим, наоборот, оказывал отрицательное влияние на урожайность гороха, особенно в первые фазы развития, бутонизацию и цветение, приходящиеся на май ($r = -0,43 \dots -0,61$). В июне, когда завязывание бобов уже закончилось, температурный режим оказывал несколько меньшее влияние на урожайность ($r = -0,41 \dots -0,55$), чем в критические фазы развития гороха (табл. 3).

На урожайность гороха в большей степени оказывал влияние температурный режим как каждого месяца в отдельности, так и в среднем за вегетационный период, чем сумма осадков за этот же период. Горох, являясь влаголюбивой культурой, хорошо отзывается на показатель относительной влажности воздуха и содержание продуктивной влаги в почве, которые зависят от количества выпавших осадков. Поэтому на его урожайность в меньшей степени влияет сумма осадков ($r = 0,1 \dots 0,43$).

Таблица 3

**Корреляционные отношения урожайности гороха
и гидротермических показателей вегетационного периода гороха**

Table 3

Correlation of pea yields and hydrothermal parameters of the pea growing season

Уровень применения удобрений	Сумма осадков, мм				Средняя температура, °С				ГТК
	Апрель	Май	Июнь	Сумма	Апрель	Май	Июнь	Среднее	
Среднемноголетний									
Без удобрений	0,11	0,10	0,24	0,21	−0,24	−0,49	−0,47	−0,58	0,28
Средний	0,17	0,28	0,25	0,34	−0,32	−0,60	−0,52	−0,69	0,41
Повышенный	0,20	0,31	0,20	0,34	−0,28	−0,59	−0,54	−0,68	0,41
Засушливый									
Без удобрений	0,34	0,13	0,02	0,29	−0,18	−0,52	−0,52	−0,64	0,38
Средний	0,38	0,16	0,01	0,33	−0,20	−0,60	−0,54	−0,71	0,43
Повышенный	0,43	0,17	0,02	0,36	−0,20	−0,61	−0,55	−0,72	0,46
Влажный									
Без удобрений	−0,20	0,05	0,50	0,29	−0,43	−0,43	−0,49	−0,62	0,42
Средний	−0,22	0,27	0,32	0,31	−0,45	−0,57	−0,43	−0,68	0,45
Повышенный	−0,25	0,26	0,15	0,15	−0,26	−0,51	−0,41	−0,58	0,29

Оптимальными значениями для получения урожая гороха свыше 3,5 т/га являются среднесуточные температуры меньше +15,0°C и сумма осадков больше 200 мм за вегетационный период. При увеличении среднесуточной температуры до +18,0°C и выше отмечается снижение урожайности в засушливый период так же, как и во влажный период при увеличении осадков свыше 250 мм. Поэтому для получения высоких урожаев сроки сева необходимо смещать на более ранние. При наступлении физической спелости почвы в середине марта можно получить дружные всходы гороха, когда в почве достаточно влаги. Сорта селекции ФГБНУ ФРАНЦ способны переносить возвратные заморозки до –2...–3°C без потери урожая. В условиях меняющегося климата, при теплой зиме и раннем наступлении весны, можно проводить сев, начиная со второй декады марта.

Избыточное количество осадков, выпадающее за время вегетации гороха, отрицательно влияет на его урожайность. Это хорошо прослеживается на рисунке 2 (во влажные годы при выпадении осадков свыше 250 мм урожайность уменьшается).

Экономическими характеристиками возделывания гороха являются не только получение валового урожая, но и окупаемость удобрений прибавкой. Эффективность использования удобрений под культуру определяется соотношением прибавки урожая к дозе внесенных удобрений в действующем веществе на 1 га севооборотной площади.

Внесение удобрений средней нормой позволило получить прибавку урожая в размере 3,79–4,07 кг/кг д.в. на 1 кг внесенных удобрений за все годы исследований с преимуществом по отвальной обработке, а увеличение нормы внесения удобрений увеличило окупаемость до 4,66–4,70 кг/кг д.в., или на 15,3–17,3% (табл. 4).

Наибольшая окупаемость удобрений была отмечена при внесении повышенной нормы удобрений в засушливые годы и составляла 5,27 кг/кг по отвальной обработке. Применение чизельной обработки несколько снижало окупаемость удобрений урожаем – до 4,97 кг/кг. Увеличение нормы внесения удобрений позволило получить на 13,7–14,4% больше дополнительной продукции. Во влажный вегетационный период отдача от внесения удобрений средней нормой составила 3,97–4,07 кг/зерн. ед., что на 20,0–22,8% меньше, чем в засушливые годы, а при внесении повышенной нормы удобрений окупаемость уменьшалась на 15,3–17,4%. Столь значительная разница в прибавке урожая показывает высокую отдачу в вариантах без удобрений, и разница между удобренными и неудобренными фонами незначительная. В засушливые годы урожайность гороха ниже, чем в среднем за период исследований, но прибавка урожая и эффективность от внесенных удобрений выше. Применение удобрений различной нормой позволяет снизить неблагоприятное воздействие климатических условий и повысить эффективность удобрений.

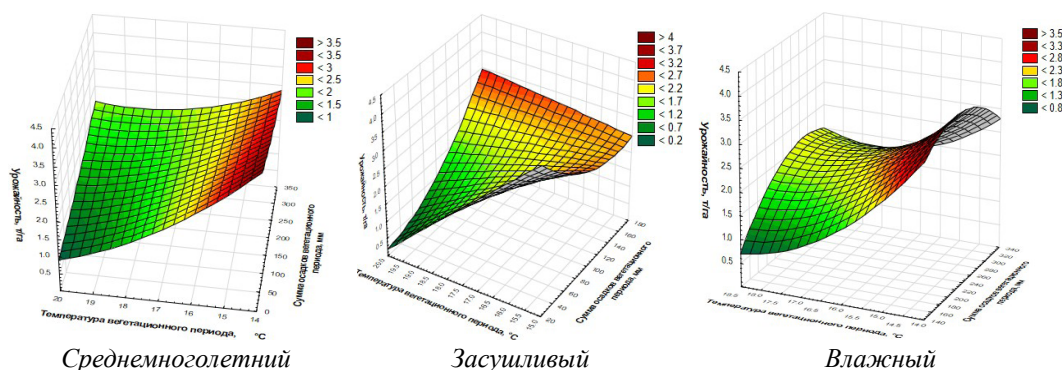


Рис. 2. Зависимость урожайности гороха от гидротермических показателей вегетационного периода

Figure 2. Dependence of pea yield on hydrothermal parameters of the pea growing season

**Эффективность удобрений под горох в зависимости
от уровня применения удобрений и способа обработки почвы, кг/кг д.в.**

Table 4

**Fertilizer efficiency for peas depending on the fertilizer application rate
and tillage method, kg/kg active ingredient**

Градация вегетационного периода	Способ обработки почвы	Уровень применения удобрений	
		1	2
Среднемноголетний	Отвальная	4,07	4,70
	Чизельная	3,97	4,66
Засушливый	Отвальная	5,27	6,00
	Чизельная	4,97	5,68
Влажный	Отвальная	4,07	4,70
	Чизельная	3,97	4,66

В среднем за период исследований при благоприятных условиях для развития гороха (температурный режим – 14,0–17,5°C, количество осадков – 200 мм) можно получить наивысшую окупаемость удобрений урожаем свыше 5,0–6,0 кг/кг при внесении средней нормы ($P_{60}K_{60}$). При этих же погодных условиях при увеличении нормы внесения удобрений до $P_{80}K_{80}$ окупаемость удобрений уменьшается до 4,5–5,0 кг/кг. Поэтому внесение повышенных норм удобрений не всегда является экономически эффективным (рис 3).

В засушливый период с увеличением количества осадков свыше 100 мм и снижением температурного режима до 15,5–17,5°C возможно увеличение окупаемости удобрений прибавкой урожая до 7,0–8,0 кг/кг при различных дозах внесения удобрений. Однако в последние десятилетия наблюдаются аридизация климата и рост среднесуточных температур, что отрицательно сказывается на урожайности горох и прибавке урожая [19].

Во влажные годы при внесении нормы удобрений $P_{60}K_{60}$ и количестве осадков от 200 до 300 мм окупаемость удобрений может увеличиться до 5,0–6,0 кг/кг, при этом температурный режим колеблется в пределах +15,0...+17,0°C. Увеличение нормы внесения удобрений в 1,5 раза позволяет увеличить валовый сбор зерна гороха, однако окупаемость удобрений при этих же условиях снижается до 4,0–5,0 кг/кг. Как избыточное количество осадков вегетационного периода (свыше 300 мм), так и высокие среднесуточные температуры (свыше 18,0°C) в условиях Ростовской области приводят к снижению урожайности гороха. Удобрения снижают стресс растений к неблагоприятным условиям, но их окупаемость ниже на 1,0–2,0 кг/кг, чем при внесении удобрений средней нормой.

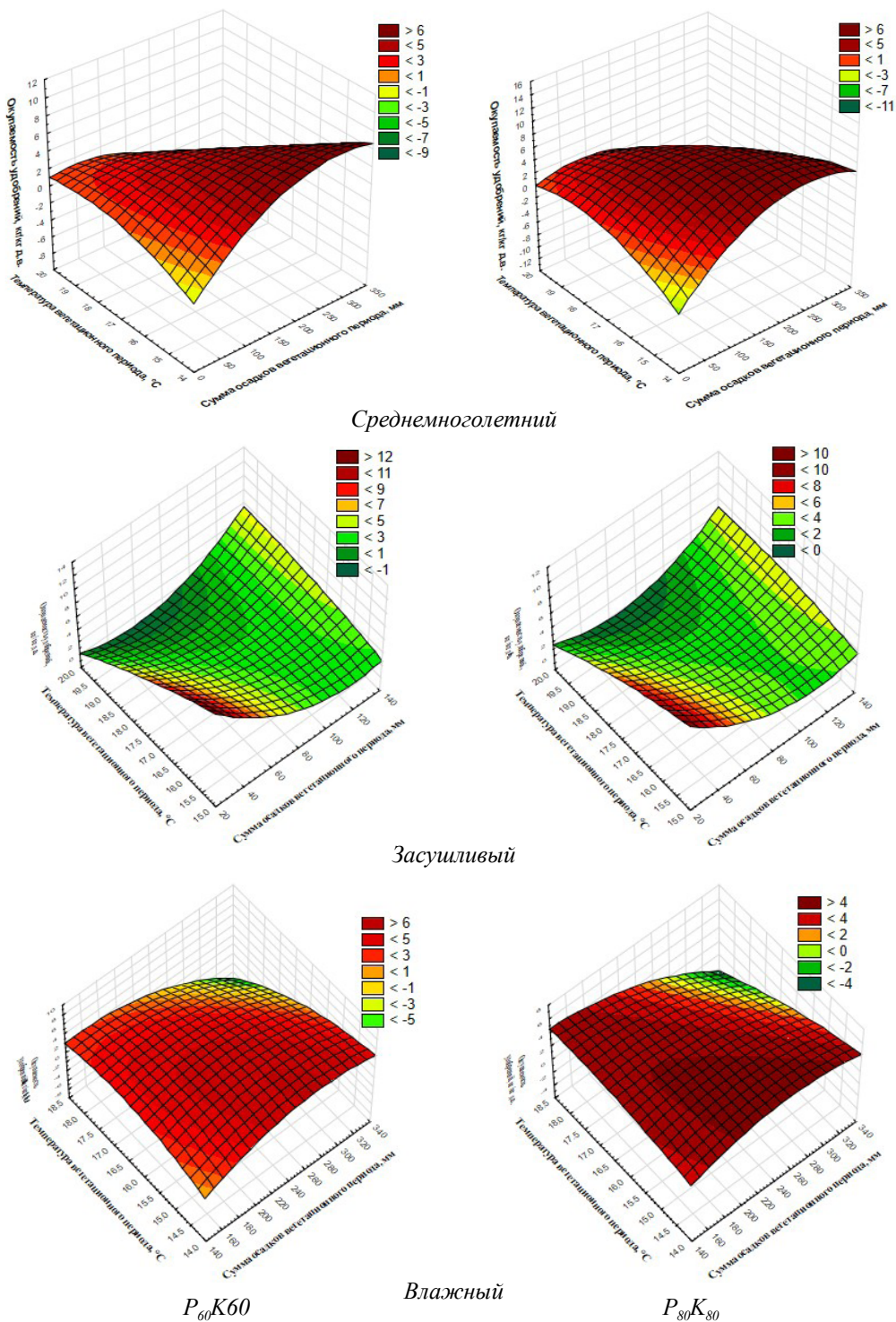


Рис. 3. Зависимость окупаемости удобрений урожаем гороха от гидротермических показателей вегетационного периода

Figure 3. Dependence of fertilizer profitability by pea yield on the hydrothermal parameters of the pea growing season

Выводы Conclusions

В условиях Северного Приазовья Ростовской области в последние десятилетия наблюдается увеличение температурного режима вегетационного периода гороха на 2...3°C при одновременном уменьшении количества осадков на 4...25 мм. Урожайность гороха колеблется от 2,13 т/га до 2,26 т/га при внесении различных норм удобрений. В засушливый период урожайность гороха была ниже на 8,3%, а во влажный период повышалась на 11,0% среднееголетних значений. Оптимальными значениями вегетационного периода для получения высоких урожаев являются среднесуточная температура меньше +14,0...+17,5°C и сумма осадков больше 200 мм. Наибольшая окупаемость удобрений прибавкой урожая была получена при внесении повышенной нормы ($P_{80}K_{80}$) и составляла 6,0–7,0 кг/кг д.в. при температурном режиме +15,5...+17,5°C и количестве осадков вегетационного периода 200–300 мм.

Список источников

1. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 2 (26). С. 4–9. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>
2. Павлова А.И. Оценка метеорологической засухи на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 5. С. 605–616. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616>
3. Черятова Ю.С., Джафарова А.Ф., Греско А.И. Проблема сохранения биоразнообразия в условиях изменения климата // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2023. № 7 (60). С. 29–32. EDN: UTXJJH
4. Ефимов В.М., Речкин Д.В., Гончаров Н.П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024. Т. 28, № 2. С. 155–165. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-18>
5. Черятова Ю.С., Зверева Е.Д. Угрозы биоразнообразию в условиях глобального изменения климата // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2024. № 4 (69). С. 62–65. EDN: VBKAVC
6. Черятова Ю.С., Руденко Н.А., Левшунова М.П. К проблеме мониторинга климатических факторов при выращивании растений // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2024. № 10 (75). С. 77–83. EDN: NKEDMA
7. *Сельское хозяйство в России. 2023*: Статистический сборник. Москва: Росстат, 2023. 103 с. URL: <https://centerapktver.ru/upload/iblock/788/bexm-l0i1due6hu7x3fz87f2p87p0lutt.pdf> (дата обращения: 03.03.2025)
8. Клименко А.И., Безуглова О.С., Гринько А.В. и др. *Почвы Ростовской области: плодородие, его деградация и восстановление в условиях антропогенного изменения климата*: Монография. Рассвет: Полиграф-Сервис, 2024. 232 с. <https://doi.org/10.69535/FRARC.2024.87.93.001>
9. Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А. Влияние приемов возделывания на урожайность и водопотребление гороха в условиях Ростовской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14, № 3. С. 211–227. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-211-227>
10. Горянин О.И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья // *Земледелие*. 2024. № 4. С. 19–24. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-4-19-24>

11. Бельшкшина М.Е. Влияние условий влагообеспеченности вегетационного периода на продуктивность сортов сои различного эколого-географического происхождения в условиях центрального Нечерноземья // *Природообустройство*. 2024. № 3. С. 21–30. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>
12. Метлина Г.В., Васильченко С.А., Ашиев А.Р., Кравченко Н.С. Влияние сроков посева и норм высева сортов зимующего гороха на содержание белка и выход питательных веществ // *Зерновое хозяйство России*. 2024. Т. 16, № 1. С. 97–103. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-90-1-97-103>
13. Пономарева С.В., Селехов В.В. Влияние погодных условий на урожай и качество сортов гороха // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017. № 1 (56). С. 20–27. EDN: XVRTXB
14. Пташник О.П. Влияние погодных условий на урожайность сортов гороха посевного в степном Крыму // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 72. С. 308–311. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-72-308-311>
15. Gudko V., Usatov A., Minkina T. et al. Dependence of the pea grain yield on climatic factors under semi-arid conditions // *Agronomy*. 2024;14(1):133. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010133>
16. Пислегина С.С., Четвертных С.С. Влияние погодных условий на продолжительность вегетационного периода и продуктивность гороха // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21, № 5. С. 521–530. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530>
17. Филатова И.А. Формирование элементов продуктивности гороха в зависимости от погодных условий вегетационного периода // *Земледелие*. 2018. № 6. С. 44–56. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10612>
18. Белолюбцев А.И., Дронова Е.А. Климат как важнейший естественноисторический фактор развития эрозии почв // *Природообустройство*. 2018. № 5. С. 75–82. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-5-75-82>
19. Теймуров С.А., Ибрагимов К.М., Казиев М.Р.А. Урожайность озимой пшеницы при прогнозировании климатических факторов в Республике Дагестан // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2024. № 110. С. 190–196. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-110-190-196>
20. Шарипова Р.Б. Оценка динамики запасов продуктивной влаги в почвах на полях Ульяновской области в региональных условиях изменения климата // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024. № 1 (65). С. 54–61. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-54-61>
21. Гаевая Э.А., Васильченко А.П. Урожайность гороха в зависимости от погодных условий Ростовской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30, № 2. С. 32–34. EDN: VPIDMZ
22. Сидаренко Д.П. Динамика основных климатических показателей и их влияние на характер эрозионных процессов в условиях центральной части Ростовской области // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Агрономия и животноводство»*. 2024. Т. 19, № 2. С. 269–280. <https://doi.org/10.22363/2312-797X2024-19-2-269-280>
23. Николаев М.В. Выявление уязвимых для дефицита влаги зернопроизводящих территорий на основе мезорайонирования зоны неустойчивого увлажнения при изменении климата в Европейской части России // *Сельскохозяйственная биология*. 2024. Т. 59, № 3. С. 473–491. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.3.473rus>
24. Арженевская Ю.Б., Кувшинова Е.К. Особенности применения биоорганических удобрений на безлисточковых сортах гороха

посевного // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 6. 75-89. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-75-89>

25. Постников П.А. Метеорологические условия и урожайность гороха в севооборотах // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32, № 10. С. 57–60. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11013>

26. Селянинов Г.Т. *Методика сельскохозяйственной характеристики климата: Мировой агроклиматический справочник*. Ленинград-Москва, 1977. 220 с.

27. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. *Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра*: Монография. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2006. 488 с. EDN: XBQEMX

28. *Сорта полевых культур*: Каталог. Ростов-на-Дону: Юг, 2024. 204 с. <https://doi.org/10.34924/FRARC.2024.46.88.001>

References

1. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Grydunova N.V. Development of the production of leguminous crops in the Russian Federation. *Legumes and Groat Crops*. 2018;(2(26)):4-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>

2. Pavlova A.I. Estimation of meteorological drought based on a Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(5):605-616. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616>

3. Cheryatova Yu.S., Jafarova A.F., Gresko A.I. The problem of conservation of biodiversity under the conditions of climate change. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2023;(7(60)):29-32. (In Russ.)

4. Efimov V.M., Rechkin D.V., Goncharov N.P. Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(2):155-165. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-18>

5. Cheryatova Yu.S., Zvereva E.D. Threats to biodiversity under global climate change. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2024;(4(69)):62-65. (In Russ.)

6. Cheryatova Yu.S., Rudenko N.A., Levshunova M.P. To the problem of monitoring climatic factors in plant growing. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2024;(10(75)):77-83. (In Russ.)

7. *Agriculture in Russia. 2023: a statistics digest*. Moscow, Russia: Rosstat, 2023:103. (In Russ.) URL: <https://centerapktver.ru/upload/iblock/788/bexm-l0i1due6hu7x3fz87f2p87p0lutt.pdf> (accessed: March 3, 2025).

8. Klimenko A.I., Bezuglova O.S., Grinko A.V. et al. *Soils of the Rostov Region: fertility, its degradation and restoration in the conditions of climate aridization: a monograph*. Rassvet, Russia: Poligraf-Servis, 2024:232. (In Russ.) <https://doi.org/10.69535/FRARC.2024.87.93.001>

9. Voshedskiy N.N., Kulygin V.A. The influence of cultivation methods on the yield and water consumption of peas in Rostov Region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):211-227. (In Russ.) <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-211-227>

10. Goryanin O.I. The influence of climate and weather conditions on the yield of grain crops in the arid conditions of the Volga region. *Zemledelie*. 2024;(4):19-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-4-19-24>

11. Belyshkina M.E. The influence of moisture availability conditions of the growing season on the productivity of soybean varieties of various ecological and geographical origin in the conditions of the Central Non-Chernozem region. *Prirodoobustrojstvo*. 2024;(3):21-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-21-30>

12. Metlina G.V., Vasilchenko S.A., Ashiev A.R., Kravchenko N.S. The effect of sowing dates and sowing rates of wintering pea varieties on protein percentage and yield of nutrients. *Grain Economy of Russia*. 2024;16(1):97-103. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-90-1-97-103>
13. Ponomareva S.V., Selekho V.V. The yield and the quality of pea cultivars depending on weather conditions. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(1(56)):20-27. (In Russ.)
14. Ptashnik O.P. Influence of weather conditions on the yield of *pisum sativum* in the steppe Crimea. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(72):308-311. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-72-308-311>
15. Gudko V., Usatov A., Minkina T., Duplii N. et al. Dependence of the pea grain yield on climatic factors under semi-arid conditions. *Agronomy*. 2024;14(1):133. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010133>
16. Pislegina S.S., Chetvertnykh S.A. Influence of weather conditions on the duration of the growth season and yield of peas. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(5):521-530. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530>
17. Filatova I.A. Formation of productivity elements of pea depending on weather conditions of the vegetation period. *Zemledelie*. 2018;(6):44-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10612>
18. Belolyubtsev A.I., Dronova E.A. Climate as the most important naturally historical factor of earth erosion development. *Prirodoobustrojstvo*. 2018;(5):75-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-5-75-82>
19. Teymurov S.A., Ibragimov K.M., Kaziyeu M.R.A. The yield of winter wheat in forecasting climatic factors in the Republic of Dagestan. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024;(110):190-196. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-110-190-196>
20. Sharipova R.B. Assessment of the dynamics of productive moisture reserves in soils in the fields of Ulyanovsk Region under regional climate change conditions. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024;(1(65)):54-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-54-61>
21. Gaevaya E.A., Vasilchenko A.P. Pea productivity depending on weather conditions of Rostov Region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2016;30(2):32-34. (In Russ.)
22. Sidarenko D.P. Dynamics of main climatic indicators and their influence on erosion processes in central part of Rostov Region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):269-280. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2312-797X2024-19-2-269-280>
23. Nikolaev M.V. Identification of grain-producing areas vulnerable to moisture deficiency under climate change based on meso-zoning of the dry farming cropland in European Russia. *Agricultural Biology*. 2024;59(3):473-491. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.3.473rus>
24. Arzhenovskaya Yu.B., Kuvshinova E.K. Peculiarities of using bioorganic fertilizers on leafless pea varieties. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;(6):75-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-75-89>
25. Postnikov P.A. Meteorological conditions and pea productivity in crop rotations. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018;32(10):57-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11013>
26. Selyaninov G.T. *Methodology of agricultural climate characteristics. World agro-climatic reference book*. Leningrad-Moscow, USSR, 1977:220. (In Russ.)

27. Panov V.D., Lurie P.M., Larionov Yu.A. *Climate of the Rostov Region: yesterday, today, tomorrow*: a monograph. Rostov-on-Don, Russia: Donskoy izdatel'skiy dom, 2006:488. (In Russ.)

28. *Varieties of field crops*: a catalog. Rostov-on-Don, Russia: Yug, 2024:204. <https://doi.org/10.34924/FRARC.2024.46.88.001>

Сведения об авторах

Эмма Анатольевна Гаевая, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории адаптивно-ландшафтного земледелия и защиты почв от эрозии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»; 346735, Российская Федерация, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1; e-mail: emmaksay@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9279-1070>

Артём Владимирович Гринько, канд. с.-х. наук, заведующий отделом биологического земледелия и защиты растений, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»; 346735, Российская Федерация, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1; e-mail: grinko82@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3075-9096>

Ольга Степановна Безуглова, д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела биологического земледелия и защиты растений, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»; 346735, Российская Федерация, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1; e-mail: lola314@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

Information about the authors

Emma A. Gaevaia, CSc (Bio), Leading Research Associate at the Laboratory of Adaptive Landscape Agriculture and Soil Erosion Protection, Federal Rostov Agricultural Research Centre; 1 Institutskaya St., Rassvet, Aksay District, Rostov Region, 346735, Russian Federation; e-mail: emmaksay@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9279-1070>

Artem V. Grinko, CSc (Ag), Head of the Department of Biological Agriculture and Plant Protection, Federal Rostov Agricultural Research Centre; 1 Institutskaya St., Rassvet, Aksay District, Rostov Region, 346735, Russian Federation; e-mail: grinko82@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3075-9096>

Olga S. Bezuglova, DSc (Bio), Professor, Chief Research Associate at the Department of Biological Agriculture and Plant Protection, Federal Rostov Agricultural Research Centre; 1 Institutskaya St., Rassvet, Aksay District, Rostov Region, 346735, Russian Federation; e-mail: lola314@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Особенности роста и развития плодов бузины красной (*Sambucus racemosa* L.)
в условиях Московского региона**

**Екатерина Владимировна Соломонова^{1✉}, Николай Александрович Трусов²,
Ольга Николаевна Тюкавина^{3,4}**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

³Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск, Россия

⁴Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: solomonova@rgau-msha.ru

Аннотация

Изучение растений, произрастающих в России в природе или культуре и имеющих высокий биоресурсный потенциал использования возобновляемого сырья, является весьма важным. Плоды бузины красной (*Sambucus racemosa* L.), произрастающей в Европе как элемент подлеска, накапливают жирное масло и используются в традиционной косметологии и медицине. Целью работы является исследование развития плода бузины красной. Плоды были собраны в Ботаническом саду имени С.И. Ростовцева (г. Москва) в 2021–2022 гг. Были изучены морфологические, морфометрические и весовые характеристики развивающегося плода, установлены сроки прохождения фаз и описана динамика развития. Плод бузины красной развивается по двойной сигмоидной прямой. Задержка роста и увеличения массы плода наблюдается с середины июня по начало третьей декады июня. Развитие плода происходит в течение 8 недель, с третьей декады мая по вторую декаду июля. Рост плода продолжается в течение 6 недель, до начала июля. Созревает плод в течение 2 недель. Длина плода увеличивается от $3,633 \pm 0,008$ до $4,646 \pm 0,014$ мм, ширина – от $2,752 \pm 0,141$ до $4,757 \pm 0,244$ мм, толщина – от $2,463 \pm 0,127$ до $4,471 \pm 0,230$ мм, масса плода – от $9,145 \pm 0,472$ до $62,340 \pm 3,245$ мг. Динамика роста плода в длину, ширину и толщину схожа. После задержки роста плода его ширина и толщина увеличиваются с большей скоростью, чем длина. Полученные данные по динамике роста и развития плода бузины красной схожи с таковыми для бузины сибирской (*Sambucus sibirica* Nak.).

Ключевые слова

Бузина красная, плод, ресурсный потенциал, рост, созревание, двойная сигмоидная кривая роста, морфометрические характеристики, масса

Благодарности

Исследования частично выполнены в рамках государственного задания ГБС РАН по теме «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», № 122042700002–6.

Для цитирования

Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Тюкавина О.Н. Особенности роста и развития плодов бузины красной (*Sambucus racemosa* L.) в условиях Московского региона // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 20–33.

Features of red-berried elder (*Sambucus racemosa* L.) fruit growth and development in the Moscow Region, Russia

Ekaterina V. Solomonova^{1✉}, Nikolay A. Trusov², Olga N. Tyukavina^{3,4}

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

²Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia

⁴Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

✉Corresponding author: solomonova@rgau-msha.ru

Abstract

The investigation of plants with high bioresource potential from renewable sources, whether native or cultivated in Russia, is of significant importance. *Sambucus racemosa* L., a European understory species, accumulates fatty oils and is traditionally used in cosmetics and medicine. This study investigated the fruit development of red-berried elder, using fruits collected from the S.I. Rostovtsev Botanical Garden (Moscow) during 2021–2022. Morphological, morphometric, and weight characteristics of developing fruits were analyzed to determine the duration of developmental phases and describe growth dynamics. Fruit development followed a double sigmoid growth curve. A growth and weight increase lag was observed from mid-June to the beginning of the third decade of June. The entire fruit development process spanned eight weeks, from the third decade of May to the second decade of July, with growth continuing for six weeks until early July and ripening occurring over two weeks. Fruit length increased from 3.633 ± 0.008 mm to 4.646 ± 0.014 mm, width from 2.752 ± 0.141 mm to 4.757 ± 0.244 mm, thickness from 2.463 ± 0.127 mm to 4.471 ± 0.230 mm, and weight from 9.145 ± 0.472 mg to 62.340 ± 3.245 mg. Growth dynamics in length, width, and thickness exhibited similar patterns. Following the growth lag, width and thickness increased at a faster rate than length. The obtained data on the growth and development dynamics of red-berried elder fruits are comparable to those reported for *Sambucus sibirica* Nak.

Keywords

Red-berried elder, fruit, resource potential, growth, maturation, double sigmoid growth curve, morphometric characteristics, weight

Acknowledgments

This research was partly conducted under a state assignment of Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, project number 122042700002–6 entitled “Biological Diversity of Natural and Cultivated Flora: Fundamental and Applied Aspects of Study and Conservation”.

For citation

Solomonova E.V., Trusov N.A., Tyukavina O.N. Features of red-berried elder (*Sambucus racemosa* L.) fruit growth and development in the Moscow region, Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 20–33.

Введение Introduction

В рамках продолжающихся многолетних исследований традиционно используемых и экзотических растений, произрастающих в России, для поиска новых

интересных источников отечественного растительного возобновляемого пищевого и лекарственного сырья нами и нашими коллегами протестированы плоды многих видов растений как источники масел и биологически активных веществ [9–11, 16–18, 20–22, 24, 35].

Бузина красная (*Sambucus racemosa* L.) – сильно ветвистый листопадный кустарник до 1,5 (иногда 3) м высотой, реже – дерево до 5 (10) м, из семейства Калиновые (*Viburnaceae* Raf.), произрастающий в Европе, в основном как элемент подлеска. Плоды – пиренарии, шаровидные, блестящие, красные или багряно-красные, до 5 мм в диаметре, созревающие, в зависимости от региона, в июле-августе [1, 2, 4, 6, 8, 25, 31, 33].

Плоды представителей рода Бузина (*Sambucus* L.) изучены весьма фрагментарно. Л.И. Созоновой [13, 14] для *Sambucus sibirica* Nak. дается подробное описание формирования анатомической структуры плода, динамика роста плода, увеличения его массы и накопления в нем сухого вещества и сырого жира. При этом морфологические особенности обсуждаются в меньшей степени. Вместе с тем и у плодов бузины красной есть большой ресурсный потенциал. Ее плоды традиционно используют для мытья рук и смягчения кожи, околоплодники содержат жирное масло [1, 25, 31, 33]. Плоды применяют в народной медицине как средство при желудочных заболеваниях [32].

Известно, что рост плодов растений может происходить по простой сигмоидной кривой (*Rutaceae* Lindl., *Persea americana* Mill., *Musa* L., *Malus domestica* Borkh., *Cucumis melo* L., *Lycopersicon* Tourn., *Litchi chinensis* Sonn., *Punica granatum* L. [4, 23, 27, 31, 34]) или по двойной сигмоидной кривой: *Prunoideae*, *Vitis vinifera* L., *Ficus carica* L., *Olea europaea* L., *Amelanchier alnifolia* Nutt [23, 26, 28, 30, 36]. Отмечается, что окраска плодов начинает меняться с прекращением их роста и наступлением созревания [3–5, 7, 12, 29, 30]. У большинства плодов накопление сырого и сухого вещества происходит по сигмоидной кривой [15, 28, 29, 34].

Однако требуется проведение дополнительных исследований в условиях различных районов испытаний с учетом глобальных климатических изменений.

Цель исследований: изучить особенности роста и развития плодов бузины красной в условиях Московского региона.

Методика исследований

Research method

Материалом исследований, проведенных в 2021–2022 гг., послужили развивающиеся плоды бузины красной (*Sambucus racemosa* L.), произрастающей на территории Ботанического сада имени С.И. Ростовцева на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва). В 2021 г. выполнены предварительные наблюдения с фотофиксацией созревающих плодов с середины мая по конец июля и детальное планирование эксперимента на следующий вегетационный период. Летом 2022 г. выполнено морфометрическое изучение роста и развития плодов с учетом данных фенологических наблюдений 2021 г. Плоды собирали в средней части южной стороны куста с недельным интервалом: начиная моментом отцветания и заканчивая началом опадения плодов. Измерение длины, ширины и толщины плода проводили штангенциркулем ШЦ-II-250–0,05 в 20 повторностях. Массу плода определяли на весах Pocket Scale ML-A03 в 20 повторностях.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Рост плодов бузины красной происходит по двойной сигмоидной кривой (рис. 1).

Первая фаза быстрого роста наблюдается с начала 3-й декады мая (длина – $3,633 \pm 0,008$ мм; ширина – $2,752 \pm 0,141$ мм; толщина – $2,463 \pm 0,127$ мм) до середины июня (длина – $4,283 \pm 0,008$ мм; ширина – $3,381 \pm 0,174$ мм; толщина – $3,120 \pm 0,161$ мм). Затем на неделю рост замедляется, и с начала 3-й декады июня (длина – $4,035 \pm 0,009$ мм; ширина – $3,225 \pm 0,166$ мм; толщина – $2,929 \pm 0,151$ мм) снова ускоряется до начала 2-й декады июля (длина – $4,686 \pm 0,012$ мм; ширина – $4,819 \pm 0,247$ мм; толщина – $4,296 \pm 0,222$ мм), после чего выходит на плато до созревания (конец 2-й декады июля: длина – $4,646 \pm 0,014$ мм; ширина – $4,757 \pm 0,244$ мм; толщина – $4,471 \pm 0,230$ мм). Ширина и толщина плодов на всем протяжении развития варьируют существенно ($C_v > 20\%$), при этом и показатель точности опыта (Р) слегка превышает 5% (табл. 1).

В то же время динамика изменения ширины и толщины плода имеет одинаковы тенденции с изменением длины плода, в связи с чем общие тенденции роста плода могут быть признаны верными. Но в начале второй фазы быстрого роста скорости возрастания ширины и толщины плода превосходят таковую для его длины. Схожие характеристики развития плода описывает и Л.И. Созонова для бузины сибирской [14] (рис. 2).

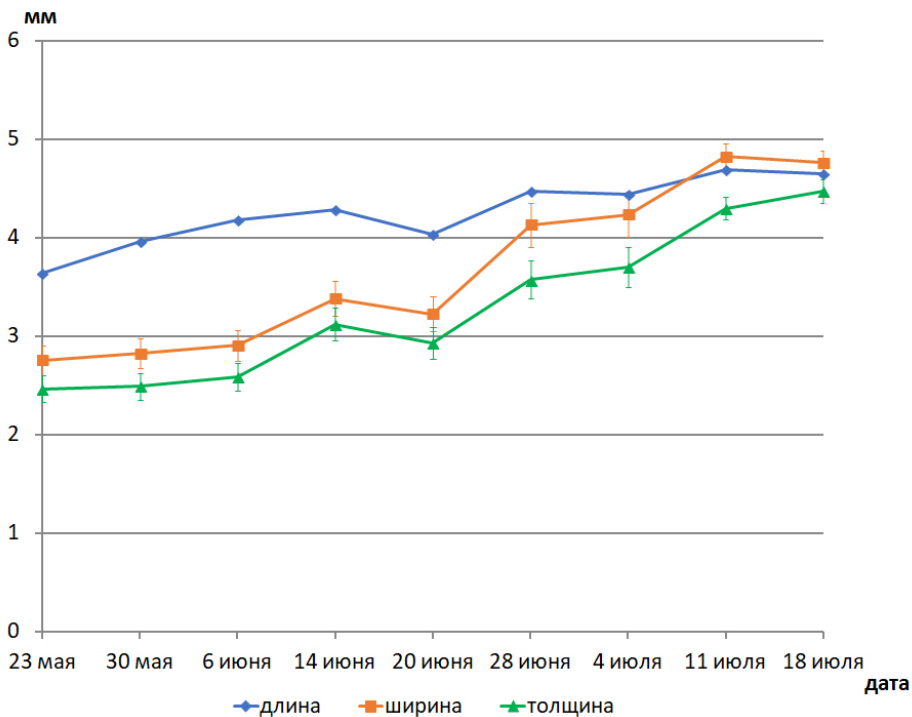


Рис. 1. Динамика размерных показателей плода *Sambucus racemosa* (по данным авторов, 2022)

Figure 1. Dynamics of size parameters of *Sambucus racemosa* fruit [according to authors' data, 2022]

Динамика размерных показателей плодов *Sambucus racemosa*, мм

Table 1

Dynamics of size parameters of *Sambucus racemosa* fruit, mm

Дата	Длина				Ширина				Толщина			
	M±m _M	tm _M	C _v %	P, %	M±tm _M	tm _M	C _v %	P, %	M±tm _M	tm _M	C _v %	P, %
23.05.22	3,633±0,008	0,016	21,63	4,83	2,752±0,141	0,296	22,96	5,13	2,463±0,127	0,265	23,00	5,14
30.05.22	3,960±0,006	0,012	0,67	0,15	2,820±0,145	0,303	22,96	5,13	2,487±0,128	0,268	23,06	5,16
06.06.22	4,179±0,008	0,016	0,82	0,18	2,906±0,149	0,312	22,97	5,14	2,583±0,133	0,279	23,05	5,15
14.06.22	4,283±0,008	0,018	0,89	0,20	3,381±0,174	0,363	22,96	5,13	3,120±0,161	0,366	23,03	5,15
20.06.22	4,035±0,009	0,018	0,98	0,22	3,225±0,166	0,346	22,96	5,13	2,929±0,151	0,315	23,00	5,14
28.06.22	4,471±0,008	0,019	0,84	0,19	4,127±0,212	0,443	22,96	5,13	3,569±0,184	0,386	23,09	5,16
04.07.22	4,435±0,012	0,025	1,19	0,27	4,234±0,218	0,456	23,01	5,14	3,699±0,192	0,401	23,19	5,19
11.07.22	4,686±0,012	0,025	1,13	0,25	4,819±0,247	0,518	22,97	5,14	4,296±0,222	0,464	23,08	5,16
18.07.22	4,646±0,014	0,030	1,36	0,30	4,757±0,244	0,512	22,98	5,14	4,471±0,230	0,481	23,01	5,14

Примечание. M±m_M – средняя арифметическая и ее ошибка; tm_M – доверительный интервал; C_v – коэффициент вариации; P – показатель точности опыта для стандартного доверительного уровня 95% (точность опыта считается удовлетворительной при значениях показателя, не превышающих 5%).

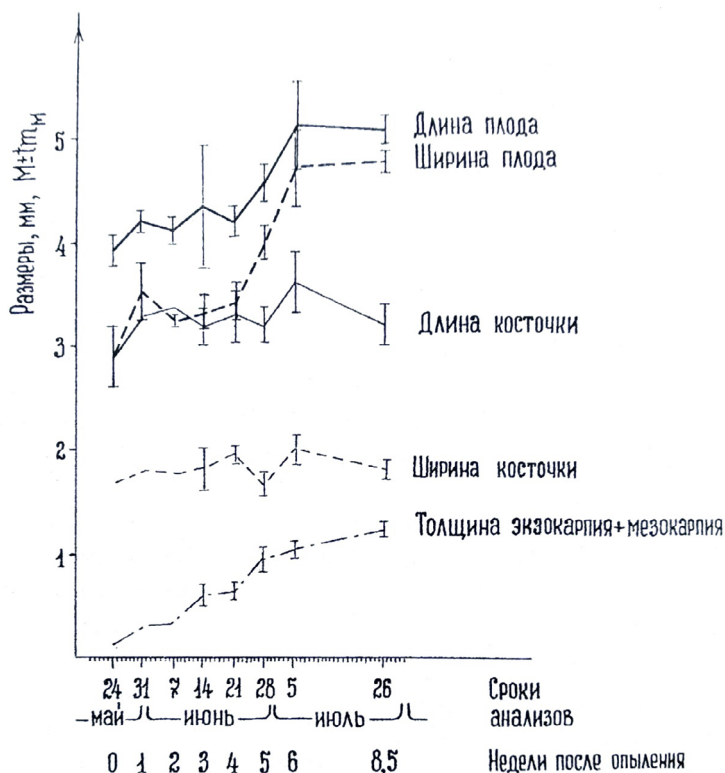


Рис. 2. Динамика размерных показателей плода и его частей *Sambucus sibirica* [13]

Figure 2. Dynamics of size parameters of *Sambucus sibirica* fruit and its parts [based on data from 13]

Изменение массы плода также происходит по двойной сигмоидной кривой (рис. 3).

Здесь изменения в динамике происходят в те же временные интервалы, как и у размеров плода. Первая фаза быстрого роста также приходится на начало 3-й декады мая – середину июня ($9,145 \pm 0,472 \rightarrow 19,515 \pm 1,016$ мг), затем, в течение недели, происходит задержка в накоплении веществ в плоде, масса плода сохраняется на том же уровне ($19,515 \pm 1,016 \rightarrow 20,005 \pm 1,283$ мм). С начала 3-й декады июня до начала 2-й декады июля наблюдается вторая фаза быстрого роста ($20,005 \pm 1,283 \rightarrow 60,095 \pm 3,121$ мм), а за неделю до созревания плодов увеличение массы замедляется ($60,095 \pm 3,121 \rightarrow 62,340 \pm 3,245$ мм). При этом на протяжении всего роста плода вариабельность массы плодов значительна ($C_v > 20\%$), а показатель точности опыта слегка превышает 5% (табл. 2).

Такую динамику увеличения массы плода бузины Л.И. Созонова [14] объясняет тем, что перед второй фазой быстрого роста обособляются косточки плода и питательные вещества поступают в околоплодник, с чем мы склонны согласиться. В то же время в исследованиях Л.И. Созоновой задержка в увеличении массы плода по сравнению с нашими данными не выражена – наблюдается лишь небольшое снижение скорости, а не выход на плато (рис. 4).

В накоплении массы у плода бузины сибирской двойная сигмоидная кривая не вырисовывается в отличие от наших данных.

После отцветания (начало 3-й декады мая) завязь имеет эллипсоидальную форму, но уже к концу мая развивающийся плод становится яйцевидным (рис. 5).

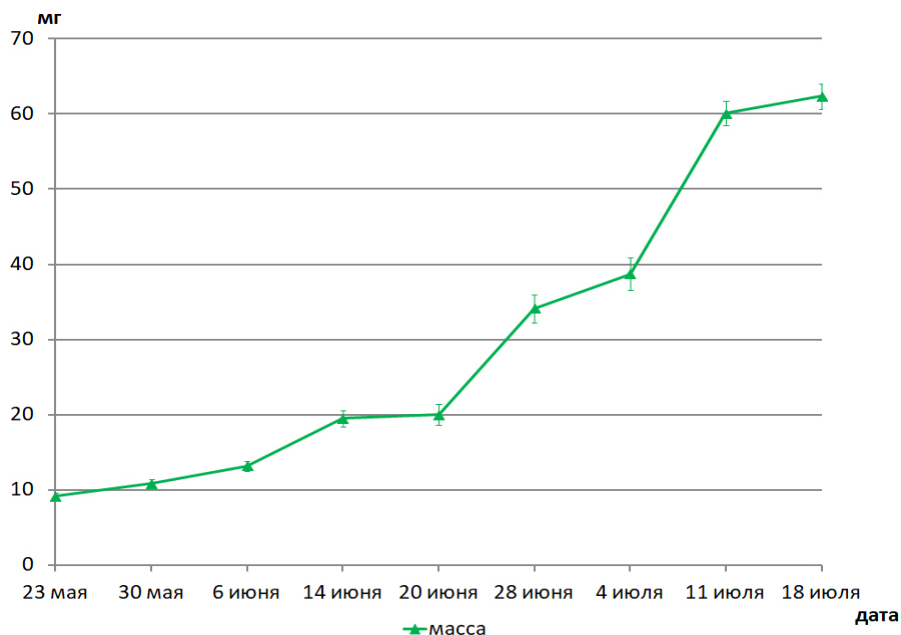


Рис. 3. Динамика весовых показателей плода *Sambucus racemosa* (по данным авторов, 2022)

Figure 3. Dynamics of weight parameters of *Sambucus racemosa* fruit [authors' data, 2022]

Таблица 2

Динамика массы плодов *Sambucus racemosa*, мг

Table 2

Dynamics of weight parameters of *Sambucus racemosa* fruit, mm

Дата	$M \pm m_M$	tm_M	$C_v, \%$	$P, \%$
23.05.2022 г.	9,145±0,472	0,987	23,07	5,16
30.05.2022 г.	10,820±0,558	1,167	23,05	5,15
06.06.2022 г.	13,160±0,679	1,420	23,06	5,16
14.06.2022 г.	19,515±1,016	2,127	23,29	5,21
20.06.2022 г.	20,005±1,283	2,685	28,67	6,41
28.06.2022 г.	34,135±1,763	3,690	23,10	5,17
04.07.2022 г.	38,715±2,037	4,264	23,54	5,26
11.07.2022 г.	60,095±3,121	6,532	23,23	5,19
18.07.2022 г.	62,340±3,245	6,792	23,28	5,21

Примечание. $M \pm m_M$ – средняя арифметическая и ее ошибка; tm_M – доверительный интервал; C_v – коэффициент вариации; P – показатель точности опыта для стандартного доверительного уровня 95% (точность опыта считается удовлетворительной при значениях показателя, не превышающих 5%).

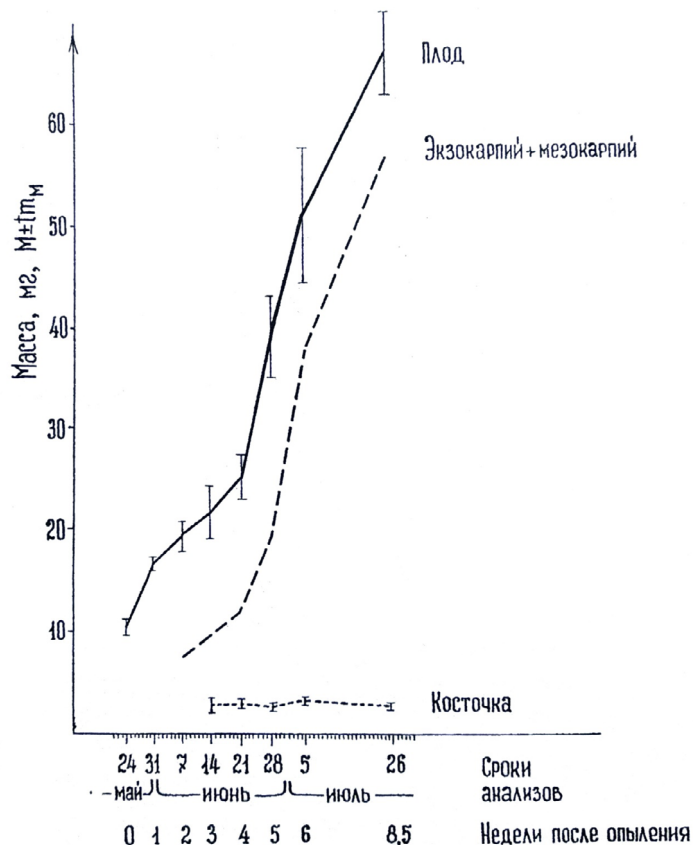


Рис. 4. Динамика весовых показателей плода и его частей у *Sambucus sibirica* [14]

Figure 4. Dynamics of weight parameters of *Sambucus sibirica* fruit and its parts [based on data from 14]



Рис. 5. Изменение формы и окраски плода *Sambucus racemosa* в процессе развития. Масштабная линейка – 1 мм (по данным авторов, 2021–2022)

Figure 5. Changes in shape and color of *Sambucus racemosa* fruit during development. Scale bar = 1 mm [authors' data, 2021–2022]

Такая форма плода сохраняется до 3-й декады июня, на которую как раз и приходится более быстрый рост плода в ширину и толщину. К концу июня плод приобретает шаровидную форму, характерную и для зрелого плода. В начале роста плод имеет светло-зеленую окраску, но уже к середине 1-й декады июня она становится насыщенно зеленой. В первой половине июля плод меняет окраску на тускло-темно-желтоватую,

а к началу 2-й декады июля становится ярко-красным, как и зрелый плод. Развитие плода занимает 8 недель. Фаза роста плода начинается в 3-й декаде мая и заканчивается в начале июля, продолжительность ее составляет 6 недель (75% от общего времени развития плода). Фаза созревания плода начинается в начале июля и продолжается в течение 2 недель до середины июля – конца 2-й декады июля (25% от общего времени развития плода). На такие же сроки развития плодов бузины сибирской указывает Л.И. Созонова [13].

Выводы Conclusions

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Плод бузины красной развивается по двойной сигмоидной прямой. Задержка роста плода наблюдается с середины июня по начало третьей декады июня.
2. Развитие плода занимает 8 недель, с 3-й декады мая по 2-ю декаду июля. При этом рост плода происходит в течение 6 недель, а созревание – в течение 2 недель.
3. Из эллипсоидальной завязи развивается сначала яйцевидный, а после задержки роста, в фазе созревания, – шаровидный плод.
4. Динамика роста плода в трех направлениях (длина, ширина, толщина) схожа. Вместе с тем после задержки роста плода его ширина и толщина увеличиваются с большей скоростью, чем длина. Длина плода возрастает от $3,633 \pm 0,008$ до $4,646 \pm 0,014$ мм, ширина – от $2,752 \pm 0,141$ до $4,757 \pm 0,244$ мм, толщина – от $2,463 \pm 0,127$ до $4,471 \pm 0,230$ мм.
5. Масса плода бузины красной увеличивается по двойной сигмоидной кривой, задержка накопления массы также приходится на период с середины июня до начала 3-й декады июня. Масса плода возрастает от $9,145 \pm 0,472$ до $62,340 \pm 3,245$ мг.

Полученные данные могут быть использованы для пополнения сведений о росте и развитии растений бузины красной в различных природно-климатических условиях, а также послужить основой для дальнейшего прогнозирования устойчивости плодоношения в Московском регионе, в том числе при выращивании в качестве лекарственной и декоративной культуры.

Список источников

1. Артющенко З.Т., Васильев И.В., Гзырян М.С. и др. *Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. VI. Покрытосеменные семейства Логаниевые-Сложноцветные*. Москва-Ленинград: Изд-во Академии наук, 1962. 380 с.
2. Громадин А.В., Сахоненко А.Н. *Дендрологический справочник. Деревья и кустарники, пригодные для культивирования в открытом грунте на территории России*: Справочное издание. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2025. 695 с. EDN: BXNCKH
3. Жаморан Ц. *Биология облепихи крушиновидной (Hippophaë rhamnoides L.) в условиях Северной Монголии*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1971. 20 с.
4. Загорнян Е.М. *Структурная основа развития плодов рода Lycopersicon Tourn.*: Монография. Кишинев: Штиинца, 1990. 264 с.
5. Зубик И.Н., Орлова Е.Е., Макаров С.С., Чудецкий А.И. *Особенности мало-распространенных садовых культур семейств Лоховые (Elaeagnaceae) и Миртовые (Myrtaceae)*: Монография. Москва: МЭСХ, 2024. 112 с. EDN: PTYVXW

6. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
7. Макаров С.С., Зубик И.Н., Орлова Е.Е. и др. Изучение декоративных признаков фейхоа (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) в условиях Абхазии // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2023. Т. 75. С. 61–77. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-75-61-77>
8. Макаров С.С., Сунгурова Н.Р., Чудецкий А.И. *Декоративная дендрология: Учебник для вузов*. Санкт-Петербург: Лань, 2024. 340 с. EDN: ITKLBS
9. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Сахоненко А.Н. и др. Создание биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 4. С. 23–33. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
10. Малинкина Е.В., Кислухина О.В., Румянцев В.Ю. Сочные плоды дикорастущих и культурных растений как сырье для получения витаминизированных масел // *Международный симпозиум «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования»*. Москва-Пушино, 20-24 июня 2001 г. Москва-Пушино: Российский университет дружбы народов, 2001. Т. 3. С. 532–534. EDN: GRNPJU
11. Ноздрина Т.Д., Трусов Н.А., Солнышкова А.А., Соломонова Е.В. Плоды бересклетов как источник масел // *Общеуниверситетская научная конференция молодых ученых и специалистов «День Науки»*. Москва: Московский государственный университет пищевых производств, 2016. Т. 2. С. 81–82. EDN: WDTNAN
12. Потапов В.Б., Ситников А.П. Развитие семени и плода у горца щавелелистного // *Всероссийская научная конференция «Флористические и геоботанические исследования в Европейской России»*. Саратов, 21-24 августа 2000 г. Саратов: Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 2000. С. 422-423
13. Созонова Л.И. Морфолого-анатомическое строение и топография жировых включений плода бузины (сем. Sambucaceae Link.) // *Биология, селекция и агротехника плодовых и ягодных культур*. Нижний Новгород, 1991. С. 59-71
14. Созонова Л.И. *Плод бузины. Развитие, строение, перспективы хозяйственного использования*: Монография. Нижний Новгород, 1998. 54 с.
15. Созонова Л.И. *Сочные маслянистые плоды. Закономерности развития и строения в связи с накоплением масла*: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 1992. 36 с.
16. Созонова Л.И., Трусов Н.А., Соломонова Е.В. О классификации и номенклатуре сочных плодов // *Бюллетень Главного ботанического сада*. 2012. № 3 (198). С. 65–67. EDN: TKOVZZ
17. Соломонова Е.В., Трусов Н.А. Поиск и перспективы использования сочных маслянистых плодов лесных растений // *Лесохозяйственная информация*. 2017. № 1. С. 78–87. EDN: YIFEXF
18. Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Морозова М.Ю., Ноздрина Т.Д. Морфометрические и весовые характеристики экзотического съедобного плода декеней Фаргеза (*Decaisnea fargesii* Franch.) (Лардизабаловые – Lardizabalaceae R.Br.), произрастающей в условиях Московского региона // *Социально-экологические технологии*. 2020. Т. 10, № 3. С. 249–264. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-249-264>
19. Станков С.С., Шалыганова О.Н., Бохонов М.П. *Дикорастущие маслянистые растения Горьковского края: Описание, географическое распространение, маслянистость и практическое использование*. Горький, 1935. 187 с.

20. Черятова Ю.С. Актуальные аспекты морфолого-анатомического анализа лекарственного растительного сырья – листьев лавровишни лекарственной (*Laurocerasus officinalis*) // *Экосистемы*. 2020. № 21 (51). С. 85–92. EDN: DJYAYG
21. Черятова Ю.С. Анатомо-диагностические признаки лекарственного растительного сырья *Eucalyptus globulus* Labill // *Эпоха науки*. 2019. № 20. С. 620–626. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2019-12130>
22. Черятова Ю.С., Ембатурова Е.Ю., Соломонова Е.В., Монахос С.Г. Морфометрическая характеристика плодов рапса (*Brassica napus* L.) // *Естественные и технические науки*. 2023. № 8 (183). С. 85–87. EDN: GKXESC
23. Эверт Р.Ф. *Анатомия растений Эзау. Меристемы, клетки и ткани растений: строение, функции и развитие: Учебник / Пер. с англ. А.В. Степановой*. Москва: Лаборатория знаний, 2024. 603 с.
24. Cheryatova Yu. Morphological and Anatomical Study of Medicinal Plant Material *Myrtus communis* L. *INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023;575:2302-2308. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_258
25. Ohwi J. *Flora of Japan*. Washington, USA: Smithsonian Institution, 1965:1072.
26. Keserović Z. Etape razvitka ploda u višnje i trešnje. *Voćarstvo*. 2005;39(152):365-372
27. Kumar B.P., Purohit A.G. Studies on Fruit Growth and Development in Pomegranate. *J. Maharashtra agric. Univ*. 1989;14(2):187-189
28. Ognjanov V., Vujančić-Varga D., Mišić P.D., Verešbaranji I. et al. Anatomical and biochemical studies of fruit development in peach. *Scientia Horticulturae*. 1995;64(1-2):33-48. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(95\)00825-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00825-9)
29. Opara L.U. Fruit Growth Measurement and Analysis. *Horticultural Reviews*. 2010;24:373-431. <https://doi.org/10.1002/9780470650776.ch8>
30. Roth I. *Fruits of Angiosperms*. Berlin-Stuttgart, 1977:675
31. Qiner Y., Boufford D.E. *Sambucus Linnaeus* // *Flora of China*. 2011;19:611-613. URL: <http://flora.huh.harvard.edu/china/PDF/PDF19/Sambucus.pdf> (дата обращения: 15.07.2025)
32. *Sambucus racemosa* L. *Plants For a Future*. URL: <https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Sambucus+racemosa> (дата обращения: 16.07.2025)
33. *Sambucus racemosa* L. *World Flora Online*. URL: <http://www.worldfloraonline.org/> (дата обращения: 16.07.2025)
34. Singh P., Singh I.S. Physico-chemical changes during fruit development in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. 1995;29:252-255
35. Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D. Search for alternative plant raw materials for food industry and environmentally safe animal breeding. *RUDN Bulletin. Series: Agronomy and Animal Husbandry*, 2021;16(1):18-29. <https://doi.org/10.22363/2312-797X2021-16-1-18-29>
36. Yamaguchi M., Haji T., Miyake M., Yaegaki H. Varietal Differences in Cell Division and Enlargement Periods during Peach (*Prunus persica* Batsch) Fruit Development // *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2002;72(2):155-163. <https://doi.org/10.2503/jjshs.71.155>

References

1. Artyushenko Z.T., Vasiliev I.V., Gzyryan M.S., Golovach A.G. et al. *Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated, and promising for introduction. Vol. VI (Angiosperms of the Loganiaceae-Asteraceae family)*. Moscow-Leningrad, USSR: Izd-vo Akademii nauk, 1962:380. (In Russ.)

2. Gromadin A.V., Sakhonenko A.N. *Dendrological handbook. Trees and shrubs suitable for open ground cultivation in Russia: a reference book*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2025:695. (In Russ.)
3. Zhamoran Ts. *Biology of sea buckthorn (Hippophaë rhamnoides L.) in the conditions of Northern Mongolia*: CSc (Bio) thesis. Irkutsk, USSR, 1971:20. (In Russ.)
4. Zagornyan E.M. *Structural basis of development of fruits of the genus Lycopersicon Tourn.* Kishinev, MSSR, USSR: Shtiintsa, 1990:264. (In Russ.)
5. Zubik I.N., Orlova E.E., Makarov S.S., Chudetsky A.I. *Features of sparsely distributed garden crops of the Elaeagnaceae and Myrtaceae families*. Moscow, Russia: Mechanization and Electrification of Agriculture Publ., 2024:112. (In Russ.)
6. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany: a textbook*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.)
7. Makarov S.S., Zubik I.N., Orlova E.E. et al. Study of ornamental features of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) in Abkhazia. *Fruit and Berry Growing in Russia*. 2023;75:61-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-75-61-77>
8. Makarov S.S., Sungurova N.R., Chudetsky A.I. *Ornamental dendrology*. St. Petersburg, Russia: Lan, 2024:340. (In Russ.)
9. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Sakhonenko A.N., Solovyov A.V. et al. Creation of a bioresource collection of berry plants on the basis of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;(4):23-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
10. Malinkina E.V., Kislukhina O.V., Rumyantsev V.Yu. Juicy fruits of wild and cultivated plants as raw material for obtaining vitaminized oils. *Mezhdunarodniy simpozium 'Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispolzovaniya'*. June 20-24, 2001. Moscow-Pushchino: Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 2001;3:532-534. (In Russ.)
11. Nozdrina T.D., Trusov N.A., Solnyshkova A.A., Solomonova E.V. Fruits of euonymus as a source of oils. *Obshcheuniversitetskaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchonykh i spetsialistov 'Den nauki'*. April 1-30, 2016. Moscow: Moscow State University of Food Production, 2016;2:81-82. (In Russ.)
12. Potapov V.B., Sitnikov A.P. Development of seed and fruit in sorrel-leaved knotweed. *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora A.D. Fursaeva 'Floristicheskie i geobotanicheskie issledovaniya v Evropeyskoy Rossii'*. August 21-21, 2000. Saratov, Russia: Saratov State University, 2000:422-423. (In Russ.)
13. Sozonova L.I. Morphological and anatomical structure and topography of fat inclusions of elderberry fruit (family Sambucaceae Link.). In: *Biology, selection and agricultural technology of fruit and berry crops*. Nizhniy Novgorod, Russia, 1991:59-71. (In Russ.)
14. Sozonova L.I. *Elderberry fruit. Development, structure, prospects for economic use*: a monograph. Nizhniy Novgorod, Russia, 1998:54. (In Russ.)
15. Sozonova L.I. *Juicy oil fruits. Patterns of development and structure in connection with oil accumulation*: DSc (Bio) thesis. Moscow, Russia, 1992:36. (In Russ.)
16. Sozonova L.I., Trusov N.A., Solomonova E.V. On classification and nomenclature of juicy fruits. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 2012;(3(198)):65-67. (In Russ.)
17. Solomonova E.V., Trusov N.A. Search and perspective use of fleshy oil fruits of forest plants. *Forestry Information*. 2017;(1):78-87. (In Russ.)
18. Solomonova E.V., Trusov N.A., Morozova M.Yu., Nozdrina T.D. Morphometric and weight characteristics of exotic edible fruit *Decaïsnea*

fargesii Franch. (Lardizabalaceae R.Br.), growing in the conditions of Moscow Region. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2020;10(3):249-264. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-249-264>

19. Stankov S.S., Shalyganova O.N., Bokhonov M.P. *Wild oil plants of the Gorky Region: Description, geographical distribution, oil content and practical use*. Gorky, USSR, 1935:187. (In Russ.)

20. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical and morphological research of medicinal plant material of *Laurocerasus officinalis* (M. Roem.). *Ekosistemy*. 2020;(21(51)):85-92. (In Russ.)

21. Cheryatova Yu.S. Anatomico-diagnostic traits of medicinal vegetable raw materials of *Eucalyptus globulus* Labill. *Era of Science*. 2019;(20):620-626. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2019-12130>

22. Cheryatova Yu.S., Yembaturova E.Yu., Solomonova E.V., Monakhos S.G. Morphometric characteristics of rape (*Brassica napus* L.) seedpods. *Natural and Technical Sciences*. 2023;(8(183)):85-87. (In Russ.)

23. Evert R.F. *Anatomy of plants Esau. Meristems, cells and tissues of plants: structure, functions and development: a textbook*. Moscow, Russia: Laboratoriya znaniy, 2024:603. (In Russ.)

24. Cheryatova Yu. Morphological and Anatomical Study of Medicinal Plant Material *Myrtus communis* L. *INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023;575:2302-2308. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_258

25. Ohwi J. *Flora of Japan*. Washington, USA: Smithsonian Institution, 1965:1072.

26. Keserović Z. Stages of fruit development in sour cherries. *Voćarstvo*. 2005;39(15 2):365-372. (In Croatian)

27. Kumar B.P., Purohit A.G. Studies on Fruit Growth and Development in Pomegranate. *J. Maharashtra agric. Univ*. 1989;14(2):187-189.

28. Ognjanov V., Vujančić-Varga D., Mišić P.D., Verešbaranji I. et al. Anatomical and biochemical studies of fruit development in peach. *Scientia Horticulturae*. 1995;64(1-2):33-48. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(95\)00825-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00825-9)

29. Opara L.U. Fruit Growth Measurement and Analysis. *Horticultural Reviews*. 2010;24:373-431. <https://doi.org/10.1002/9780470650776.ch8>

30. Roth I. *Fruits of Angiosperms*. Berlin-Stuttgart, 1977:675.

31. Qiner Y., Boufford D.E. *Sambucus* Linnaeus. *Flora of China*. 2011;19:611-613. URL: <http://flora.huh.harvard.edu/china/PDF/PDF19/Sambucus.pdf> (accessed: July 15, 2025).

32. *Sambucus racemosa* L. *Plants for a Future*. URL: <https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Sambucus+racemosa> (accessed: July 16, 2025).

33. *Sambucus racemosa* L. *World Flora Online*. URL: <http://www.worldfloraonline.org/> (accessed: July 16, 2025)

34. Singh P., Singh I.S. Physico-chemical changes during fruit development in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. 1995;29:252-255.

35. Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D. Search for alternative plant raw materials for food industry and environmentally safe animal breeding. *RUDN Bulletin. Series: Agronomy and Animal Husbandry*. 2021;16(1):18-29. <https://doi.org/10.22363/2312-797X2021-16-1-18-29>

36. Yamaguchi M., Haji T., Miyake M., Yaegaki H. Varietal Differences in Cell Division and Enlargement Periods during Peach (*Prunus persica* Batsch) Fruit Development. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 2002;72(2):155-163. <https://doi.org/10.2503/jjshs.71.155>

Сведения об авторах

Екатерина Владимировна Соломонова, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: solomonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0061-4080>

Николай Александрович Трусов, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук»; 127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: n-trusov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5147-6602>

Ольга Николаевна Тюкавина, д-р с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное бюджетное учреждение «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; 163062, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Никитова, 13; профессор кафедры биологии, экологии и биотехнологии, Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; 163002, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17; e-mail: o.tukavina@narfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

Information about the authors

Ekaterina V. Solomonova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: solomonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0061-4080>

Nikolay A. Trusov, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Dendrology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; 4 Botanicheskaya St., Moscow, 127276, Russian Federation; e-mail: n-trusov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5147-6602>

Olga N. Tyukavina, DSc (Ag), Associate Professor, Leading Research Associate, Northern Research Institute of Forestry; 13 Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Professor at the Department of Biology, Ecology and Biotechnology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny St., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: o.tukavina@narfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Семенная продуктивность
морозника красноватого (*Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit.)
при интродукции в ВИЛАР**

Ольга Анатольевна Сорокопудова[✉], Елизавета Ильинична Ханумиди

Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений, Москва, Россия

[✉] **Автор, ответственный за переписку:** osorokopudova@yandex.ru

Аннотация

Морозник красноватый (*Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit.) – ценный декоративный вид многолетних травянистых растений, востребованный для теневых садов и перспективный для медицины. Этот вид успешно интродуцирован в различные ботанические сады европейской России, однако потенциал семенного размножения изучен недостаточно. Цель исследований – выявить особенности развития и дать характеристику семенного размножения морозника красноватого в условиях Центрального Нечерноземья на примере г. Москвы. В коллекции ВИЛАР *H. purpurascens* культивируется с 2006 г. В 2024–2025 гг. изучены сроки наступления фенологических фаз до вскрытия плодов, особенности строения дициклических побегов и элементы семенной продуктивности. Число листьев, генеративных побегов и плодов на них учитывали у 15 кустов, число плодолистиков в плодах, семян в них, параметры листовочек – у 40 плодов. Установлено, что начало цветения морозника красноватого наблюдается в конце марта – начале апреля на фоне остаточного снежного покрова при достижении суммы положительных температур 125–135°C. Мониторинг состояния плодолистиков на начало их вскрытия рекомендуем проводить с середины июня при планировании сбора семян этого вида морозника для предотвращения их потерь. Выявлена очень высокая прямая связь между числом ассимилирующих листьев срединной формации и числом генеративных побегов морозника красноватого; число листьев было выше числа генеративных побегов в кустах в 1,24–2,0 раза. В одном плоде формировалось от 4 до 9 плодолистиков. Не обнаружено существенных различий по среднему числу семян, развивающихся в 1 листовочке, в годы исследований. Регулярное плодоношение позволяет создавать запасы семян, при этом с одного генеративного побега можно прогнозировать сбор от 37 до 133 шт. семян в зависимости от числа цветков на нем.

Ключевые слова

Морозник красноватый, ритмы развития, семеношение, плоды, семена

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР № FGUU-2025–0001 с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

Для цитирования

Сорокопудова О.В., Ханумиди Е.И. Семенная продуктивность морозника красноватого (*Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit.) при интродукции в ВИЛАР // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 34–48.

Seed productivity of *Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit. during cultivation at All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants

Olga A. Sorokopudova✉, Elizaveta I. Khanumidi

All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

✉ **Corresponding author:** osorokopudova@yandex.ru

Abstract

Helleborus purpurascens Waldst. & Kit. is a valuable ornamental perennial herbaceous species, highly sought after for shade gardens and exhibiting potential for medicinal applications. While this species has been successfully introduced into various botanical gardens in European Russia, the potential for seed propagation remains understudied. This study aims to identify the developmental features and study the characteristics of seed propagation of *H. purpurascens* under the conditions of the Central Non-Chernozem region, using Moscow as a case study. *H. purpurascens* has been cultivated in the VILAR collection since 2006. During the years 2024–2025, the timing of phenological phases up to fruit dehiscence, structural features of dicyclic shoots, and elements of seed productivity were investigated. The number of leaves, generative shoots, and fruits on them was recorded for 15 plants, while the number of carpels per fruit, seeds per carpel, and leaflet parameters were assessed for 40 fruits. The results indicated that the onset of flowering in *H. purpurascens* occurs in late March to early April, coinciding with residual snow cover and the total heat reaching 125–135°C. Monitoring the condition of carpels at the onset of dehiscence is recommended from mid-June when planning seed collection for this helleborus species to prevent seed loss. A strong positive correlation was found between the number of assimilating leaves of the median formation and the number of generative shoots in *H. purpurascens**; the number of leaves exceeded the number of generative shoots in the plants by a factor of 1.24–2.0. Each fruit contained between 4 and 9 carpels. No significant differences were observed in the average number of seeds developing in one leaflet across the study years. Consistent fruit production enables the creation of seed stocks, with the potential for harvesting an estimated 37 to 133 seeds per generative shoot, depending on the number of flowers it bears.

Keywords

Helleborus purpurascens, development rhythms, seed production, fruits, seeds

Acknowledgments

This research was conducted within the framework of research project No. FGUU-2025–0001 using bio-objects of the Unique Scientific Facility “Biocollections of All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”.

For citation

Sorokopudova O.A., Khanumidi E.I. Seed productivity of *Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit. during cultivation at All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 34–48.

Введение
Introduction

В настоящее время в России наблюдается тенденция развития области лекарственного растениеводства. При этом растет интерес к интродукции и массовому

выращиванию редких и исчезающих ценных лекарственных растений в целях их сохранения и многоцелевого хозяйственного использования [1–16].

Морозник красноватый (*Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit.) – многолетнее травянистое раннецветущее короткокорневищное растение из семейства Лютиковые (*Ranunculaceae*) с естественным ареалом в Средней, Юго-Восточной и Восточной Европе (Венгрия, Словакия, Босния и Герцеговина, Хорватия, Румыния, Сербия, Украина) [17, 18]. По жизненной форме, некоторым морфологическим признакам (строению брактеев и брактеолей и др.) этот вид близок к другим европейским видам подрода *Helleborastrum*, секции *Helleborastrum* – к морознику восточному (*H. orientalis* Lam.; *H. caucasicum* A. Braun – синоним), морознику душистому (*H. odoratus* Waldst. & Kit.), морознику закрученному (*H. torquatus* Archer-Hind), морознику зеленому (*H. viridis* L.), морознику красно-коричневому (*H. atrorubens* Waldst. & Kit.), морознику круглолистному (*H. cyclophyllus* Boiss.), морознику кустарниковому (*H. dumetorum* Waldst. & Kit.) и морознику многораздельному (*H. multifidus* Vis.). Данная секция считается близкородственной группой видов, между которыми может происходить гибридизация [19]. В настоящее время морозник красноватый широко культивируется в Европе и является ценным декоративным растением, прежде всего – декоративно-лиственным, так как зеленовато-пурпурные околоцветники, представленные чашелистиками, слабо контрастируют на фоне листвы в отличие морозника черного (*H. niger* L.) и морозника восточного, используемых также для выгонки и срезки [20, 21]. Поскольку естественные местообитания морозника красноватого на востоке ареала приурочены к речным долинам, лиственным лесам (чаще буковым и грабовым) [21], растения устойчивы к затенению и рекомендованы для создания ландшафтных групп не только на открытых площадках, но и между деревьями и кустарниками, в теневых садах [22, 23].

Морозники известны и как лекарственные растения, применяемые издавна в народной медицине стран, где они обитают [24, 25]. В них обнаружены сердечные стероиды (геллебрин), богатые цистеином белки (геллетенины) и стероидные сапонины [24]. В 2013 г. М. Мэйор и К. Доброта опубликовали обзор по природным соединениям с важным медицинским потенциалом, содержащимся у видов морозников [26]. Ими представлены данные противовоспалительного и антибактериального действия корней морозника красноватого, высокой биологической активности его экстрактов с длительным анальгезирующим, миорелаксирующим и сосудорегулирующим действием. В Румынии для лечения ревматических болей на протяжении десятилетий используется препарат Boicil; тионины являются перспективными в качестве иммунотоксичных для лечения опухолей. Сырье из морозников продолжает изучаться ввиду перспективности этих растений для медицины и ветеринарии, в том числе их противоопухолевого потенциала [27], иммуномоделирующего эффекта растительных экстрактов [28]; публикуются новые обзоры по фитохимии и биологической активности компонентного состава [29–31]. Актуальными становятся способы размножения морозников, включение их в состав коллекций декоративных и лекарственных растений и увеличение их численности как потенциальных источников для питомниководства.

В настоящее время разрабатываются методики клонального микроразмножения морозника красноватого *in vitro* [32]. Известно, что в условиях открытого грунта этот вид можно размножать лишь семенами и делением куста, но в последнем случае коэффициент размножения является минимальным как у вегетативно неподвижного короткокорневищного растения. Поэтому изучение способности к семенному размножению выходит на первый план. В условиях культуры в Национальном дендрологическом парке «Софиевка» Украины установлено, что у сеянцев морозника красноватого генеративный период наступает на четвертый год жизни особей, монокарпические

побеги – главным образом дициклические [33]. J. Meiners и T. Winkelmann установили, что цветки морозников протогиничны и, следовательно, предотвращают самоопыление, но при этом самосовместимы [34]. В различных ботанических садах Европейской части России и Беларуси морозник красноватый интродуцирован, и сотрудники отмечают его высокую устойчивость в культуре, регулярное плодоношение и наличие самосева [22, 23, 35–38]. Однако вопросы семенной продуктивности этого вида освещены слабо.

Цель исследований: выявить особенности развития и дать характеристику семенного размножения морозника красноватого в условиях Центрального Нечерноземья на примере г. Москвы.

Методика исследований

Research method

Исследования проведены в 2023–2025 гг. Объект исследований – молодые и средневозрастные генеративные растения морозника красноватого, произрастающие на интродукционном участке биокolleкции редких и декоративных лекарственных растений открытого грунта Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР) в южной части г. Москвы. Посадочный материал получен в 2006 г. из Закарпатья [39]. Почвы участка дерново-подзолистые; растения расположены одиночно на открытых местах и в виде зарослей под пологом лиственных деревьев на площади около 9 м² (рис. 1), где присутствуют, кроме генеративных особей, и более молодые от самосева.



Рис. 1. Фрагмент заросли *Helleborus purpurascens* в коллекции ВИЛАР (02.07.2025 г.)

Figure 1. Fragment of a thicket of *Helleborus purpurascens* in the VILAR collection (July 2, 2025)

Начало отрастания, цветения, плодообразования и вскрытия плодов у морозников отмечали при вступлении в соответствующие фазы 5–10% учетных растений. Начало плодообразования учитывали после полного отцветания и при видимом начале укрупнения листовочек по величине ввиду специфичности строения цветков – функцию венчика выполняет венчиковидная чашечка. Показатели среднемесячных температур воздуха в период изучения и сумма положительных температур в марте-апреле к фазе начала цветения приведены с использованием данных электронного ресурса «Погода и климат». Число листьев, генеративных побегов и плодов на них учитывали у 15 кустов, число листовочек-плодолистиков в плодах-многолистовках, семян в них, параметры листовочек – у 40 плодов. Коэффициент семенной продуктивности рассчитывали по общепринятой методике как отношение показателей реальной семенной продуктивности, определяемой количеством выполненных семян в плодах, к потенциальной семенной продуктивности, равной общему числу сформировавшихся в плодах семязачатков, и выраженной в процентах. Для определения статистических показателей: средней арифметической, средней ошибки средней арифметической, коэффициента вариации и коэффициента парной корреляции – использовали программу Microsoft Office Excel 2019. Наименьшую существенную разность ($НСР_{05}$) рассчитывали с использованием t-критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

По продолжительности жизни листьев морозник красноватый относится к летне-зимнезеленым растениям. Их монокарпические побеги в условиях культуры Центрального Нечерноземья – дициклические, что соответствует данным И. Бойко и др. [33]. В первый год развиваются розеточные побеги с крупными ассимилирующими длинночерешковыми листьями, к зиме – зачаточные генеративные побеги с листьями верховой формации в зоне соцветия, отрастающие и зацветающие рано весной, до полного схода снежного покрова (рис. 2). Позже из почек возобновления начинают отрастать листья новых розеточных побегов и удлиняются стебли цветоносов. К началу вскрытия плодов средняя высота растений в 2024 и 2025 гг. составляла $56,30 \pm 3,35$ см; высота цветоносов, формирующихся в центре куста, была ниже на 15–20 см.

Сроки наступления фенологических фаз варьировали и зависели от температурного режима в годы исследований. Наиболее ранние сроки зацветания наблюдались в 2025 г., когда среднемесячные температуры воздуха в марте превышали среднепогодные значения на $4,9^{\circ}\text{C}$. По нашим данным, начало этой фазы отмечается при сумме положительных температур $125\text{--}135^{\circ}\text{C}$. Сроки плодообразования и начала вскрытия плодов важны для планирования сбора плодов или семян до начала вскрытия листовочек. Наиболее ранние сроки начала плодообразования зафиксированы в 2024 г. с самым теплым апрелем с превышением среднемесячных температур на $4,0^{\circ}\text{C}$. Начало вскрытия плодов наблюдалось в период с конца 2-й декады июня до середины 3-й декады с разницей не больше недели (табл. 1, 2); окончание семеношения отмечалось к середине – концу 1-й декады июля.

Число генеративных побегов в кусте морозника красноватого сильно варьировало и составляло от 1 шт. у молодых генеративных растений до 18 шт. у средневозрастных генеративных растений разного календарного возраста. Между числом ассимилирующих листьев срединной формации и числом генеративных побегов

выявлена очень высокая прямая связь: коэффициент парной корреляции был равен 0,98; число листьев было выше числа генеративных побегов в кустах в 1,24–2,0 раза. Число листовочек в 1 плоде составляло от 4 до 7 шт. в 2025 г., от 4 до 8 шт. в 2023 г. и от 4 до 9 шт. в 2024 г. Их средние показатели, а также такие элементы семенной продуктивности, как число выполненных семян в 1 листовочке и 1 плоде, приведены в таблице 3.



Рис. 2. Цветоносные побеги *Helleborus purpurascens* в различные сроки:
a – в начале отрастания; *б* – в фазу массового цветения

Figure 2. Flowering shoots of *Helleborus purpurascens* at different times:
a – at the beginning of regrowth; *b* – in the mass flowering phase

Таблица 1

Даты наступления некоторых фенологических фаз у *Helleborus purpurascens* в условиях г. Москвы, 2023–2025 гг.

Table 1

Dates of the onset of some phenological phases of *Helleborus purpurascens* under Moscow conditions, 2023–2025

Фенологическая фаза	Годы исследований		
	2023	2024	2025
Начало цветения	7 апреля	8 апреля	31 марта
Начало плодообразования	11 мая	3 мая	13 мая
Начало вскрытия плодов	22 июня	18 июня	25 июня

Таблица 2

**Среднемесячные температуры воздуха в фазы от отрастания
до плодообразования в 2023–2025 гг., °С, г. Москва**

Table 2

**Mean monthly air temperatures in the phases
from growth to fruiting in 2023–2025, °C, Moscow**

Месяц	Среднемесячные температуры воздуха, °С			
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Средне-многолетние
Март	1,3	1,6	4,2	–0,7
Апрель	9,7	10,9	8,8	6,9
Май	12,7	12,7	13,2	13,6
Июнь	16,8	19,9	16,9	17,3

Таблица 3

Элементы продуктивности *Helleborus purpurascens*, 2023–2025 гг.

Table 3

Productivity parameters of *Helleborus purpurascens*, 2023–2025

Признак	Годы исследований			В среднем за 3 года	НСР ₀₅
	2023	2024	2025		
А. Среднее число листовочек в 1 плоде	$\frac{5,45 \pm 0,21}{23,9}$	$\frac{6,38 \pm 0,17}{19,4}$	$\frac{5,61 \pm 0,15}{19,2}$	$\frac{5,81 \pm 0,18}{22,2}$	0,52
Б. Среднее число семян в 1 листовочке	$\frac{6,92 \pm 0,47}{33,9}$	$\frac{6,93 \pm 0,45}{36,5}$	$\frac{6,70 \pm 0,41}{41,7}$	$\frac{6,85 \pm 0,44}{37,4}$	1,26
Среднее число семян в 1 плоде (АхБ)	37,71	44,21	37,59	39,80	–

Примечание. В знаменателе указан коэффициент вариации признаков.

Внешний вид вскрывающихся плодов и листовочек с выполненными семенами и неразвившимися семязачатками отражен на рисунке 3.

Максимальное число листовочек в 1 плоде у морозника красноватого зафиксировано в 2024 г. По среднему числу семян, развивающихся в 1 листовочке, не установлено достоверных различий по годам исследований. Выявлено сильное варьирование числа листовочек в 1 плоде (около или более 20%) и числа семян в одной листовочке (более 34%). Тем не менее, расхождение абсолютных показателей этих признаков от среднего значения по годам не превышало 8,1 и 2,2% соответственно.



Рис. 3. Плод (а) и модельная листовочка с выполненными семенами и неразвившимися семязачатками (б) *Helleborus purpurascens*

Figure 3. *Helleborus purpurascens* fruit (a) and model carpel with developed seeds and undeveloped ovules (b)

В 2025 г. получены данные по числу неразвившихся семязачатков в одной листовочке у морозника красноватого: его среднее значение составило $6,66 \pm 0,43$ шт., коэффициент семенной продуктивности составлял 50,15% ($6,70 / (6,70 + 6,66) \times 100$). Этот показатель оказался незначительно выше данных, полученных в условиях Северного Кавказа у морозника восточного, близкого по биологическим особенностям (жизненной форме, ритмам развития) к морознику красноватому. Там коэффициент семенной продуктивности в интродукционной ценопопуляции варьировал от 41,6 до 49,0% [36], несмотря на различия по почвенно-климатическим условиям в регионах.

Ранее Е.А. Федоровой установлено, что в условиях ВИЛАР на одном генеративном побеге морозника красноватого развиваются от 1 до 3 цветков [37]. Наши наблюдения в годы исследований соответствовали этим данным. Таким образом, с учетом числа сформировавшихся цветков на одном цветоносе, по нашим данным, можно прогнозировать в условиях интродукции получение с одного побега от 37 до 133 шт. семян.

Выводы Conclusions

Начало цветения морозника красноватого в годы исследований с превышением среднемесячных температур в марте на $2-4,9^{\circ}\text{C}$ средне многолетних значений наблюдалось в конце марта – 1-й декаде апреля на фоне остаточного снежного покрова при достижении суммы положительных температур $125-135^{\circ}\text{C}$. Поскольку начало вскрытия плодов отмечали с конца 2-й декады июня до середины 3-й декады этого месяца, с середины июня следует проводить мониторинг состояния плодолистиков при планировании сбора семян этого вида морозника для предотвращения их потерь.

Выявлена очень высокая прямая связь между числом ассимилирующих листьев срединной формации и числом генеративных побегов морозника красноватого с коэффициентом корреляции 0,98; число листьев было выше числа генеративных побегов в кустах в 1,24–2,0 раза. Установлено сильное варьирование числа листовочек в 1 плоде и числа семян, развивающихся в 1 листовочке. В 1 плоде формировалось от 4 до 9 плодолистиков, наибольшее их число отмечено в 2024 г. – $6,38 \pm 0,17$ шт. Не обнаружено существенных различий по среднему числу семян, развивающихся в 1 листовочке, в годы исследований; в среднем за 3 года в 1 листовочке формировалось $6,85 \pm 0,44$ шт. семян.

Коэффициент семенной продуктивности морозника красноватого в 2025 г. составил 50,15%. Регулярное плодоношение позволяет создавать запасы семян. При этом с одного генеративного побега можно прогнозировать сбор от 37 до 133 шт. семян в зависимости от числа цветков на нем.

Полученные данные могут быть полезными для оценки динамики роста и развития морозника красноватого в условиях г. Москвы и Московской области при его выращивании в качестве лекарственной и декоративной культуры.

Список источников

1. Кошелева Е.Д., Орлова Е.Е. Сортоизучение календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в условиях г. Москвы // *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2021. № 25. С. 37–41. EDN: SBEGTL
2. Кошелева Е.Д., Орлова Е.Е. Влияние условий выращивания на проявление декоративных признаков календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в условиях г. Москвы // *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2022. № 29. С. 36–41. EDN: GWRIYN
3. Зубик И.Н., Таганова А.Д., Макаров С.С. [и др.] Размножение представителей рода Лох (*Elaeagnus*) зелеными черенками в условиях города Москвы // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 5. С. 36–42. EDN: XQHION
4. Макаров П.Н., Макаров С.С., Чудецкий А.И., Зайцев А.Л. *Биологические особенности роста и развития растений рода Монарда (Monarda L.) в условиях закрытого и открытого грунта*: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 74 с. EDN: IGRLE
5. Макаров С.С., Зубик И.Н., Орлова Е.Е. и др. Изучение декоративных признаков фейхоа (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) в условиях Абхазии // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2023. Т. 75. С. 61–77. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-75-61-77>
6. Макаров С.С., Казиева А.Ю., Макарова Т.А. и др. Микрклональное размножение курильского чая кустарникового (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) с элементами гидропоники // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 2 (100). С. 64–71. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-64-71>
7. Макаров С.С., Макарова Т.А., Бердышева Е.А. *Способы получения растительного сырья кровохлебки лекарственной (Sanguisorba officinalis L.) в условиях таежной зоны Западной Сибири*: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 60 с. EDN: BYXSCF
8. Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А. и др. Особенности размножения эстрагона (*Artemisia dracuncululus* L.) в культуре *in vitro* и *ex vitro* // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 3 (101). С. 77–83. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>

9. Черятова Ю.С. Биоразнообразие лекарственных растений как Центральный компонент здоровья планеты // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2023. № 9 (62). С. 58–62. EDN: UEWMFS
10. Зарубина Л.В., Суров В.В., Куликова Е.И. и др. Адаптационная способность некоторых лекарственных растений *ex vitro* к почвенно-климатическим условиям Вологодской области // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 2. С. 33–44. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-33-44>
11. Макаров П.Н., Макаров С.С., Макарова Т.А. и др. Микроклональное размножение наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea* L.) и адаптация регенерантов методом гидропоники // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 4. С. 53–69. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
12. Макаров С.С., Бердышева Е.А., Макарова Т.А. и др. Ресурсная оценка ценопопуляций *Sanguisorba officinalis* L. на территории Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 2. С. 57–71. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-2-57-71>
13. Макаров С.С., Багаев Е.С., Цареградская С.Ю., Кузнецова И.Б. Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2019. № 6. С. 118–131. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-118>
14. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Сахоненко А.Н. и др. Создание биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 4. С. 23–33. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
15. Черятова Ю.С. К проблеме охраны и воспроизводства ресурсов редких лекарственных растений // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2024. № 3 (68). С. 46–50. EDN: SCXTNR
16. Черятова Ю.С., Чудецкий А.И., Куликова Е.И., Суров В.В. Первичное интродукционное изучение копеечника забытого (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) в условиях Вологодской области // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 77–92. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-1-77-92>
17. Taxon: *Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit. // *GRIN-Global*. 2021. URL: <https://genebank.ilri.org/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=467724> (дата обращения: 11.04.2025)
18. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
19. Long L., Yamada K., Ochiai M. A comprehensive review of the morphological and molecular taxonomy of the genus *Helleborus* (*Ranunculaceae*). *Reviews in Agricultural Science*. 2023;11:106-120. https://doi.org/10.7831/ras.11.0_106
20. Kušen M., Židovec V., Prebeg T. Ornamental characteristics, assortment and winter flowering hellebores (*Helleborus* spp.) cultivation. *Glasnik Zaštite Bilja*. 2021;44(6):4-12. <https://doi.org/10.31727/gzb.44.6.1>
21. Мельник В.И. *Helleborus purpurascens* Waldst. et Kit. (*Ranunculaceae*) – рідкісний вид флори Європи на східній межі ареалу // *Інтродукція рослин*. 2015. № 3. С. 17–24. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2526992>
22. Жигунов О.Ю., Анищенко И.Е. Интродукция некоторых видов рода *Helleborus* L. в условиях Башкирского Предуралья // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2018. № 4. С. 55–59. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-0-4-55-59>
23. Гонтарь О.Б., Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Жиров В.К. Интродукция редких охраняемых видов древесных и травянистых растений и использование их

в озеленении урбанизированных территорий на Кольском севере // *Ботанические исследования на Урале*. 2009. С. 84–90. EDN: QZXMCM

24. Franz M.H., Birzoi R., Maftei C.V. et al. Studies on the constituents of *Helleborus purpurascens*: analysis and biological activity of the aqueous and organic extracts. *Amino Acids*. 2018;50(1):163-188. <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2502-6>

25. Balázs V.L., Filep R., Ambrus T. et al. Ethnobotanical, historical and histological evaluation of *Helleborus* L. genetic resources used in veterinary and human ethnomedicine. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020;67(3):781-797. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00876-5>

26. Maior M., Dobrotă C. Natural compounds with important medical potential found in *Helleborus* sp. *Open Life Sciences*. 2013;8(3):272-285. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0129-x>

27. Pilut C.N., Manea A., Macasoi I., Dobrescu A. et al. Comparative evaluation of the potential antitumor of *Helleborus purpurascens* in skin and breast cancer. *Plants*. 2022;11(2):194. <https://doi.org/10.3390/plants11020194>

28. Grigore A., Bubueanu C., Pirvu L., Neagu G. et al. Immunomodulatory effect of *Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit. *Plants*. 2021;10(10):1990. <https://doi.org/10.3390/plants10101990>

29. Borozan A.B., Popescu S., Moldovan C. et al. *Helleborus* – phytochemistry and antimicrobial properties. A review. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2022;26(2):69-75

30. Цатурян Г.А., Маляровская В.И. Историко-систематический обзор представителей рода *Helleborus* L. и их био-морфологические и фармакологические особенности // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2024. № 89. С. 123–140. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2024-89-123-140>

31. Li S., Chen X., Tang J., Zhang D. et al. Genus *Helleborus*: a comprehensive review of phytochemistry, pharmacology and clinical applications. *Natural Product Research*. 2025;39(4):888-904. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.231788>

32. Gabryszewska E. Propagation *in vitro* of hellebores (*Helleborus* L.) review. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2017;16(1):61-72

33. Boyko I., Didenko I., Usoltseva O., Ponomarenko V. et al. Biomorphological features of *Helleborus purpurascens* Waldst. et Kit. *Biological Systems: Theory and Innovation*. 2024;2(15):51-59. [https://doi.org/10.31548/biologiya15\(2\).2024.005](https://doi.org/10.31548/biologiya15(2).2024.005)

34. Meiners J., Winkelmann T. Evaluation of reproductive barriers and realisation of interspecific hybridisations depending on genetic distances between species in the genus *Helleborus*. *Plant Biology*. 2012;14(4):576-585. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2011.00542.x

35. Белоусова Н.Л., Бородич Г.С., Гайшун В.В. и др. Редкие и исчезающие виды евразийской флоры в коллекциях Центрального ботанического сада НАН Беларуси // *Новости науки в АПК*. 2019. № 1-1. С. 17–22. <https://doi.org/10.25930/8bkc-sp56>

36. Воронина О.Е., Сенатор С.А., Шайкина М.Н. Коллекционный фонд экспозиции «Дикорастущие полезные растения» лаборатории природной флоры ГБС РАН // *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2024. Т. 18, № 4. С. 33–57. DOI: 10.24412/2072-8816-2024-18-4-33-57

37. Фатюнина Ю.А., Можаяева Г.Ф., Кагина Н.А. Экспресс-оценка успешности интродукции травянистых и полудревесных лекарственных растений коллекции Пензенского ботанического сада Пензенского государственного университета // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2022. № 3 (39). С. 28–43. <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2022-3-3>

38. Исаенко Т.Н. Виды рода *Helleborus* L. в экспозициях Ставропольского ботанического сада // *Вестник АПК Ставрополя*. 2019. № 3 (35). С. 57–60. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-35-57-60>

39. Загуменникова Т.Н. Биологические особенности некоторых редких и исчезающих видов семейства Лютиковых при выращивании в Московской области // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2018. № 13. С. 46–48. EDN: RWGSGP

40. Жемухова М.М., Чадаева В.А., Шхагапсоев С.Х. Репродуктивная биология *Helleborus caucasicus* (*Ranunculaceae*) в природе и интродукции // *Растительные ресурсы*. 2019. Т. 55, № 1. С. 36–44. <https://doi.org/10.1134/S0033994619010151>

41. Федорова Е.А. Представители семейства *Ranunculaceae* в коллекции региона флоры Западной Европы Ботанического сада ВИЛАР // *VII научная конференция с международным участием «Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения»*. Москва, 19 декабря 2019 г. Москва: ВИЛАР, 2019. Т. 12. С. 118–124. EDN: QGNURT

References

1. Kosheleva E.D., Orlova E.E. Variety study of *Calendula officinalis* L. in Moscow. *Bulletin of Landscape Architecture*. 2021;25:37–41. (In Russ.)

2. Kosheleva E.D., Orlova E.E. The influence of growing conditions on the manifestation of ornamental features of *Calendula officinalis* L. in Moscow. *Bulletin of Landscape Architecture*. 2022;29:36–41. (In Russ.)

3. Zubik I.N., Taganova A.D., Makarov S.S. et al. Reproduction of representatives of the genus *Elaeagnus* by green cuttings in the conditions of Moscow. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2023;5:36–42. (In Russ.)

4. Makarov P.N., Makarov S.S., Chudetsky A.I., Zaitsev A.L. *Biological features of growth and development of plants of the genus Monarda L. in closed and open ground conditions*: a monograph. Moscow, Russia: Kolos-s. 2023:74. (In Russ.)

5. Makarov S.S., Zubik I.N., Orlova E.E. et al. Study of ornamental features of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) in Abkhazia. *Fruit and Berry Growing in Russia*. 2023;75:61–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-75-61-77>

6. Makarov S.S., Kazieva A.Yu., Makarova T.A., Samoylenko Z.A. et al. Microclonal reproduction of shrubby cinquefoil (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) with elements of hydroponics. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(2(100)):64–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-64-71>

7. Makarov S.S., Makarova T.A., Berdysheva E.A. *Methods for obtaining plant materials of Sanguisorba officinalis L. in the conditions of the taiga zone of Western Siberia*: a monograph. Moscow, Russia: Kolos-s. 2023:72. (In Russ.)

8. Makarov S.S., Makarova T.A., Samoylenko Z.A., Makarov P.N. et al. Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) *in vitro* and *ex vitro* propagation features. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(3(101)):77–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>

9. Cheryatova Yu.S. Biodiversity of medicinal plants as the central component of health of the planet. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2023;(9(62)):58–62. (In Russ.)

10. Zarubina L.V., Surov V.V., Kulikova E.I., Chudetskiy A.I. et al. Adaptability of some *ex vitro*-adapted medicinal plants to the soil and climatic conditions of the Vologda region. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2024(4);2:33–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-33-44>

11. Makarov P.N., Makarov S.S., Makarova T.A., Samoylenko Z.A. et al. Microclonal reproduction of *Digitalis purpurea* L. And adaptation of regenerants in hydroponics. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;(4):53-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
12. Makarov S.S., Berdysheva E.A., Makarova T.A., Makarov P.N. et al. Resource assessment of the cenopopulations of *Sanguisorba officinalis* L. in the Surgut District of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2025;(2):57-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-2-57-71>
13. Makarov S.S., Bagayev E.S., Tsaregradskaya S.Yu., Kuznetsova I.B. Problems of use and reproduction of phytogenic food and medicinal forest resources on the forest fund lands of the Kostroma Region. *Russian Forestry Journal*. 2019;(6):118-131. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-118>
14. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Sakhonenko A.N., Solovyov A.V. et al. Creation of a bioresource collection of berry plants on the basis of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;(4):23-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
15. Cheryatova Yu.S. On the problem of protection and reproduction of rare medicinal plant resources. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2024;(3(68)):46-50. (In Russ.)
16. Cheryatova Yu.S., Chudetsky A.I., Kulikova E.I., Surov V.V. Primary introductory study of neglected sweetvetch (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) in the conditions of the Vologda Region, Russia. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2025;(1):77-92. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-1-77-92>
17. Taxon: *Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit. *GRIN-Global*. 2021. URL: <https://genebank.ilri.org/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=467724> (accessed: April 11, 2025).
18. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany: a textbook*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.)
19. Long L., Yamada K., Ochiai M. A comprehensive review of the morphological and molecular taxonomy of the genus *Helleborus* (*Ranunculaceae*). *Reviews in Agricultural Science*. 2023;11:106-120. https://doi.org/10.7831/ras.11.0_106
20. Kušen M., Židovec V., Prebeg T. Ornamental characteristics, assortment and winter flowering hellebores (*Helleborus* spp.) cultivation. *Glasnik Zaštite Bilja*. 2021; 44(6):4-12. <https://doi.org/10.31727/gzb.44.6.1>
21. Melnyk V.I. *Helleborus purpurascens* Waldst. et Kit. (*Ranunculaceae*) is rare species of European flora in eastern limit of area. *Plant introduction*. 2015;(3):17-24. (In Ukr.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.2526992>
22. Zhigunov O.Yu., Anishchenko I.E. Introduction of some species of *Helleborus* L. under the conditions of the Bashkir Cis-Urals. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2018;(4):55-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-0-4-55-59>
23. Gontar O.B., Trostenyuk N.N., Svyatkovskaia E.A., Zhirov V.K. Introduction of rare protected species of woody and herbaceous plants and their use in landscaping urban areas in the Kola North. *Botanicheskie issledovaniia na Urale. November 10-12, 2009*. Perm, Russia: Perm State University, 2009:84-90. (In Russ.)
24. Franz M.H., Birzoi R., Maftai C.-V., Maftai E. et al. Studies on the constituents of *Helleborus purpurascens*: analysis and biological activity of the aqueous and organic extracts. *Amino Acids*. 2018;50(1):163-188. <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2502-6>
25. Balázs V.L., Filep R., Ambrus T., Kocsis M. et al. Ethnobotanical, historical and histological evaluation of *Helleborus* L. genetic resources used in veterinary and human ethnomedicine. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020;67(3):781-797. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00876-5>

26. Maior M., Dobrotă C. Natural compounds with important medical potential found in *Helleborus* sp. *Open Life Sciences*. 2013;8(3):272-285. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0129-x>
27. Pilut C.N., Manea A., Macasoi I., Dobrescu A. et al. Comparative evaluation of the potential antitumor of *Helleborus purpurascens* in skin and breast cancer. *Plants*. 2022;11(2):194. <https://doi.org/10.3390/plants11020194>
28. Grigore A., Bubueanu C., Pirvu L., Neagu G. et al. Immunomodulatory effect of *Helleborus purpurascens* Waldst. & Kit. *Plants*. 2021;10(10):1990. <https://doi.org/10.3390/plants10101990>
29. Borozan A.B., Popescu S., Moldovan C., Sărac I. et al. *Helleborus* – phytochemistry and antimicrobial properties. A review. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2022;26(2):69-75. https://journal-hfb.usab-tm.ro/2022/JHFB_2022_Vol_II/10Borozan_Aurica_Breica%20et%20al.pdf
30. Tsaturyan G.A., Malyarovskaya V.I. Historical and systematic review of *Helleborus* L. representatives and their bio-morphological and pharmacological features. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*. 2024;(89):123-140. (In Russ.) <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2024-89-123-140>
31. Li S., Chen X., Tang J., Zhang D. et al. Genus *Helleborus*: a comprehensive review of phytochemistry, pharmacology and clinical applications. *Natural Product Research*. 2025;39(4):888-904. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.231788>
32. Gabryszewska E. Propagation *in vitro* of hellebores (*Helleborus* L.) review. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2017;16(1):61-72.
33. Boyko I., Didenko I., Usoltseva O., Ponomarenko V. et al. Biomorphological features of *Helleborus purpurascens* Waldst. et Kit. *Biological Systems: Theory and Innovation*. 2024;2(15):51-59. (In Ukr.) [https://doi.org/10.31548/biologiya15\(2\).2024.005](https://doi.org/10.31548/biologiya15(2).2024.005)
34. Meiners J., Winkelmann T. Evaluation of reproductive barriers and realisation of interspecific hybridisations depending on genetic distances between species in the genus *Helleborus*. *Plant Biology*. 2012;14(4):576-585. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00542.x>
35. Belousova N.L., Borodich G.S., Gaishun V.V., Zavadskaya L.V. et al. Rare and endangered species of Eurasian flora in the collections of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Novosti nauki v APK*. 2019;(1-1(12)):17-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.25930/8bkc-sp56>
36. Voronina O.E., Senator S.A., Shaikina M.N. Collection fund of the exposition “Wild-Growing Useful Plants” of the Department of Natural Flora of the Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2024;18(4):33-57. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2024-18-4-33-57>
37. Fatyunina Iu.A., Mozhaeva G.F., Kagina N.A. Rapid test of the successful introduction of herbal and semi-wood medicinal plants of Penza Botanical Garden of Penza State University. *University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*. 2022;(3(39)):28-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2022-3-3>
38. Isayenko T.N. Species of the genus *Helleborus* L. in the expositions of the Stavropol Botanical Garden. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2019;(3(35)):57-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-35-57-60>
39. Zagumennikova T.N. Biological characteristics of some rare and endangered species of the Buttercup family when grown in the Moscow Region. *Novye i netraditsionnye rasteniia i perspektivy ikh ispolzovaniia*. 2018;(13):46-48. (In Russ.)
40. Zhemukhova M.M., Chadaeva V.A., Shkhagapsoev S.Kh. Reproductive biology of *Helleborus caucasicus* (*Ranunculaceae*) in nature and introduction. *Rastitelnye Resursy*. 2019;55(1):36-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0033994619010151>

41. Fedorova E.A. Representatives of the Ranunculaceae family in the collection of the Western European flora region of the VILAR Botanical Garden. *Sedmaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem 'Sovremennye tendentsii razvitiya tekhnologii zdorov'esberezheniya'*. December 17, 2019. Moscow, Russia All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants: 2019;12:118-124. (In Russ.)

Сведения об авторах

Ольга Анатольевна Сорокопудова, д-р биол. наук, профессор, заведующий отделом растительных ресурсов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 117216, Российская Федерация, г. Москва, ул. Грина, 7; e-mail: osorokopudova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5774-6271>

Елизавета Ильинична Ханумиди, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела растительных ресурсов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 117216, Российская Федерация, г. Москва, ул. Грина, 7; e-mail: hanymidiliza@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5857-5736>

Information about the authors

Olga A. Sorokopudova, DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Plant Resources, All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants; 7 Grina St., Moscow, 117218, Russian Federation; e-mail: osorokopudova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5774-6271>

Elizaveta I. Khanumidi, CSc (Agr), Leading Research Associate at the Department of Plant Resources, All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants; 7 Grina St., Moscow, 117218, Russian Federation; e-mail: hanymidiliza@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5857-5736>

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Анатомические особенности
листьев голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Aiton)
в условиях Московского региона**

**Юлия Сергеевна Черятова[✉], Сергей Сергеевич Макаров,
Антон Игоревич Чудецкий, Татьяна Васильевна Портнова,
Ирина Васильевна Портнова**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Аннотация

Приведены результаты изучения особенностей анатомического строения свежесобранных листьев голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Aiton), интродуцированной в условия Дендрологического сада имени Р.И. Шредера (г. Москва). Отсутствие в настоящее время литературных сведений об анатомической адаптации *V. angustifolium* к изменению агроклиматических условий культивирования затрудняет оценку интродукционного потенциала этой ценной ягодной культуры. Поэтому изучение анатомических особенностей листьев *V. angustifolium* в условиях интродукции Московского региона является актуальным. Сбор растительного сырья для анализа проводили в июле 2023–2025 гг. в фазе массового плодоношения растений. Изучение анатомических признаков листьев растений осуществляли в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи РФ. Анализ анатомического строения показал, что листья *V. angustifolium* дорсо-вентральные, листовая пластинка гипостоматическая. Устьичный аппарат листьев парацитный. Главная жилка листовой пластинки и черешка листа представлена закрытым коллатеральным проводящим пучком. За весь период наблюдений у растений были отмечены увеличение общей толщины листа, верхней и нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла, изменение соотношения губчатого и столбчатого мезофилла, а также увеличение плотности расположения устьиц. Так, коэффициент палисадности листа *V. angustifolium* с 2023 г. в 2025 г. увеличился на 7%, а устьичный индекс возрос на 3,5%, что говорит об усилении фотосинтетической активности растений и их адаптации к агроклиматическим условиям Московского региона. Установленные анатомо-диагностические признаки листьев *V. angustifolium* могут быть использованы при составлении анатомических атласов культурных растений, идентификации и оценке подлинности растительного сырья, оценке адаптивного потенциала растений-интродуцентов, а также послужат теоретической основой для разработки методики интродукции ягодных культур.

Ключевые слова

Vaccinium angustifolium, анатомия листа, анатомо-диагностические признаки, устьичный индекс, коэффициент палисадности

Благодарности

Работа проведена в рамках выполнения Тематического плана-задания на выполнение НИР по заказу Минсельхоза России по теме «Разработка агротехнологий нового поколения для ягодных растений с использованием биотехнологических методов для закладки ягодных плантаций» (госрегистрация № 125082209764–2) за счет средств федерального бюджета в 2025 г.

Для цитирования:

Черятова Ю.С., Макаров С.С., Чудецкий А.И. и др. Анатомические особенности листьев голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Aiton) в условиях Московского региона // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 49–65.

BOTANY, POMICULTURE

Anatomical features of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton) leaves in the conditions of the Moscow Region, Russia

Yulia S. Cheryatova[✉], Sergey S. Makarov,
Anton I. Chudetsky, Tatiana V. Portnova, Irina V. Portnova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]Corresponding author: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Abstract

This research presents the results of an investigation into the anatomical features of freshly picked leaves of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton), introduced into the Dendrological Garden of R.I. Schroeder (Moscow). The current lack of published data regarding the anatomical adaptation of *V. angustifolium* to altered agroclimatic conditions during cultivation hinders the assessment of the introduction potential of this valuable berry crop. Therefore, the study of the anatomical features of *V. angustifolium* leaves under the conditions of introduction in the Moscow Region is relevant. Plant material was collected for analysis in July of the years 2023–2025 during the phase of peak fruit production. The anatomical features of plant leaves were studied in accordance with the requirements of the State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Anatomical analysis revealed that *V. angustifolium* leaves are dorsoventral and hypostomatic. The stomatal apparatus of the leaves is paracytic. The midrib of the leaf blade and petiole is characterized by a closed collateral vascular bundle. Over the observation period, plants exhibited an increase in total leaf thickness, upper and lower epidermis thickness, palisade and spongy mesophyll thickness, and an alteration in the ratio of spongy to palisade mesophyll, as well as an increase in stomatal density. Specifically, the palisade coefficient of *V. angustifolium* leaves increased by 7% from 2023 to 2025, and the stomatal index increased by 3.5%, indicating enhanced photosynthetic activity and adaptation of the plants to the agroclimatic conditions of the Moscow Region. The established anatomical diagnostic features of *V. angustifolium* leaves can be utilized in compiling anatomical atlases of cultivated plants, identifying and authenticating of plant material, and assessing the adaptive potential of introduced plants. Furthermore, these findings provide a theoretical foundation for developing a methodology for introducing berry crops.

Keywords

Vaccinium angustifolium, leaf anatomy, anatomical and diagnostic features, stomatal index, palisade ratio

Acknowledgments

This research was conducted under a thematic plan-assignment of the Ministry of Agriculture of Russia, project number 125082209764–2 entitled “Development of New Generation Agrotechnologies for Berry Plants Using Biotechnological Methods for Establishing Berry Plantations”, funded by the federal budget in 2025.

For citation

Cheryatova Yu.S., Makarov S.S., Chudetsky A.I. et al. Anatomical features of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton) leaves in the Moscow Region, Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 49–65.

Введение

Introduction

Голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Aiton) принадлежит семейству Вересковые (*Ericaceae* Juss.) подсемейства Брусничные (*Vaccinioideae* Arn). Ареалы вида находятся в восточной и центральной Канаде (от Манитобы до Ньюфаундленда), на северо-востоке Соединенных Штатов Америки, на юге до гор Грейт-Смоки-Маунтинс и на западе до района Великих озер. Голубика узколистная естественно произрастает в хвойных (преимущественно еловых), реже – в лиственных лесах, на склонах гор, на окраинах верховых болот, в подлеске редких древостоев, образуя довольно плотные заросли на легких кислых почвах [1–4]. Растения характеризуются высокой зимостойкостью и способны выдержать понижение температуры до $-34... -40^{\circ}\text{C}$ [5, 6], что потенциально расширяет регионы для выращивания этой культуры.

Плоды *V. angustifolium* содержат различные минералы, витамины, жирные кислоты и пищевые волокна, а также широкое разнообразие биологически активных соединений, в том числе фенольные соединения. Биологически активные вещества плодов голубики оказывают защитное действие против хронических заболеваний человека включая сердечно-сосудистые заболевания, рак, болезнь Альцгеймера и др. [7–9]. В связи с высокой пищевой и лекарственной ценностью ягод *V. angustifolium* в настоящее время наблюдается резкое повышение спроса на продукцию данной ценной культуры. Это вызывает необходимость расширения регионов культивирования голубики узколистной в различных регионах России для обеспечения населения местной ягодной продукцией.

При интродукции хозяйственно ценных растений наряду с изучением фенологии, биоморфологии, онтогенеза представляется чрезвычайно важным установление морфолого-анатомических характеристик интродуцентов [10, 11]. Изменение растений на анатомическом уровне может послужить основой для анализа структурно-морфологических адаптаций видов в ответ на изменения условий произрастания. Учеными установлено, что наиболее пластичным органом растений в реакции на изменение условий окружающей среды является лист [12]. В работах многих авторов отмечается изменение анатомии листьев растений-интродуцентов в связи с изменением температурного режима территории [13, 14].

Известно, что низкая температура является одним из важнейших лимитирующих факторов, определяющих интродукцию растений [15]. Установлено, что фотосинтез растений увеличивается с повышением температуры листьев, пока температура не достигнет оптимума [16]. Следовательно, при интродукции растений в более теплые регионы можно с уверенностью ожидать положительное влияние температурного режима на фотосинтетическую активность, что найдет свое отражение в изменении устьичного индекса растений [17]. В литературе вопрос об изменении анатомических характеристик листа растений-интродуцентов нашел достаточно широкое освещение [18, 19]. Было установлено, что долгосрочные реакции видов на изменения температуры могут вызвать сдвиг оптимальной температуры фотосинтеза листьев, что стимулирует фотосинтез при новой температуре произрастания и часто приводит к изменению листа на анатомическом уровне [20]. Растения в прохладном регионе также могут повышать активность ферментов, связанных с фотосинтезом, чтобы адаптироваться к потеплению, тем самым усиливая фотосинтез [21].

Среди анатомических признаков листа строение столбчатого мезофилла является важной характеристикой в вопросах оценки фотосинтеза растений. Учеными обнаружено, что толщина столбчатого мезофилла положительно коррелирует со скоростью

фотосинтеза [22]. При этом важно также отметить, что фотосинтез относительно чувствителен к факторам окружающей среды – таким, как температура, свет и водный баланс. Поэтому активность фотосинтетических ферментов закономерно увеличивается с повышением температуры, что стимулирует сам процесс фотосинтеза и, соответственно, может способствовать изменению в анатомии листа растений. Ученые отмечают у растений ответную реакцию на потепление растений путем увеличения общей толщины листьев и эпидермы, а также соотношение столбчатого и губчатого мезофилла [23]. Более высокое соотношение столбчатого и губчатого мезофилла листа способствует более компактному расположению клеток, что улучшает поглощение CO_2 и, следовательно, помогает поддерживать более высокий уровень фотосинтеза растений [24]. Следует также подчеркнуть, что в условиях потепления становится чрезвычайно важным для растений поддержание водного баланса, поэтому неслучайно многие авторы фиксируют утолщение клеток эпидермы в качестве ответной реакции видов [25]. Однако величина и направление фотосинтетических реакций растений-интродуцентов на потепление могут существенно различаться в зависимости от вида и его географического происхождения.

В силу вышесказанного знание видоспецифических реакций растений (в том числе анатомических) на изменение климата может помочь лучше понять адаптации видов и разработать агротехнические мероприятия по их культивированию. В отечественной и иностранной литературе нет полных сведений об анатомическом строении листьев голубики узколистной, и особенно это касается отсутствия сведений об устьичном индексе растений и описания петиолярной анатомии.

В настоящее время в научной литературе отражены многочисленные результаты морфологических и биохимических исследований цветков и плодов представителей рода *Vaccinium* [26–28]. Сегодня широко проводятся интродукционные исследования рода *Vaccinium* в различных регионах России [29–41]. Ученые проводят оценку биоморфологических и биоэкологических особенностей представителей *Vaccinium* с целью дальнейшей селекционной работы [42]. Поскольку на сегодняшний день отсутствуют сведения об анатомической адаптации *V. angustifolium* к изменению агроклиматических условий выращивания, данная работа является актуальной и своевременной, особенно в связи с расширением регионов культивирования этой ценной ягодной культуры.

Цель исследований: изучить особенности анатомического строения листьев голубики узколистной в условиях интродукции в Московском регионе.

Методика исследований

Research method

Экспериментальная работа проводилась на кафедре декоративного садоводства и газоноведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2023–2025 гг. Объектом исследований служили свежесобранные листья растений голубики узколистной, произрастающих на коллекционном участке ягодных растений в Дендрологическом саду имени Р.И. Шредера (северо-западная часть г. Москвы). Сбор растительного сырья для анализа проводили в июле 2023–2025 гг. в фазе плодоношения растений. Для анатомического анализа отбирали по 10 хорошо сформированных листьев из средней части однолетних приростов 5 растений. Изучали анатомические признаки листьев в соответствии с требованиями ГФ XII «Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья» [43].

Для анатомического анализа изготавливали временные микропрепараты поперечных и продольных срезов листьев растений. Процессы одревеснения частей растения выявляли с помощью реактива флороглюцина с концентрированной соляной кислотой. Срезы просветляли глицерином, разведенным водой (1:1). Исследование микропрепаратов проводили с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo Star (Carl Zeiss, Германия). Микрофотосъемку выполняли с помощью цифровой фотокамеры Canon Digital IXUS105 (Canon, Япония). Линейные измерения анатомических структур листа проводили с помощью окуляр-микрометра Euromex EWF10 × /22mm (Euromex Microscopen, Нидерланды) в 10-кратной повторности. На основании полученных данных были рассчитаны следующие показатели: устьичный индекс и коэффициент палисадности.

Коэффициент палисадности рассчитывали по формуле (1):

$$K = \frac{S_{pal}}{S_{pal} + S_{spon}} \times 100\%, \quad (1)$$

где S_{pal} , S_{spon} – площади поперечных срезов пластинки, занятые клетками столбчатого и губчатого мезофилла, соответственно.

Устьичный индекс рассчитывали по формуле (2):

$$Ui = \frac{2N_{stom}}{2N_{stom} + 2N_{cell_low}} \times 100\%, \quad (2)$$

где N_{stom} – число устьиц на 1 мм² поверхности нижней эпидермы; N_{cell_low} – число основных клеток нижней эпидермы на 1 мм².

Статистическую обработку данных производили с использованием стандартных математико-статистических методов [44] с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019 и StatSoft Statistica v10.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Листья *V. angustifolium* – простые, черешчатые, ланцетовидные, слабо опушены простыми одноклеточными трихомами. Наибольшее число волосков обнаруживается по главной жилке, краю листовой пластинки и черешку. Клетки однослойной верхней эпидермы характеризуются прямыми клеточными стенками с хорошо заметными поровыми каналами. Клетки нижней эпидермы листа имеют более извилистые очертания стенок по сравнению с клеточными стенками верхней эпидермы (рис. 1).

Листовая пластинка *V. angustifolium* гипостоматическая, устьица обнаруживаются только на нижней эпидерме листа. Следует особо отметить мозаичный характер распределения устьиц на листовой пластинке. Устьичный аппарат листьев *V. angustifolium* парацитный, побочные клетки располагаются параллельно замыкающим клеткам и устьичной щели (рис. 1б). Замыкающие клетки устьиц в очертании имеют удлиненно-почковидную форму.

Листья *V. angustifolium* дорсовентральные. Столбчатый мезофилл состоит из прямоугольно-удлиненных клеток; губчатый мезофилл характеризуется овальной формой клеток с выраженными межклетниками (рис. 2).

Жилкование листа *V. angustifolium* перистое. Проводящий пучок главной жилки – закрытый коллатеральный, овально-вытянутой формы, окружен многослойной склеренхимной обкладкой (рис. 2б). Боковые жилки листовой пластинки характеризовались более мелкими закрытыми коллатеральными пучками. Особую механическую

прочность пластинке придавали многорядные тяжи уголковой колленхимы, расположенные под верхней и нижней эпидермой листа в месте прохождения главной жилки.

Результаты детального анализа биометрических параметров листьев *V. angustifolium* представлены в таблице 1.

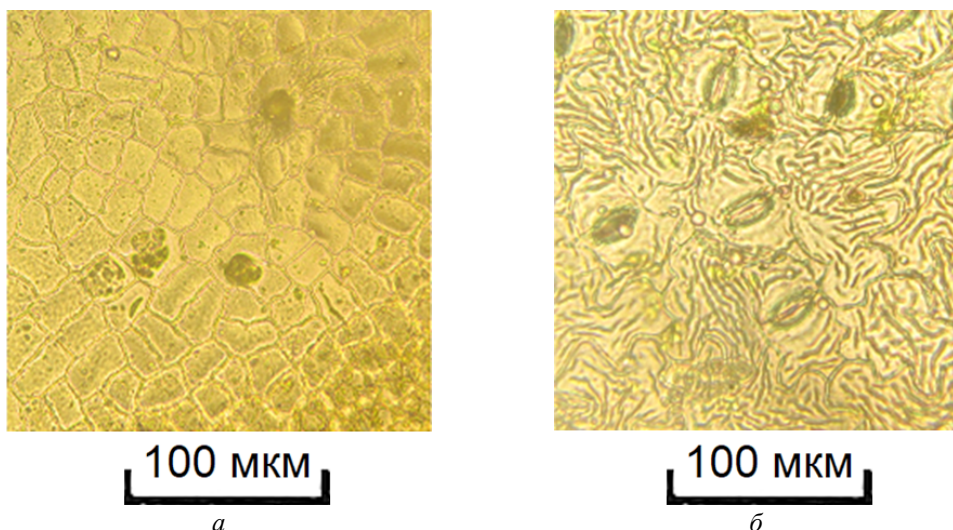


Рис. 1. Строение эпидермы листовой пластинки *Vaccinium angustifolium* (парадермальный срез):
а – верхняя эпидерма; б – нижняя эпидерма

Figure 1. Epidermal structure of *Vaccinium angustifolium* leaf blade (paradermal section):
а – upper epidermis; б – lower epidermis

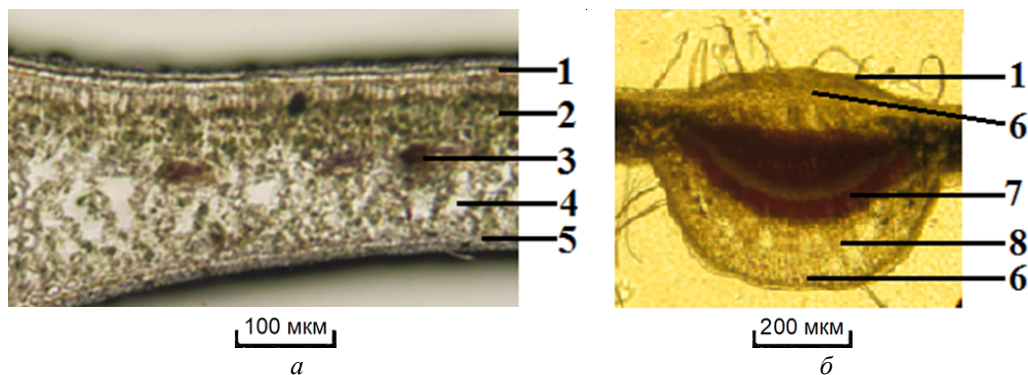


Рис. 2. Анатомическое строение листовой пластинки *Vaccinium angustifolium*:

- а – мезофилл на поперечном срезе листа;
б – поперечный срез листовой пластинки в области главной жилки; 1 – верхняя эпидерма;
2 – столбчатый мезофилл; 3 – закрытый коллатеральный пучок боковой жилки;
4 – губчатый мезофилл; 5 – нижняя эпидерма; 6 – уголковая колленхима;
7 – закрытый коллатеральный пучок главной жилки;
8 – губчатый мезофилл с крупными межклетниками

Figure 2. Anatomical structure of *Vaccinium angustifolium* leaf blade:

- а – mesophyll in a cross-section; б – cross-section of the leaf blade in the area of the midrib;
1 – upper epidermis; 2 – columnar mesophyll; 3 – closed collateral bundle of the lateral vein;
4 – spongy mesophyll; 5 – lower epidermis; 6 – angular collenchyma;
7 – closed collateral bundle of the midrib; 8 – spongy mesophyll with large intercellular spaces

Таблица 1

Биометрические показатели листа *Vaccinium angustifolium*

Table 1

Biometric parameters of *Vaccinium angustifolium* leaf

Биометрический показатель	Значение					
	2023 г.		2024 г.		2025 г.	
	M±m _M	V, %	M±m _M	V, %	M±m _M	V, %
Толщина листовой пластинки, мкм	168,80±2,29	15,46	172,50±3,87	14,27	180,80±4,22	12,85
Общая толщина столбчатого мезофилла листовой пластинки, мкм	64,30±2,11	12,58	66,80±2,53	11,25	72,50±2,15	10,34
Общая толщина губчатого мезофилла листовой пластинки, мкм	105,20±2,24	11,25	108,40±2,65	8,31	110,50±2,58	8,02
Толщина наружного слоя клеток столбчатого мезофилла, мкм	30,10±0,43	7,34	32,54±0,62	6,56	38,41±0,75	5,92
Диаметр клеток губчатого мезофилла, мкм	7,13±0,15	10,12	7,42±0,17	9,23	7,86±0,12	8,16
Толщина верхней эпидермы с кутикулой, мкм	14,80±0,422	13,34	15,30±0,518	11,25	16,00±0,536	11,04
Высота клеток верхней эпидермы, мкм	13,50±0,33	9,28	14,80±0,49	8,06	15,30±0,56	7,85
Размер поперечного сечения клеток верхней эпидермы, мкм	24,60±0,65	12,85	25,70±0,80	11,62	27,50±0,97	10,03
Толщина нижней эпидермы с кутикулой, мкм	11,0±0,375	9,07	11,90±0,463	8,67	12,50±0,485	8,32
Высота клеток нижней эпидермы, мкм	10,4±0,35	7,34	11,70±0,44	6,59	12,40±0,50	6,12
Размер поперечного сечения клеток нижней эпидермы, мкм	20,30±0,49	11,49	21,40±0,62	10,35	22,00±0,75	9,61
Коэффициент палисадности (K), %	31,5±1,49	11,67	34,90±1,53	11,15	38,50±1,78	9,66
Количество устьиц на 1 мм ² поверхности листа, шт.	96,55±5,25	13,36	108,42±4,89	12,84	115,25±4,66	9,75
Устьичный индекс (Ui), %	25,70±0,85	10,05	26,30±0,75	9,46	29,20±0,69	9,18

Из анализа данных таблицы 1 следует, что за годы наблюдений у растений *V. angustifolium* изменялись биометрические параметры листа в сторону общего увеличения. Толщина листовой пластинки растений увеличилась на 12 мкм (с 168,8 до 180,8 мкм), что может свидетельствовать об адаптации растений к засушливому лету периода наблюдений. Толщина клеток нижней эпидермы с кутикулой увеличилась на 1,5 мкм (с 11,0 до 12,5 мкм), а верхней – на 1,8 мкм (с 14,8 до 16,0 мкм). Увеличение общей толщины столбчатого мезофилла листовой пластинки изменилось на 8,2 мкм (с 64,3 до 72,5 мкм), а толщина губчатого мезофилла возросла немного меньше – на 5,3 мкм (с 105,2 до 110,5 мкм).

У листьев растений наблюдалось не только увеличение линейного размера клеток хлоренхимы, но и изменение соотношения губчатого и столбчатого мезофилла в пользу увеличения последнего. Так, коэффициент палисадности листа *V. angustifolium* с 2023 г. в 2025 г. увеличился на 7% (с 31,5 до 38,5%), а устьичный индекс возрос на 3,5% (с 25,75 до 29,2%), что говорит об усилении фотосинтетической активности растений и их адаптации к световому и тепловому режиму Московского региона. Эффективность фотосинтеза растений росла также благодаря закономерному увеличению количества устьиц на 1 мм² поверхности листа (с 96 до 115 шт.). Низкий коэффициент вариации изученных анатомических параметров листа 2025 г. свидетельствует о стабилизации морфометрических анатомических параметров листа растений в условиях интродукции Дендрологического сада имени Р.И. Шредера. Однако следует отметить, что устьичный индекс и коэффициент палисадности листа *V. angustifolium* остаются на достаточно низком уровне по отношению к другим систематическим группам мезотрофных растений средней полосы России. Поскольку индекс палисадности является наиболее информативным показателем, определяющим также и устойчивость растений к засухе [45], увеличение этого показателя в опыте дополнительно указывает на адаптивность голубики узколистной к довольно засушливому летнему периоду наблюдений 2023–2025 гг.

Особое значение при изучении растений-интродуцентов в последнее время приобретает петиолярная анатомия [46]. Анатомия черешка растений отличается от листовой пластинки тем, что менее всего подвержена анатомическим изменениям в связи с экологической адаптацией растений к новым условиям произрастания [47]. Поэтому данные петиолярной анатомии, в том числе растений *V. angustifolium*, могут послужить надежной основой при проведении анатомического анализа растений-интродуцентов. Черешок листа *V. angustifolium* густо опушен простыми мягкими одноклеточными волосками. В полуцилиндрической черешке растений в центральной части находится крупный закрытый коллатеральный пучок, проводящие ткани которого (первичная ксилема и флоэма) на поперечном срезе располагались в виде сектора полукольца (рис. 3).

Со стороны флоэмы проводящего пучка обнаруживалась хорошо заметная склеренхима, которая усиливала механическую функцию черешка листа. Устойчивость черешка к изгибам обеспечивала уголкообразная колленхима его коровой части. Следует отметить, что число слоев уголкообразной колленхимы в черешке зависело от характера ее расположения. Число слоев колленхимы варьировало от 3 до 8, возрастая в ребрах черешка листа. Наибольшее внутреннее пространство черешка занимала основная паренхима, в клетках которой обнаруживались немногочисленные хлоропласты.

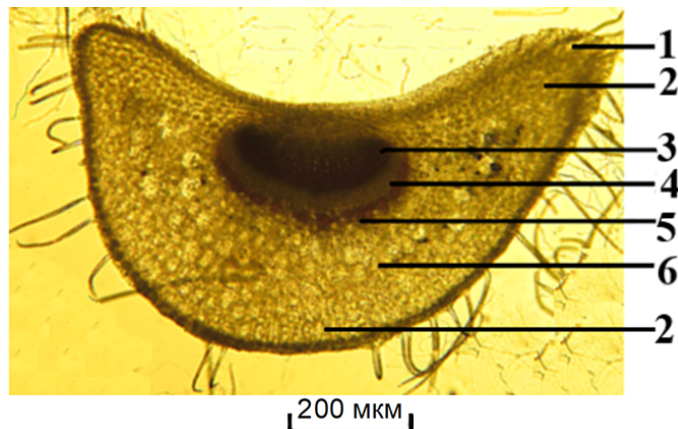


Рис. 3. Анатомическое строение поперечного среза черешка листа *Vaccinium angustifolium*:
 1 – эпидерма с трихомами; 2 – угловая колленхима;
 3 – первичная ксилема коллатерального пучка; 4 – первичная флоэма коллатерального пучка;
 5 – волокна склеренхимы; 6 – основная паренхима коры

Figure 3. Anatomical structure of the cross-section of *Vaccinium angustifolium* leaf petiole:
 1 – epidermis with trichomes; 2 – angular collenchyma;
 3 – primary xylem of the collateral bundle; 4 – primary phloem of the collateral bundle;
 5 – sclerenchyma fibers; 6 – main parenchyma of the cortex

Выводы Conclusions

Адаптивная способность растений-интродуцентов *V. angustifolium* во многом зависит от строения листовой пластинки. Устьичный аппарат, а также другие элементы эпидермы *V. angustifolium* могут играть решающую роль в устойчивости растения к различным стрессовым факторам, в том числе к изменениям климатических условий произрастания. Анатомическое изучение листьев голубики узколистной дает возможность глубже познать экологическую природу данного вида, выявить уровень адаптации растений к изменению экологических условий произрастания.

Установлено, что реакция голубики узколистной к условиям г. Москвы проявлялась в изменении структуры мезофилла и количества устьиц на единицу площади листовой поверхности. В ходе адаптации у растений отмечалось постепенное увеличение толщины слоя столбчатого мезофилла, а также возрастала его доля в общей толщине листовой пластинки, на что ярко указывает увеличение индекса палисадности. Изменение индекса палисадности в большую сторону может свидетельствовать об адаптации голубики узколистной к более интенсивному освещению в условиях открытого, хорошо освещенного опытного участка Дендрологического сада имени Р.И. Шредера, так как столбчатый палисадный мезофилл более эффективно поглощает свет для фотосинтеза, а также об адаптивности *V. angustifolium* к довольно засушливым летним периодам в 2023–2025 гг.

На основании проведенных исследований можно заключить, что за весь период наблюдений выявлена одинаковая закономерность в изменении строения листа голубики узколистной в градиенте климатических факторов Московского региона и агрометеорологических условий территории интродукции. У растений было отмечено увеличение общей толщины листа, верхней и нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла, изменение соотношения губчатого и столбчатого мезофилла в сторону увеличения доли последнего, а также увеличение плотности и размера устьиц.

На основании анализа большого фактического материала исследований можно утверждать, что основными структурными изменениями листьев *V. angustifolium* в условиях интродукции в Московский регион является увеличение толщины листовой пластинки, индекса палисадности и устьичного индекса. Установлено, что у *V. angustifolium* одновременно происходят как фотосинтетическая адаптация к изменению климатических условий региона интродукции, так и адаптивные изменения в анатомии листьев.

В результате проведенных исследований установлены основные анатомо-диагностические признаки листьев *V. angustifolium*, которые могут быть использованы для составления анатомических атласов культурных растений, при идентификации и оценке подлинности сырья листьев растения, оценке адаптивного потенциала растений-интродуцентов, а также послужат теоретической основой для разработки методики интродукции ягодных культур.

Список источников

1. *Flora of North America. Vol. 8: Magnoliophyta: Paeoniaceae to Ericaceae* / FNA Ed Committee. New York, USA: Oxford University Press, 2009. 624 p.
2. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
3. Макаров С.С., Сунгурова Н.Р., Чудецкий А.И. *Декоративная дендрология: Учебник для вузов*. Санкт-Петербург: Лань, 2024. 340 с. EDN: ITKLBS
4. Громадин А.В., Сахоненко А.Н. *Дендрологический справочник. Деревья и кустарники, пригодные для культивирования в открытом грунте на территории России*: Справочное издание. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2025. 695 с. EDN: BXNCKH
5. Cappiello P.E., Dunham S.W. Seasonal variation in low-temperature tolerance of *Vaccinium angustifolium* Ait. *Horticultural Science*. 1994;29(4):302-304
6. Радкевич Т.В. Современное состояние и тенденции развития культуры голубики // Плодоводство. 2022. Т. 34. С. 211–219. <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-211-219>
7. Ly C., Ferrier J., Gaudet J., Yockell-Lelièvre J. et al. *Vaccinium angustifolium* (lowbush blueberry) leaf extract increases extravillous trophoblast cell migration and invasion *in vitro*. *Phytotherapy Research*. 2018;32(4):705-714. <https://doi.org/10.1002/ptr.6021>
8. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive Compounds of Strawberry and Blueberry and Their Potential Health Effects Based on Human Intervention Studies: A Brief Overview. *Nutrients*. 2019;11(7):1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>
9. Wood E., Hein S., Heiss C., Williams C. et al. Blueberries and cardiovascular disease prevention. *Food and Function*. 2019;10(12):7621-7633. <https://doi.org/10.1039/c9fo02291k>
10. Черятова Ю.С. Актуальные аспекты морфолого-анатомического анализа лекарственного растительного сырья – листьев лавровишни лекарственной (*Laurocerasus officinalis*) // *Экосистемы*. 2020. № 21 (51). С. 85–92. EDN: DJYAYG
11. Черятова Ю.С. Анатомо-диагностические признаки лекарственного растительного сырья *Eucalyptus globulus* Labill // *Эпоха науки*. 2019. № 20. С. 620–626. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2019-12130>
12. Bacelar E.A., Correia C.M., Moutinho-Pereira J.M., Gonçalves B.C. et al. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars

- growing under drought conditions. *Tree Physiology*. 2004;24:233-239. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.2.233>
13. Oberbauer S.F., Tweedie C.E., Welker J.M., Fahnestock J.T. et al. Tundra CO₂ fluxes in response to experimental warming across latitudinal and moisture gradients. *Ecological Monographs*. 2007;77:221-238. <https://doi.org/10.1890/06-064>
 14. Hartikainen K., Nerg A.-M., Kivimäenpää M., Kontunen-Soppela S. et al. Emissions of volatile organic compounds and leaf structural characteristics of European aspen (*Populus tremula*) grown under elevated ozone and temperature. *Tree Physiology*. 2009;29:1163-1173. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp033>
 15. Sharp E.D., Sullivan P.F., Steltzer H., Csank A.Z. et al. Complex carbon cycle responses to multi-level warming and supplemental summer rain in the high Arctic. *Global Change Biology*. 2013;19:1780-1792. <https://doi.org/10.1111/gcb.12149>
 16. Slot M., Winter K. In situ temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes. *New Phytologist*. 2017;214:1103-1117. <https://doi.org/10.1111/nph.14469>
 17. Welker J.M., Fahnestock J.T., Henry G.H.R., O'dea K.W. et al. CO₂ exchange in three Canadian High Arctic ecosystems: Response to long-term experimental warming. *Global Change Biology*. 2004;10:1981-1995. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00857.x>
 18. Natali S.M., Schuur E.A.G., Trucco C., Pries C.E.H. et al. Effects of experimental warming of air. *Global Change Biology*. *Chang. Biol.* 2011;17:1394-1407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02303.x>
 19. Natali S.M., Schuur E.A.G., Webb E.E., Pries C.E.H. et al. Permafrost degradation stimulates carbon loss from experimentally warmed tundra. *Ecology*. 2014;95:602-608. <https://doi.org/10.1890/13-0602.1>
 20. Berry J., Björkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1980;31:491-543. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.002423>
 21. Yamori W., Hikosaka K., Way D.A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: Temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*. 2014;119:101-117. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
 22. Schollert M., Kivimäenpää M., Michelsen A., Blok D. et al. Leaf anatomy, BVOC emission and CO₂ exchange of arctic plants following snow addition and summer warming. *Annals of Botany*. 2017;119:433-445. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw237>
 23. Carroll C.J.W., Knapp A.K., Martin P.H. Dominant tree species of the Colorado Rockies have divergent physiological and morphological responses to warming. *Forest Ecology and Management*. 2017;402:234-240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.048>
 24. Chartzoulakis K., Bosabalidis A., Patakas A., Vemmos S. Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree. *Acta Horticultura*. 2000;537:241-247. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.537.25>
 25. Schollert M., Kivimäenpää M., Valolahti H.M., Rinnan R. Climate change alters leaf anatomy, but has no effects on volatile emissions from arctic plants. *Plant, Cell & Environment*. 2015;38:2048-2060. <https://doi.org/10.1111/pce.12530>
 26. Del Bo' C., Cao Y., Roursgaard M., Riso P. et al. Anthocyanins and phenolic acids from a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) powder counteract lipid accumulation in THP-1-derived macrophages. *European Journal of Nutrition*. 2016;55(1):171-182. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0835-z>
 27. Yang L., Liu L., Wang Z., Zong Y. et al. Comparative anatomical and transcriptomic insights into *Vaccinium corymbosum* flower bud and fruit throughout development. *BMC Plant Biology*. 2021;21(1):289. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03067-6>

28. Zhu B., Guo P., Wu S., Yang Q. et al. A Better Fruit Quality of Grafted Blueberry Than Own-Rooted Blueberry Is Linked to Its Anatomy. *Plants (Basel)*. 2024;13(5):625. <https://doi.org/10.3390/plants13050625>
29. Яковлев А.П., Морозов О.В. Развитие вегетативной сферы голубики узколистной при интродукции в условиях Беларуси // *Лесохозяйственная информация*. 2008. № 12. С. 40-44
30. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадышев М.Т. и др. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 1. С. 67–76. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
31. Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б. и др. Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 3. С. 520–528. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
32. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;2:21-29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>
33. Зорин Д.А. Интродукция *Vaccinium angustifolium* Ait. в Удмуртии // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4. С. 26–32. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-26-32>
34. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В. и др. Повышение эффективности многоцелевого лесопользования на выработанных торфяниках // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. № 3. С. 91–102. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-91-102>
35. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Кузнецова И.Б. и др. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. № 6. С. 82–93. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
36. Макаров С.С., Тяк Г.В., Чудецкий А.И. и др. Перспективы плантационного выращивания лесных ягодных растений в северных регионах России // *Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения*. 2023. № 3 (15). С. 62–77. EDN: KFKHUA
37. Макаров С.С., Феклистов П.А., Кузнецова И.Б. и др. Технологии размножения и возделывания видов и сортов голубики для создания биоресурсной коллекции // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 12. С. 11–16. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11
38. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Сахоненко А.Н. и др. Создание биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 4. С. 23–33. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
39. Макеева Г.Ю., Тяк Г.В., Макеев В.А., Макаров С.С. Создание первых российских сортов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) // *Современное садоводство*. 2023. № 1. С. 1–14. https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0101
40. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Khanbabaeva O.E. et al. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. *Agronomy*. 2024;14(7):1498. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071498>
41. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Кузнецова И.Б. и др. Совершенствование технологии адаптации *Vaccinium angustifolium* и *Vaccinium corymbosum* ex vitro в открытом

грунте // Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55, № 1. С. 107–121. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>

42. Атрощенко Г.П., Логинова С.Ф., Кошман А.И. Оценка феноритмики сезонного развития и зимостойкости таксонов рода *Vaccinium* (голубики) для селекции и практики // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019. № 56. С. 37–42. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13037>

43. *Государственная фармакопея Российской Федерации. Изд. XXI. Т. 1.* Москва: Научный центр экспертизы и средств медицинского применения, 2008. 704 с.

44. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: Учебник. Изд. 6-е. Москва: Альянс, 2011. 350 с.

45. Hernández-Fuentes C., Bravo L.A., Cavieres L.A. Photosynthetic responses and photoprotection strategies of *Phacelia secunda* plants exposed to experimental warming at different elevations in the central Chilean Andes. *Alpine Botany*. 2015;125:87-99. <https://doi.org/10.1007/s00035-015-0151-5>

46. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical research of medicinal plant material of *Vinca minor* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;723:022036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022036>

47. Cheryatova Y. Arnautova, G. Comparative morphological and anatomical study of *Primula macrocalix* Bge. and *Primula sibthorpii* Hoffm. leaves growing in Dagestan. *E3S Web of Conferences*, 2021;254:01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401018>

References

1. *Flora of North America. Vol. 8: Magnoliophyta: Paeoniaceae to Ericaceae*. FNA Ed Committee. New York, USA: Oxford University Press, 2009:624.

2. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany: a textbook*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.)

3. Makarov S.S., Sungurova N.R., Chudetsky A.I. *Ornamental Dendrology*. St. Petersburg, Russia: Lan, 2024:340. (In Russ.)

4. Gromadin A.V., Sakhonenko A.N. *Dendrological handbook. Trees and shrubs suitable for open ground cultivation in Russia: a reference book*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2025:695. (In Russ.)

5. Cappiello P.E., Dunham S.W. Seasonal variation in low-temperature tolerance of *Vaccinium angustifolium* Ait. *Horticultural Science*. 1994;29(4):302-304.

6. Radkevich T.V. Current state and development trends of blueberry culture. *Fruit-Growing*. 2022;34:211-219. (In Russ.) <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-211-219>

7. Ly C., Ferrier J., Gaudet J., Yockell-Lelièvre J. et al. *Vaccinium angustifolium* (lowbush blueberry) leaf extract increases extravillous trophoblast cell migration and invasion *in vitro*. *Phytotherapy Research*. 2018;32(4):705-714. <https://doi.org/10.1002/ptr.6021>

8. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive Compounds of Strawberry and Blueberry and Their Potential Health Effects Based on Human Intervention Studies: A Brief Overview. *Nutrients*. 2019;11(7):1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>

9. Wood E., Hein S., Heiss C., Williams C. et al. Blueberries and cardiovascular disease prevention. *Food and Function*. 2019;10(12):7621-7633. <https://doi.org/10.1039/c9fo02291k>

10. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical and morphological research of medicinal plant material of *Laurocerasus officinalis* (M. Roem.). *Ekosistemy*. 2020;(21(51)):85-92. (In Russ.)

11. Cheryatova Yu.S. Anatomico-diagnostic traits of medicinal vegetable raw materials of *Eucalyptus globulus* Labill. *Era of Science*. 2019;(20):620-626. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2019-12130>
12. Bacelar E.A., Correia C.M., Moutinho-Pereira J.M., Gonçalves B.C. et al. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions. *Tree Physiology*. 2004;24:233-239. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.2.233>
13. Oberbauer S.F., Tweedie C.E., Welker J.M., Fahnestock J.T. et al. Tundra CO₂ fluxes in response to experimental warming across latitudinal and moisture gradients. *Ecological Monographs*. 2007;77:221-238. <https://doi.org/10.1890/06-064>
14. Hartikainen K., Nerg A.-M., Kivimäenpää M., Kontunen-Soppela S. et al. Emissions of volatile organic compounds and leaf structural characteristics of European aspen (*Populus tremula*) grown under elevated ozone and temperature. *Tree Physiology*. 2009;29:1163-1173. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp033>
15. Sharp E.D., Sullivan P.F., Steltzer H., Csank A.Z. et al. Complex carbon cycle responses to multi-level warming and supplemental summer rain in the high Arctic. *Global Change Biology*. 2013;19:1780-1792. <https://doi.org/10.1111/gcb.12149>
16. Slot M., Winter K. *In situ* temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes. *New Phytologist*. 2017;214:1103-1117. <https://doi.org/10.1111/nph.14469>
17. Welker J.M., Fahnestock J.T., Henry G.H.R., O'dea K.W. et al. CO₂ exchange in three Canadian High Arctic ecosystems: Response to long-term experimental warming. *Global Change Biology*. 2004;10:1981-1995. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00857.x>
18. Natali S.M., Schuur E.A.G., Trucco C., Pries C.E.H. et al. Effects of experimental warming of air. *Global Change Biology*. *Chang. Biol.* 2011;17:1394-1407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02303.x>
19. Natali S.M., Schuur E.A.G., Webb E.E., Pries C.E.H. et al. Permafrost degradation stimulates carbon loss from experimentally warmed tundra. *Ecology*. 2014;95:602-608. <https://doi.org/10.1890/13-0602.1>
20. Berry J., Björkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1980;31:491-543. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.002423>
21. Yamori W., Hikosaka K., Way D.A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: Temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*. 2014;119:101-117. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
22. Schollert M., Kivimäenpää M., Michelsen A., Blok D. et al. Leaf anatomy, BVOC emission and CO₂ exchange of arctic plants following snow addition and summer warming. *Annals of Botany*. 2017;119:433-445. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw237>
23. Carroll C.J.W., Knapp A.K., Martin P.H. Dominant tree species of the Colorado Rockies have divergent physiological and morphological responses to warming. *Forest Ecology and Management*. 2017;402:234-240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.048>
24. Chartzoulakis K., Bosabalidis A., Patakas A., Vemmos S. Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree. *Acta Horticultura*. 2000;537:241-247. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.537.25>
25. Schollert M., Kivimäenpää M., Valolahti H.M., Rinnan R. Climate change alters leaf anatomy, but has no effects on volatile emissions from arctic plants. *Plant, Cell & Environment*. 2015;38:2048-2060. <https://doi.org/10.1111/pce.12530>
26. Del Bo' C., Cao Y., Roursgaard M., Riso P. et al. Anthocyanins and phenolic acids from a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) powder counteract lipid accumulation

- in THP-1-derived macrophages. *European Journal of Nutrition*. 2016;55(1):171-182. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0835-z>
27. Yang L., Liu L., Wang Z., Zong Y. et al. Comparative anatomical and transcriptomic insights into *Vaccinium corymbosum* flower bud and fruit throughout development. *BMC Plant Biology*. 2021;21(1):289. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03067-6>
 28. Zhu B., Guo P., Wu S., Yang Q. et al. A Better Fruit Quality of Grafted Blueberry Than Own-Rooted Blueberry Is Linked to Its Anatomy. *Plants (Basel)*. 2024;13(5):625. <https://doi.org/10.3390/plants13050625>
 29. Yakovlev A.P., Morozov O.V. Development of the vegetative sphere of lowbush blueberry during introduction in the conditions of Belarus. *Forestry Information*. 2008;12:40-44. (In Russ.)
 30. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T., Rodin S.A. et al. Clonal micropropagation of cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):67-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
 31. Makarov S.S., Rodin S.A., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I. et al. Effect of light on rhizogenesis of forest berry plants during clonal micropropagation. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):520-528. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
 32. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;(2):21-29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>
 33. Zorin D.A. Introduction of *Vaccinium angustifolium* Ait. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;(4):26-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-26-32>
 34. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V., Kulikova E.I. et al. Improving the efficiency of multipurpose forest management of depleted peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2022;(3(387)):91-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-91-102>
 35. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V. et al. The use of lighting of various spectral ranges for clonal micropropagation of forest berry plants. *Russian Forestry Journal*. 2022;(6(390)):82-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
 36. Makarov S.S., Tyak G.V., Chudetsky A.I., Petrova Yu.Yu. et al. Prospects for plantation cultivation of forest berry plants in the northern regions of Russia. *Arktika 2035: aktualnye voprosy, problemy, resheniya*. 2023;(3(15)):62-77. (In Russ.)
 37. Makarov S.S., Feklistov P.A., Kuznetsova I.B., Kulikova E.I. et al. Technologies for propagation and cultivation of blueberry species and varieties to create a bioresource collection. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023;37(12):11-16. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11
 38. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Sakhonenko A.N., Solovyov A.V. et al. Creation of a bioresource collection of berry plants on the basis of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;(4):23-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
 39. Makeeva G.Yu., Tyak G.V., Makeev V.A., Makarov S.S. Creation of the first Russian cultivars of blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Contemporary Horticulture*. 2023;(1):1-14. (In Russ.) https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0101
 40. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Khanbabaeva O.E., Makarova T.A. et al. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. *Agronomy*. 2024;14(7):1498. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071498>

41. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Kuznetsova I.B., Kulikova E.I. et al. Improving the *ex vitro* adaptation technology for *Vaccinium angustifolium* and *Vaccinium corymbosum* on the field. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025;55(1):107-121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>
42. Atroshchenko G.P., Loginova S.F., Koshman A.I. Evaluation of phenological rhythms of seasonal development and winter hardiness of taxa of the genus *Vaccinium* (blueberries) for breeding and practice. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(56):37-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13037>
43. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation*. Ed. XXI. Vol. 1. Moscow, Russia: Scientific Center on Expertise of Medical Application Products of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2008:704. (In Russ.)
44. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)*: a textbook. 6th ed. Moscow, Russia: Alyans, 2011:350. (In Russ.)
45. Hernández-Fuentes C., Bravo L.A., Cavieres L.A. Photosynthetic responses and photoprotection strategies of *Phacelia secunda* plants exposed to experimental warming at different elevations in the central Chilean Andes. *Alpine Botany*. 2015;125:87-99. <https://doi.org/10.1007/s00035-015-0151-5>
46. Cheryatova Yu.S. Actual aspects of anatomical research of medicinal plant material of *Vinca minor* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;723:022036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022036>
47. Cheryatova Y. Arnautova, G. Comparative morphological and anatomical study of *Primula macrocalix* Bge. and *Primula sibthorpii* Hoffm. leaves growing in Dagestan. *E3S Web of Conferences*. 2021;254:01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401018>

Сведения об авторах

Юлия Сергеевна Черятова, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5614-2225>

Сергей Сергеевич Макаров, д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Антон Игоревич Чудецкий, канд. с.-х. наук, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

Татьяна Васильевна Портнова, д-р искусствоведения, доцент, профессор кафедры ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»;

127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: t.portnova@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-4221-3923>

Ирина Васильевна Портнова, канд. искусствоведения, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: i.portnova@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-9064-5288>

Information about the authors

Yuliya S. Cheryatova, CSc (Biol), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5614-2225>

Sergey S. Makarov, DSc (Ag), Head of the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Anton I. Chudetsky, CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

Tatiana V. Portnova, DSc (Art Hist), Associate Professor, Professor at the Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: t.portnova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4221-3923>

Irina V. Portnova, CSc (Art Hist), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: i.portnova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9064-5288>

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

**ДНК-профилирование и фенотипирование родительских компонентов
и гибридов сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.)**

**Арпине Артаваздовна Налбандян^{1✉}, Татьяна Петровна Федулова¹,
Ирина Вячеславовна Черепухина¹, Татьяна Сергеевна Руденко¹,
Светлана Александровна Мелентьева²**

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара
имени А.Л. Мазлумова, Воронежская область, Россия

²Опытная научная станция по сахарной свекле, Несвиж, Минская область, Беларусь

✉ Автор, ответственный за переписку: arpnal@rambler.ru

Аннотация

С помощью ДНК-профилирования и фенотипирования было изучено 10 родительских линий и 10 гибридов сахарной свеклы отечественной и белорусской селекции. 12 микросателлитных локусов характеризовались высоким уровнем полиморфизма (PIC) – от 0,55 до 0,83, с наибольшим значением для локуса Unigene 17623B (PIC = 0,83). Около 92% локусов во всех образцах имели доминантные аллели, встречающиеся у более половины образцов. Среди всех аллелей на всех локусах около 55–60% – доминантные (частота >50%), 25–30% – аллели средней частоты (от 20 до 50%), около 10–15% – редкие аллели (частота <20%), что свидетельствует о высокой консервативности при сохранении генетического разнообразия за счет имеющейся вариативности аллелей. Кластерный анализ, выполненный на основе матрицы расстояний Жаккара с использованием алгоритма UPGMA в программе PAST, определил разделение 10 гибридов согласно селекционным группам (Рамонская, Льговская и Белорусская), родству родительских форм и плоидности. Гибрид Полибел показал наименьшее сходство с другими гибридами (среднее значение индекса Жаккара – 0,416) по сравнению с гибридом Конкурс, у которого наибольшее сходство (0,592) с выборкой. На основе генетических профилей, полученных с использованием панели полиморфных маркеров, разработаны уникальные молекулярно-генетические паспорта для 10 гибридов. Была выполнена оценка данных генотипов сахарной свеклы Рамонской, Льговской и Белорусской селекции по 27 биоморфологическим признакам, включающим в себя характеристики соответственно регламенту регистрации гибридов, установленному Государственной комиссией Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»).

Ключевые слова

Сахарная свекла, микросателлитные локусы, праймеры, ПЦР-анализ, фрагментный анализ, идентификация, генетический паспорт

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке МСХ в рамках выполнения поисковых исследований FGNU-2023–0001 – Разработка методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров.

Для цитирования

Налбандян А.А., Федулова Т.П., Черепухина И.В., Руденко Т.С., Мелентьева С.А. ДНК-профилирование и фенотипирование родительских компонентов и гибридов сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 5. С. 66–82.

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BREEDING AND SEED PRODUCTION

DNA profiling and phenotyping of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) parental components and hybrids

Arpine A. Nalbandyan[✉], Tatiana P. Fedulova¹, Irina V. Cherepukhina¹, Tatiana S. Rudenko¹, Svetlana A. Melentyeva²

¹A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy, Voronezh Region, Russia

²Experimental Scientific Station for Sugar Beet, Nesvizh, Minsk region, Belarus

✉Corresponding author: arpna@rambler.ru

Abstract

Using DNA profiling and phenotyping, 10 parental lines and 10 hybrids of sugar beet from domestic and Belarusian breeding programs were studied. Twelve microsatellite loci exhibited a high level of polymorphism information content (PIC), ranging from 0.55 to 0.83, with the highest value observed at locus Unigene 17623B (PIC = 0.83). Approximately 92% of loci across all samples possessed dominant alleles present in more than half of the samples. Among all alleles across all loci, about 55–60% were dominant (frequency > 50%), 25–30% were of intermediate frequency (20%–50%), and around 10–15% were rare alleles (frequency < 20%), indicating high conservation alongside maintained genetic diversity due to existing allelic variability. Cluster analysis performed based on the Jaccard distance matrix using the UPGMA algorithm in the PAST software delineated the 10 hybrids according to breeding groups (Ramonskaya, Lgovskaya, and Belarusian), parental relatedness, and ploidy level. The hybrid “Polibel” showed the lowest similarity to other hybrids (mean Jaccard index of 0.416), whereas the hybrid “Konkurs” exhibited the highest similarity (0.592) to the sample set. Based on genetic profiles obtained with a panel of polymorphic markers, unique molecular genetic passports were developed for the 10 hybrids. An evaluation of genotype data from the Ramonskaya, Lgovskaya, and Belarusian breeding programs was conducted over 27 biomorphological traits, including those characteristics regulated by the State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements (FSBI “Gossortkomissiya”) registration guidelines for hybrids.

Keywords

Sugar beet, microsatellite loci, primers, PCR-analysis, fragment analysis, identification, genetic passport

Acknowledgments

This research was funded by the Ministry of Agriculture, project number FGNU-2023–0001 entitled “Development of a Molecular Genetic Method for Identification and Passporting Methodology for Sugar Beet Hybrids Using Microsatellite Markers”.

For citation

Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Cherepukhina I.V., Rudenko T.S. et al. DNA profiling and phenotyping of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) parental lines and hybrids. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 66–82.

Введение

Introduction

Создание высокопродуктивных конкурентоспособных гибридов сахарной свеклы особенно актуально в настоящее время ввиду необходимости повышения урожайности и качества этой культуры, а также обеспечения устойчивости к болезням и вредителям, что является важным для производства отечественного сахара и обеспечения продовольственной безопасности. Вместе с тем она является весьма трудной из-за двулетнего цикла развития культуры, перекрестного характера опыления, явления самонесовместимости. В настоящее время в РФ возделывается более 90% семян иностранных гибридов. Поэтому ускоренное создание новых, генетически улучшенных форм сахарной свеклы и высокопродуктивных, конкурентоспособных гибридов с использованием методов молекулярно-генетического маркирования является актуальным направлением исследований. Ученые-селекционеры ВНИИСС имени А.Л. Мазлумова ведут активную работу в этом направлении по созданию новых перспективных гибридов данной культуры. Так, в Госреестр селекционных достижений внесено 47 гибридов рамонской селекции. При регистрации новых гибридов сахарной свеклы используется фенотипическая оценка их по 27 биоморфологическим признакам. Но поскольку растения сахарной свеклы обладают ограниченным количеством морфологических признаков, для более точной, надежной и эффективной их идентификации во многих странах используются ДНК-маркеры, а именно микросателлитные (SSR) [1–9]. Молекулярно-генетические анализы по своей эффективности значительно превосходят классические методы, основанные в первую очередь на морфологическом изучении растений [10–14].

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается нехватка эффективных методов идентификации и паспортизации генотипов сахарной свеклы. На других культурах – таких, как картофель, плодовые (яблоня, малина, груша, вишня, кабачок), уже разработаны такие методики. Сопоставление SSR-профилей номенклатурных стандартов и 66 образцов сортов картофеля, полученных из различных источников, позволило проверить их подлинность и однородность [15–18]. Молекулярно-генетический паспорт является надежным инструментом защиты авторских прав селекционеров [19].

Важной задачей является создание системы, которая бы позволяла идентифицировать и отслеживать семенной и посадочный материал на всех этапах его создания и реализации: от полевой селекции до его коммерческого использования [15].

Цель исследований: разработать и апробировать методику молекулярно-генетической идентификации и паспортизации родительских линий и гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров.

Методика исследований

Research method

Эксперименты проводились на семенах родительских линий сахарной свеклы (раздельноплодные генотипы на основе цитоплазматической мужской стерильности, сростноплодные опылители, закрепители стерильности Оуэн (О-типа) и гибриды сахарной свеклы отечественной и белорусской селекций. На начальных этапах работы важными условиями являлись изучение и оценка выбранных растений на отличимость, однородность и стабильность (ООС) в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания [20, 21].

Суммарную ДНК экстрагировали реагентами ДНК-Экстран-3 (Синтол, РФ) по алгоритму производителя. Условия классической полимеразно-цепной реакции оптимизировали в соответствии с химическими параметрами олигонуклеотидов.

Основываясь на литературных и собственных экспериментальных данных, в работе использовали 12 пар праймеров к микросателлитным локусам генома.

Целевые фрагменты амплифицировали с локус-специфичными (микросателлитными) праймерами группы Unigenes: Unigene 16898, Unigene 17623B, Unigene 26753, Unigene 17923, Unigene 27833 [4], FDSB1001, FDSB1033 [22], FDSB502–2, FDSB502–3 [1], Sb 09, Sb 04, Sb 15 [23], мечеными флуоресцентными красителями FAM, R6G, TAMRA и ROX (набор красителей Syntol-CK-5).

ПЦР-амплификацию проводили с помощью коммерческого набора GenPak PCR Core (Галарт-Диагностикум, Россия) по протоколам производителя в 20 мкл реакционной смеси в термоциклере с функцией выставления температурного градиента Simpli-Amp (By life technologies, Сингапур). Праймеры к микросателлитным локусам генома сахарной свеклы синтезированы в ООО «Синтол» (Москва, Россия). Полученные ампликоны идентифицировали методом высокоразрешающего капиллярного электрофореза в денатурирующих условиях на генетическом анализаторе G08 (ГТЗ, Китай). Общий объем реакционной смеси – 11 мкл: деионизованный формамид DIFA («Синтол», Россия) – 9,5 мкл; размерный стандарт СД-450 («Синтол», Россия) – 0,5 мкл; ПЦР-продукт – 1 мкл.

Размер полученных ПЦР-продуктов определяли с помощью программного обеспечения «Gene Mapper Software 6». В качестве размерного стандарта использован маркер молекулярного веса СД450, канал LIZ (ООО «Синтол»).

Индекс полиморфизма (polymorphism information content – PIC) SSR-маркеров был определен по методу, предложенному в работе [24].

Молекулярно-генетические экспериментальные исследования проведены в трех биологических повторностях.

Показатель генетического сходства между генотипами сахарной свеклы рассчитывали по Жаккару [25]. Кластерный анализ выполняли в программе PAST.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В начале исследований была выполнена оценка 27 биоморфологических признаков, включенных в критерии на ООС у 10 гибридов сахарной свеклы. Анализ выявил определенные различия между гибридами по таким признакам, как форма и окраска листовой пластинки, форма корнеплода, окраска головки корнеплода и др. Однако, как отмечено выше, ограниченное число доступных биоморфологических признаков у сахарной свеклы затрудняет четкую и надежную идентификацию гибридов исключительно на их основе. Пример описания фенотипических признаков представлен для гибрида белорусской селекции Полибел (рис. 1).

Использование SSR-маркеров в сочетании с фенотипическими признаками представляется перспективным подходом для идентификации и дифференциации гибридов сахарной свеклы, что может быть полезным для целей селекции, семеноводства и защиты прав на сорта растений. Дальнейшие исследования, направленные на расширение набора используемых молекулярных маркеров и оптимизацию протоколов анализа, позволят повысить эффективность и надежность паспортизации гибридов сахарной свеклы.

Применяемые SSR-маркеры позволили установить индивидуальные молекулярно-генетические профили. Максимальное количество аллелей на SSR локус составило 4. Для микросателлитного локуса Unigene 17923B показана самая высокая величина информационного полиморфизма (PIC = 0,83).

Спектр выявленных ДНК-фрагментов и критерий полиморфизма выявленных аллелей изученных микросателлитных локусов лежат в приведенных ниже значениях: Unigene16898–256–285 п.н. (PIC = 0,81); Unigene17623B – 140–168 п.н. (PIC = 0,83);

Unigene26753–287–301 п.н. (PIC = 0,69); Unigene17923–177–209 п.н. (PIC = 0,80); Unigene27833–185–207 п.н. (PIC = 0,73); FDSB1001–295–348 п.н. (PIC = 0,71); FDSB1033–175–219 п.н. (PIC = 0,69); FDSB502–2–106–154 п.н. (PIC = 0,66); FDSB502–3–222–240 п.н. (PIC = 0,55); SB09–123–133 п.н. (PIC = 0,57); SB04–172–184 п.н. (PIC = 0,57); SB15–140–168 п.н. (PIC = 0,77). Изученные 12 пар праймеров к микросателлитным локусам генома сахарной свеклы выявили достаточно высокий уровень полиморфизма (PIC) от 0,55 по FDSB502–3 до 0,83 по Unigene 17623B. Все растения сахарной свеклы из выборки изучаемых гибридов и некоторых родительских компонентов обладают индивидуальным паттерном (комбинации аллелей), то есть генотипспецифичными аллельными вариантами, что является эталоном при сравнении и идентификации растений неизвестных гибридов со стандартом (табл. 1).

Изучение микросателлитной вариабельности генома растительных организмов, то есть идентификацию полученных ампликонов, более целесообразно проводить методом высокоразрешающего капиллярного электрофореза на генетических анализаторах. Метод фрагментного анализа подразумевает амплификацию целевых фрагментов с локус-специфичными (микросателлитными) праймерами, меченными флуоресцентными красителями.

Важным этапом методики генетической паспортизации является оценка внутрелинейного ДНК-полиморфизма. Исходя из этого, судят об однородности генотипов родительских линий и гибридов. При оценке ДНК-полиморфизма между гибридами возможно использование «микс-образца» [26]. Первоначально осуществляют SSR-анализ каждого генотипа с применением 5 наиболее полиморфных микросателлитных маркеров для определения однородности линейного или гибридного материала. В случае однородности проводят анализ образца ДНК из общей навески («микс-образец») по остальным маркерам. При различии ДНК-паттернов индивидуальных генотипов судят о гетерогенности гибрида [27].

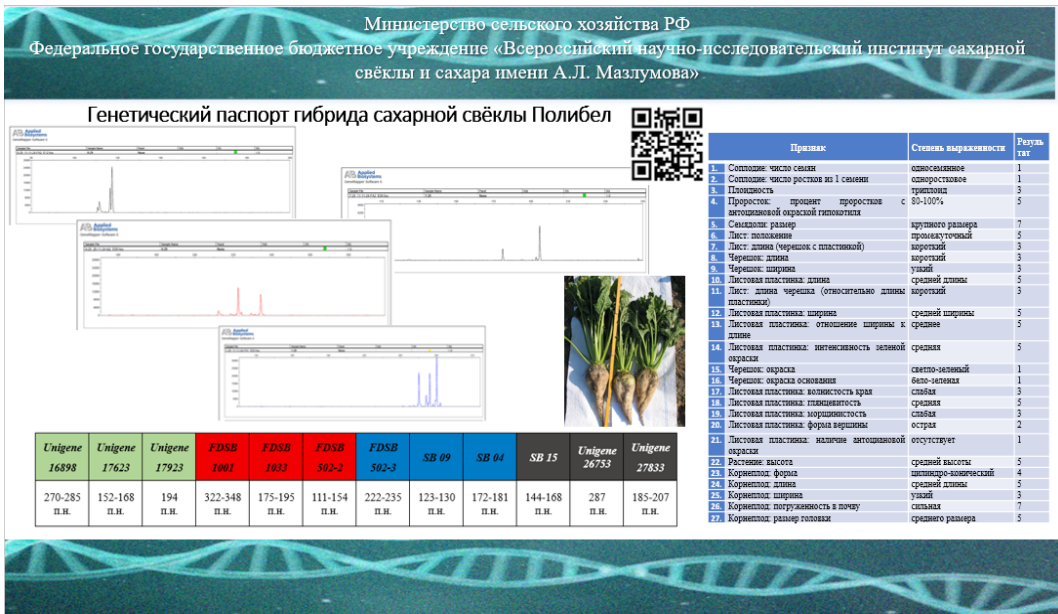


Рис. 1. Генетический паспорт гибрида сахарной свеклы Полибел (РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», Беларусь)

Figure 1. Genetic passport of the sugar beet hybrid “Polibel” (Experimental Scientific Station for Sugar Beet, Belarus)

Таблица 1
Тестирование по SSR-маркерам родительских компонентов и гибридов сахарной свеклы на однородность
Table 1

Assessment of homogeneity in sugar beet parental lines and hybrids using SSR markers

Генотип	unigene 16898	unigene 17623B	unigene 26753	unigene 17923	unigene 27833	FDSB1001	FDSB1033	FDSB 502-2	FDSB 502-3	SB09	SB04	SB15
PMC127 F1	256/270/272/280	153/161	287	182/189/199/209	205/207	312/330	175/192/195	106/111/117	222/240	123/130/133	181/184	140/148/164
MC-форма	256/270/280	153/161/165	287	182/185/189	195/200/207	312/330	175/192/195	111/117/154	222/240	123/130	181/184	148/169
MC-форма	270/280	161	287/301	182/189/209	195/207	312/330	175/192	111/117	222/240	123/130	181/184	140/144/148
MC-форма	270/280	161	287	182	195/207	312/330	175/192	111/117	222/240	123/130/133	181/184	140/144/148
ОП	270/272	165	287	182/189/209	205/207	312/330	175/195	111/117	222/240	123/130	181/184	144/148/154/164
PMC133 F1	270/280	159	287	189/209	195/207	312/330	175/192	111/154	222/240	123/130	181/184	140/148
MC-форма	272/280	151/161/165	287	0	195/207	312/322/330	175/192	111	240	123/130	181/184	140/144/148
MC-форма	270/280/285	161	287/301	0	185/195/205	312/322/330	175/192/195	111/117/154	222/231/240	123/130/133	181/184	140/148
MC-форма	270/280	159	287	177	195/205	312/322/330	175/192/195	111/154	222/240	123/130	181/184	148/164
ОП	270/272	159	287	0	185/205	312/330	175/192/195/219	111/117/154	222/240	123/130	172/181	140/148/154/168
О-тип	272/276	161	287	0	195/205/207	330	175/192/219	111/154	222/240	123/130	181/184	140/148
О-тип	270	161	287/301	0	195/207	312/320/330/348	175/192	111/154	222/240	123/130	181/184	140/144/148
О-тип	270/285	159	287	0	195/207	330	175/195	111/154	222/240	123/130	181/184	140/148

При наличии 5 и большего количества биотипов с различающимся аллельным составом проведение идентификации гибрида (образца) будет нецелесообразным. Далее выполняется оценка на чистоту и однородность родительских линий сахарной свеклы по 12 полиморфным микросателлитным маркерам.

Результаты проведенных молекулярно-генетических исследований родительских форм гибридов сахарной свеклы РМС 127 и РМС 133 свидетельствует о достаточной генетической выравненности их по изученным микросателлитным локусам.

Среди всех аллелей на исследованных локусах около 55–60% оказались доминантными (частота встречаемости >50%), что свидетельствует о микросателлитной стабильности генома сахарной свеклы. В проанализированных образцах присутствовало 25–30% аллелей со средней частотой от 20 до 50% и 10–15% аллелей с редкой частотой встречаемости – менее 20%. В совокупности можно сделать вывод о высокой консервативности геномов исследуемых генотипов сахарной свеклы за счет высокого процента доминантных аллелей при одновременном сохранении генетического разнообразия в присутствии аллелей средней частоты и редких аллелей.

По результатам ПЦР-анализа разработаны молекулярно-генетические формулы, которые стали основой для составления генетических паспортов родительских форм и гибридов сахарной свеклы, включающие в себя данные об оригинаторе, происхождении гибридов, основных биоморфологических признаках, детектированных аллелях микросателлитных локусов. Также идентифицированные ДНК-фрагменты позволяют вычислять генетическое сходство между исследованными образцами (табл. 2), методом кластерного анализа строить дендрограммы предполагаемых эволюционных взаимодействий [2] (рис. 2).

Таблица 2

Матрица генетического сходства (по Жаккару) гибридов сахарной свеклы

Table 2

Genetic similarity matrix (Jaccard index) of sugar beet hybrids

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0,56	0,5	0,56	0,48	0,52	0,33	0,36	0,34	0,47
2	0,56	1	0,56	0,58	0,47	0,51	0,30	0,42	0,37	0,42
3	0,50	0,56	1	0,56	0,41	0,48	0,33	0,47	0,37	0,43
4	0,56	0,58	0,56	1	0,63	0,63	0,33	0,48	0,50	0,48
5	0,48	0,47	0,41	0,63	1	0,87	0,36	0,42	0,51	0,66
6	0,52	0,51	0,48	0,63	0,87	1	0,36	0,50	0,43	0,62
7	0,33	0,30	0,33	0,33	0,36	0,36	1	0,35	0,35	0,45
8	0,36	0,42	0,47	0,48	0,42	0,50	0,35	1	0,62	0,56
9	0,34	0,37	0,37	0,50	0,51	0,43	0,35	0,62	1	0,54
10	0,47	0,42	0,43	0,48	0,66	0,62	0,45	0,56	0,54	1

Обозначения: 1 – РМС 129; 2 – РМС 127; 3 – РМС 133; 4 – РМС 137; 5 – Финал; 6 – Конкурс; 7 – Полибел; 8 – Алеся; 9 – Алиция; 10 – Белпол.

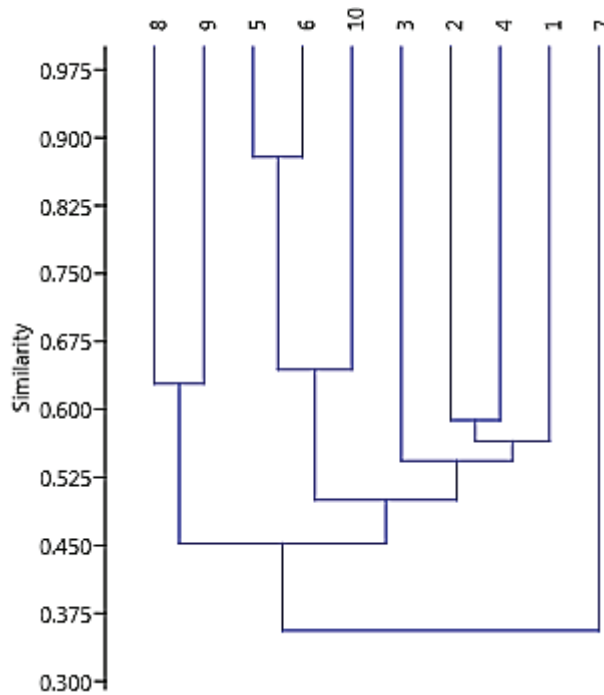


Рис. 2. Генетическое сходство гибридов сахарной свеклы на основе бинарной меры сходства по Жаккару:
1 – РМС 129; 2 – РМС 127; 3 – РМС 133; 4 – РМС 137; 5 – Финал;
6 – Конкурс; 7 – Полибел; 8 – Алеся; 9 – Алиция; 10 – Белпол

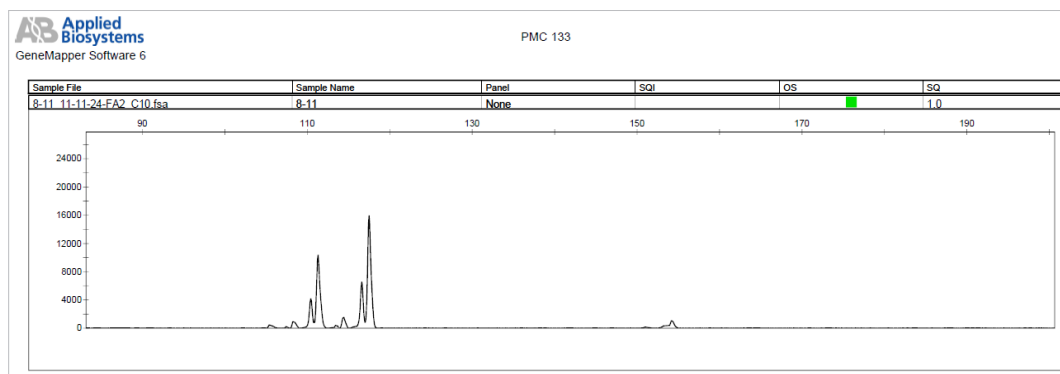
Figure 2. Genetic similarity among sugar beet hybrids based on Jaccard's binary similarity coefficient:
1 – RMS129; 2 – RMS127; 3 – RMS133, 4 – RMS137; 5 – Final;
6 – Konkurs; 7 – Polibel; 8 – Alesya; 9 – Alitsiya; 10 – Belpol

С помощью программного обеспечения PAST проанализированы полученные результаты генотипирования, на основании чего составлены бинарные матрицы для каждой комбинации праймеров, определены индексы генетического сходства Жаккара [25] для попарного сравнения гибридов, а затем составлена дендрограмма методом UPGMA, проведена их кластеризация и установлены предполагаемые родственные связи.

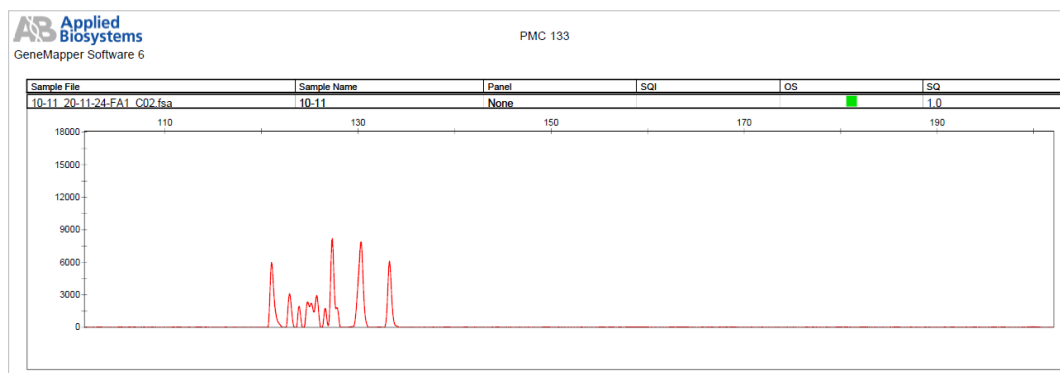
Анализируя результаты кластерного анализа, важно отметить, что на представленной дендрограмме гибриды сахарной свеклы Рамонского происхождения: РМС 129, РМС 127, РМС 133, РМС 137 – объединяются в отдельную группу, что свидетельствует об их генетической близости по изученным микросателлитным маркерам. Отдельные группы также составляют гибриды Льговской селекции Конкурс и Финал и гибриды белорусской селекции Алеся и Алиция, так как они имеют в своем генетическом составе близкородственные формы с цитоплазматической мужской стерильностью и сростноплодные опылители и повышенное значение коэффициента сходства Жаккара ($K_j = 0,62$). Примечателен тот факт, что триплоидные ($3n = 27$) Льговские гибриды Финал и Конкурс находятся в одном объединяющем кластере, и с ними кластеризуется также триплоидный гибрид совместной белорусско-польской селекции Белпол ($3n = 27$), что объясняется их полиплоидной природой. Пониженными значениями бинарной меры сходства по Жаккару в пределах $K_j = 0,33-0,45$ со всеми

изученными генотипами сахарной свеклы характеризуется гибрид белорусско-польской селекции Полибел.

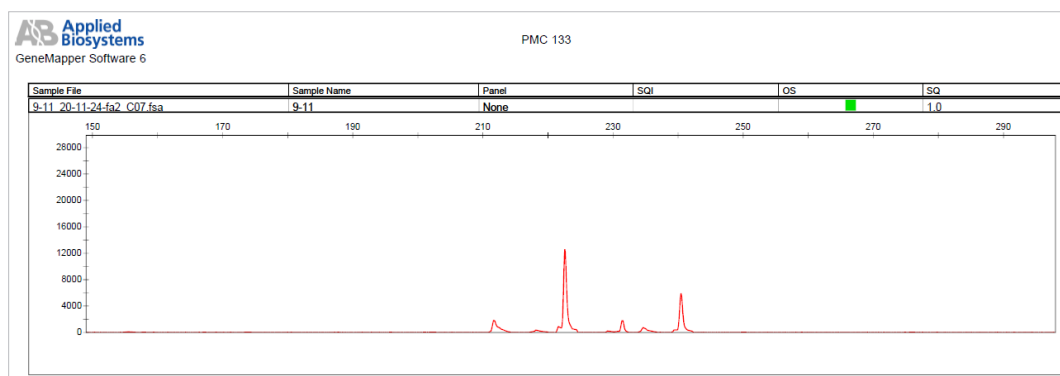
Анализ молекулярно-генетических данных. Длину полученных ДНК-фрагментов, образованных при амплификации с вышеуказанными SSR-маркерами, устанавливали при помощи ПО «GeneMapper Software» (рис. 3).



a



б



в

Рис. 3. Электрофореграмма ПЦР-продуктов гибрида сахарной свеклы PMC 133 микросателлитных локусов:

a – FDSB502–2; б – FDSB502–3; в – Sb09

Figure 3. Electropherogram of PCR products from 2 of the sugar beet hybrid RMS133 of microsatellite locuses:

a – FDSB502–2; b – FDSB502–3; c – Sb09

Осуществляли детекцию генотипов в зависимости от присутствия/отсутствия в геноме изучаемого растения сахарной свеклы определенных аллелей в данном микросателлитном локусе. Далее составляли двоичную таблицу (матрицу) согласно полученным данным, где наличие ДНК-ампликона указывалась цифрой 1, отсутствие определялось цифрой 0. Составленная таблица служит основой для отбора информативных микросателлитных маркеров и создания молекулярно-генетических паспортов. Составленные молекулярно-генетические формулы являются основой генетического паспорта, содержащего также информацию о происхождении образца, регионах возделывания, об основных фенотипических признаках и о составе аллелей в отдельных SSR-локусах генома.

Пример молекулярно-генетических формул генотипов сахарной свеклы с использованием панели SSR-маркеров приведен в таблице 3.

Таким образом, с использованием панели 12 полиморфных SSR-маркеров разработаны молекулярно-генетические паспорта для 18 перспективных гибридов сахарной свеклы.

Таблица 3

Молекулярно-генетические формулы изученных гибридов сахарной свеклы и родительских компонентов

Table 3

Molecular genetic profiles of the studied sugar beet hybrids and parental lines

№	Гибриды и родительские компоненты	Молекулярно-генетические формулы
1	PMC 129 F1	$A_{268/270/285}B_{151/161}C_{287}D_{182/199/209}E_{185/195/207}F_{312/328}G_{175/192/195}$ $H_{111/117}I_{222/240}J_{123/130}K_{181/184}L_{140/148}$
2	PMC 129 МС-форма	$A_{256/270/280}B_{140/161}C_{287}D_{182/190/209}E_{195/207}F_{312/330}G_{175/192/195}H_{117/154}$ $I_{222/240}J_{123/130/133}K_{181/184}L_{140/148}$
3	PMC 129 ОП	$A_{256/270/280}B_{153/161}C_{287/301}D_{182/209}E_{185/195/202}F_{312}G_{175/192/195}$ $H_{111/117}I_{222/240}J_{123/130}K_{172/181}L_{140/148}$
4	PMC 127 F1	$A_{256/270/274/280}B_{153/161}C_{287}D_{182/189//199/209}E_{205/207}F_{312/330}G_{175/192/195}$ $H_{106/111/117}I_{222/240}J_{123/130/133}K_{181/184}L_{140/148/164}$
5	PMC 127 МС-форма	$A_{256/270/280}B_{153/161/165}C_{287}D_{182/185/189}E_{195/200/207}F_{312/330}G_{175/192/195}$ $H_{111/117/154}I_{222/240}J_{123/130}K_{181/184}L_{148/169}$
6	PMC 127 ОП	$A_{270/272}B_{165}C_{287}D_{182/189/209}E_{205/207}F_{312/330}G_{175/195}H_{111/117}I_{222/240}$ $J_{123/130}K_{181/184}L_{144/148/154/164}$
7	PMC 133 F1	$A_{266}B_{161}C_{287}D_{185/189/199/209}E_{195/205/207}F_{312/330}G_{175/192}H_{111/117/154}$ $I_{222/240}J_{123/130}K_{172/181}L_{140/148/164/168}$
8	PMC 133 МС-форма	$A_{272}B_{159}C_{287}D_{189}E_{195/207}F_{312/330}G_{175/192/195}H_{111/117/154}I_{222/240}$ $J_{123/130}K_{181/184}L_{140/148}$
9	PMC 133 ОП	$A_{253/266}B_{157}C_{287}D_{182}E_{195/207}F_{312/322/330}G_{175/192}H_{111/117}I_{222/240}$ $J_{123/130/133}K_{181/184}L_{140/148/164}$

10	РМС 133 О-тип	$A_{266/270/274} B_{156/159} C_{287} D_{189/209} E_{195/207} F_{312/330} G_{175/192} H_{111/117} I_{222/240}$ $J_{123/130} K_{181/184} L_{140/148/164/168}$
11	РМС 137 F1	$A_{270/280} B_{159} C_{287} D_{189/209} E_{195/207} F_{312/330} G_{175/192} H_{111/154} I_{222/240}$ $J_{123/130} K_{181/184} L_{140/148}$
12	РМС 137 МС-форма	$A_{272/280} B_{151/161/165} C_{287} D_{189/205} E_{195/207} F_{312/322/330} G_{175/192} H_{111} I_{240}$ $J_{123/130} K_{181/184} L_{140/144/148}$
13	РМС 137 ОП	$A_{270/272} B_{159} C_{287} D_{185/205} E_{195/207} F_{312/330} G_{175/192/195/219} H_{111/117/154} I_{222/240}$ $J_{123/130} K_{172/181} L_{140/148/154/168}$
14	РМС 137 О-тип	$A_{272/276} B_{161} C_{287} D_{189/205/207} E_{195/207} F_{330} G_{175/192/219} H_{111/154} I_{222/240}$ $J_{123/130} K_{181/184} L_{140/148}$
15	Финал	$A_{270/272/280} B_{149/159/165} C_{287} D_{182} E_{185/195/207} F_{295/312/330/348} G_{175/192/195/219}$ $H_{111/154} I_{222/240} J_{123/130} K_{181/184} L_{140/148/154/164}$
16	Конкурс	$A_{270/280} B_{149/159/165} C_{287} D_{182/185} E_{185/195/207} F_{295/312/330/348} G_{175/192/195/219}$ $H_{111/117/154} I_{222/240} J_{123/130} K_{181/184} L_{140/148/164}$
17	Полибел	$A_{270/280/285} B_{152/161/168} C_{287} D_{194} E_{185/195/205} F_{322/330/348} G_{175/195} H_{111/154}$ $I_{222/235} J_{123/130} K_{172/181} L_{144/168}$
18	Алеся	$A_{257/270/280} B_{151/159} C_{287/301} D_{185/189/209} E_{185/205/207} F_{295/312/322/330} G_{192}$ $H_{111/117/154} I_{222/240} J_{123/130} K_{181/184} L_{144/164/168}$
19	Алиция	$A_{270/272/280} B_{151/159/168} C_{287/301} D_{189} E_{185/195/205/207} F_{295/312/330} G_{192} H_{111/154}$ $I_{222/248} J_{123/130/133} K_{181/184} L_{148/154/158/168}$
20	Белпол	$A_{270/272/285} B_{149/157/159} C_{287} D_{189} E_{185/195/205/207} F_{295/312/322/330} G_{175/192/195}$ $H_{111/117/154} I_{222/240} J_{123/130} K_{181/184} L_{144/154/164}$

Примечание. Латинскими буквами обозначены маркеры: **A** – Unigene 16898; **B** – Unigene 17623; **C** – Unigene 26753; **D** – Unigene 17923; **E** – Unigene 27833; **F** – FDSB1001; **G** – FDSB1033; **H** – FDSB502–2; **I** – FDSB502–3; **J** – Sb09; **K** – Sb04; **L** – Sb15. Цифровой индекс указывает размер выявленных аллелей в парах нуклеотидов.

Выводы Conclusions

Разработана система ДНК-идентификации и генетической паспортизации генотипов сахарной свеклы по панелям 12 перспективных информативных молекулярных маркеров (SSR-маркеры). Для нескольких родительских линий и гибридов изучаемой культуры составлены уникальные молекулярно-генетические формулы, в которых отображаются аллельный состав микросателлитных локусов и полиморфизм фрагментов амплификации.

На основе разработанной маркерной системы созданы генетические паспорта для 18 генотипов районированных гибридов сахарной свеклы и 10 родительских линий. Сравнение анализируемого образца с эталонным ДНК-паспортом облегчит решение таких задач, как генетическая идентификация и контроль чистоты гибридов, а также соответствия семенного материала заявленному гибриду.

Все представленные авторами методы – такие, как способ выделения ДНК из семян, проростков, листовых пластинок, корнеплодов на основе «микс-стратегии», модифицированные условия ПЦР, детекции и анализа результатов, адаптированы для сахарной свеклы, считаются универсальными для идентификации и паспортизации образцов.

Подводя итоги проделанной работы, можно сформулировать следующие выводы:

1. Выявленное с использованием панели 12 полиморфных SSR-маркеров молекулярно-генетическое разнообразие гибридов сахарной свеклы показало четкое разграничение между гибридами сахарной свеклы различного происхождения.

2. С помощью кластерного анализа обнаруживается наличие родственных связей между гибридами, которые созданы разными исследовательскими группами, использующими близкородственные исходные материалы своих учреждений (Рамонские, Львовские, Белорусские). Полученные результаты молекулярно-генетического анализа соответствуют генеалогическим характеристикам.

3. С использованием молекулярно-генетических формул отобранных маркеров возможно создание генетических паспортов отечественных и зарубежных гибридов сахарной свеклы.

Таким образом, комбинация фенотипических данных и молекулярно-генетических маркеров обеспечила более полную и точную паспортизацию гибридов сахарной свеклы (рис. 1).

Список источников

1. Шалаева Т.В., Анискина Ю.В., Колобова О.С. и др. Исследование микросателлитных локусов генома сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) для создания технологии генетического анализа линий и гибридов // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. № 58 (3). С. 483–493. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.3.483rus>

2. Налбандян А.А., Федуллова Т.П., Черепухина И.В. и др. Молекулярно-генетическая идентификация и паспортизация гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 4. С. 70–88. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-70-88>

3. Smulders M., Esselink G., Danny G. et al. Characterisation of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) Varieties Using Microsatellite Markers. *BMC Genetics*. 2010;11:41. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-41>

4. Fugate K., Fajardo D., Schlautman B. et al. Generation and Characterization of a Sugar Beet Transcriptome and Transcript-based SSR Markers. *The Plant Genome*. 2014;7(2). Pp. 1-13. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2013.11.0038>

5. Mason A.S. SSR Genotyping. *Methods Mol Biol*. 2015;1245:77-89. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1966-6_6

6. Yang J., Zhang J., Han R. et al. Target SSR-Seq: A Novel SSR Genotyping Technology associate with perfect SSRs in genetic analysis of cucumber varieties. *Front. Plant Sci*. 2019;10:531. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00531>

7. Liuhuizi D., Zhi P., Zedong W. Construction of SSR Fingerprint and Analysis of Genetic Diversity of Sugar Beet Varieties. *J. Crops*. 2021;37(5):72-78. <https://doi.org/10.16035/j.issn.1001-7283.2021.05.011>

8. Amangeldiyeva A., Daniyarova A., Tabynbayeva L. et al. Assessment of the Genetic Diversity in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Using SSR Markers. *SABRAO J. Breed. Genet*. 2023;55(5):1616-1628. <https://doi.org/10.54910/sabrael2023.55.5.15>

9. Celik I. Genome-wide Development and Physical Mapping of SSR Markers in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2023;13(1):112-119. <https://doi.org/10.21597/jist.1187003>
10. Nadeem M., Nawaz M., Shahid M. DNA Molecular Markers in Plant Breeding: Current Status and Recent Advancements in Genomic Selection and Genome Editing. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 2018;32(2):261-285. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1400401>
11. Taheri S., Abdullah L., Yusop M. et al. Mining and Development of Novel SSR Markers Using Next Generation Sequencing (NGS) Data in Plants. *Molecules*. 2018;23(2):399. <https://doi.org/10.3390/molecules23020399>
12. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V. Polymorphic microsatellite markers to study sugar beet's (*Beta vulgaris* L.) genetic diversity. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49:1-7. <https://doi.org/10.3103/S1068367423010123>
13. Testolin R., Messina R., Cipriani G., De Mori G. SSR-based DNA Fingerprinting of Fruit Crops. *Hortic. Rev.* 2023;63(2):390-459. <https://doi.org/10.1002/csc2.20896>
14. Shavrukov Y., Hinrichsen P., Watanabe S. Editorial: Plant Genotyping: from Traditional Markers to Modern Technologies. *Front. Plant Sci.* 2024;15:1419798. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1419798>
15. Янковская А.А., Князева И.В., Упадышев М.Т. Молекулярное маркирование и генетическая паспортизация: использование в селекции, биотехнологии и идентификации садовых культур // *Садоводство и виноградарство*. 2019. № 5. С. 5–11. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-5-11>
16. Рыбаков Д.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г. и др. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Всероссийского научно-исследовательского института картофеля им. А.Г. Лорха // *Биотехнология и селекция растений*. 2020. № 3 (4). С. 5–52. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-4-01>
17. Yin J., Zhao H., Wu X. et al. SSR Marker-based Analysis for Identification and of Genetic Diversity of Non-heading Chinese Cabbage Varieties. *Front. Plant Sci.* 2023;14:1112748. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1112748>
18. Sato S., Isobe S., Asamizu E., Ohmido N., Kataoka R., Nakamura Y., Kaneko T., Sakurai N., Okumura K., Klimenko I., Sasamoto S., Wada T., Watanabe A., Kohara M., Fujishiro T., Tabata S. Comprehensive structural analysis of the genome of red clover (*Trifolium pratense* L.). *DNA Res.* 2005;12(5):301-364. <https://doi.org/10.1093/dnares/dsi018>
19. Базанов Т.А., Ущеповский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. № 184 (1). С. 163–176. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176>
20. Макаров А.М. Фенотипическая изменчивость морфобиологических признаков в селекции сахарной свеклы: Дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 2004. 126 с.
21. Desai S., Ramesh S., Vijayanthi P., Mohan R. SSR markers assay-based establishment of distinctness, uniformity and stability of dolichos bean [*Lablab purpureus* (L.) Sweet var. *Lignosus*] advanced breeding lines and elite germplasm accessions. *Genet Resour Crop Evol.* 2021;68:1309-1314. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01128-1>

22. McGrath J.M., Trebbi D., Fenwick A., Panella L., Schulz B., Laurent V., Barnes S., Murray S. An open-source first-generation molecular genetic map from a sugarbeet x table beet cross and its extension to physical mapping. *Plant Gen.* 2007;1:27-44. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006-05-0339tpg>
23. Richards Ch., Brownson M., Mitchell Sh., Kresovich S., Panella L. Polymorphic microsatellite markers for inferring diversity in wild and domesticated sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Mol. Ecol. Notes.* 2004;4:243-245. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00630.x>
24. Botstein D. A theory of modular evolution for bacteriophages. *Ann N Y Acad Sci.* 1980;354(1):484-491. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1980.tb27987.x>
25. Zhang S., Wu X., You Z. Jaccard distance based weighted sparse representation for coarse-to-fine plant species recognition. *PLoS ONE.* 2017;12(6): e0178317. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178317>
26. Fu Y.Bi. Applications of bulking in molecular characterization for plant germplasm: a critical review. *Plant Genet. Res.* 2003;1(2-3):161-167. <https://doi.org/10.1079/PGR20032>
27. Клименко И.А., Козлов Н.Н., Костенко С.И., Шамустакимова А.О. и др. Идентификация и паспортизация сортов кормовых трав (клевера лугового, люцерны изменчивой, посевной и хмелевидной) на основе ДНК-маркеров: Методические рекомендации. Москва: Угреша Т, 2020. 35 с.

References

1. Shalaeva T.V., Aniskina Yu.V., Kolobova O.S., Velishaeva N.S. et al. Investigation of the sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) microsatellite loci structure to develop a technology for genetic analysis of sugar beet lines and hybrids. *Agricultural Biology.* 2023;58(3):483-493. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.3.483rus>
2. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Cherepukhina I.V., Rudenko T.S. et al. Molecular genetic identification and certification of sugar beet hybrids using microsatellite markers. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2024;(4):70-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-70-88>
3. Smulders M., Esselink G., Danny G., Riek J. et al. Characterisation of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) Varieties Using Microsatellite Markers. *BMC Genetics.* 2010;11:41. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-41>
4. Fugate K., Fajardo D., Schlautman B., Ferrareze J.P. et al. Generation and Characterization of a Sugar Beet Transcriptome and Transcript-based SSR Markers. *The Plant Genome.* 2014;7(2):1-13. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2013.11.0038>
5. Mason A.S. SSR Genotyping. *Methods Mol Biol.* 2015;1245:77-89. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1966-6_6
6. Yang J., Zhang J., Han R., Zhang F. et al. Target SSR-Seq: A Novel SSR Genotyping Technology associate with perfect SSRs in genetic analysis of cucumber varieties. *Front. Plant Sci.* 2019;10:531. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00531>
7. Liuhuizi D., Zhi P., Zedong W. Construction of SSR Fingerprint and Analysis of Genetic Diversity of Sugar Beet Varieties. *J. Crops.* 2021;37(5):72-78. <https://doi.org/10.16035/j.issn.1001-7283.2021.05.011>
8. Amangeldiyeva A., Daniyarova A., Tabybayeva L., Bastaubayeva S. et al. Assessment of the Genetic Diversity in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Using SSR Markers. *SABRAO J. Breed. Genet.* 2023;55(5):1616-1628. <https://doi.org/10.54910/sabao2023.55.5.15>

9. Celik I. Genome-wide Development and Physical Mapping of SSR Markers in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2023;13(1):112-119. <https://doi.org/10.21597/jist.1187003>
10. Nadeem M., Nawaz M., Shahid M. DNA Molecular Markers in Plant Breeding: Current Status and Recent Advancements in Genomic Selection and Genome Editing. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 2018;32(2):261-285. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1400401>
11. Taheri S., Abdullah L., Yusop M., Hanafi M. et al. . Mining and Development of Novel SSR Markers Using Next Generation Sequencing (NGS) Data in Plants. *Molecules*. 2018;23(2):399. <https://doi.org/10.3390/molecules23020399>
12. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V. et al. Polymorphic microsatellite markers to study sugar beet's (*Beta vulgaris* L.) genetic diversity. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49:1-7. <https://doi.org/10.3103/S1068367423010123>
13. Testolin R., Messina R., Cipriani G., De Mori G. SSR-based DNA Fingerprinting of Fruit Crops. *Hortic. Rev.* 2023;63(2):390-459. <https://doi.org/10.1002/csc2.20896>
14. Shavrukov Y., Hinrichsen P., Watanabe S. Editorial: Plant Genotyping: from Traditional Markers to Modern Technologies. *Front. Plant Sci.* 2024;15:1419798. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1419798>
15. Yankovskaya A.A., Knyazeva I.V., Upadishev M.T. Molecular marking and genetic certification: application in plant breeding, biotechnology and identification of horticultural crops. *Horticulture and Viticulture*. 2019;(5):5-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-5-11>
16. Rybakov D.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Fomina N.A. et al. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the A.G. Lorkh All-Russian Research Institute of Potato Farming. *Biotehnologiya i selekciya rastenij*. 2020;3(4):5-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-4-o1>
17. Yin J., Zhao H., Wu X., Ma Y. et al. SSR Marker-Based Analysis for Identification and of Genetic Diversity of Non-Heading Chinese Cabbage Varieties. *Front. Plant Sci.* 2023;14:1112748. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1112748>
18. Sato S., Isobe S., Asamizu E., Ohmido N. et al. Comprehensive Structural Analysis of the Genome of Red Clover (*Trifolium pratense* L.). *DNA Res.* 2005;12(5):301-364. <https://doi.org/10.1093/dnares/dsi018>
19. Bazanov T.A., Ushapovskiy I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V. et al. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Breeding Achievements of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):163-176. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-163-176>
20. Makarov A.M. *Phenotypic variability of morphobiological traits in sugar beet breeding*: CSc (Ag) thesis. Voronezh, Russia, 2004:126. (In Russ.)
21. Desai S., Ramesh S., Vijayanthi P., Mohan R. SSR Markers Assay-Based Establishment of Distinctness, Uniformity and Stability of Dolichos Bean [*Lablab purpureus* (L.) Sweet var. *Lignosus*] Advanced Breeding Lines and Elite Germplasm Accessions. *Genet Resour Crop Evol.* 2021;68:1309-1314. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01128-1>
22. McGrath J.M., Trebbi D., Fenwick A., Panella L. et al. An Open-Source First-Generation Molecular Genetic Map from a Sugarbeet x Table Beet Cross and Its Extension to Physical Mapping. *Plant Gen.* 2007;1:27-44. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006-05-0339tpg>

23. Richards Ch., Brownson M., Mitchell Sh., Kresovich S., Panella L. Polymorphic Microsatellite Markers for Inferring Diversity in Wild and Domesticated Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Mol. Ecol. Notes*. 2004;4:243-245. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00630.x>
24. Botstein D. A theory of Modular Evolution for Bacteriophages. *Ann N Y Acad Sci*. 1980;354(1):484-90. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1980.tb27987.x>
25. Zhang S., Wu X., You Z. Jaccard Distance Based Weighted Sparse Representation for Coarse-to-Fine Plant Species Recognition. *PLoS ONE*. 2017;12(6): e0178317. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178317>
26. Fu Y.Bi. Applications of Bulking in Molecular Characterization for Plant Germplasm: A Critical Review. *Plant Genet. Res.* 2003;1(2-3):161-167. <https://doi.org/10.1079/PGR20032>
27. Klimenko I.A., Kozlov N.N., Kostenko S.I., Shamustakimova A.O. et al. Identification and certification of forage grass varieties (meadow clover, variable alfalfa, common alfalfa and hop grass) based on DNA markers. *Guidelines*. Moscow, Russia: Ugresha T, 2020:35. (In Russ.)

Сведения об авторах

Арпине Артаваздовна Налбандян, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией маркер-ориентированной селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86; e-mail: arpna1@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5959-047X>

Татьяна Петровна Федулова, д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86; e-mail: biotechnologiya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6479-9187>

Ирина Вячеславовна Черепухина, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86; e-mail: irenius@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6470-5243>

Татьяна Сергеевна Руденко, научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86; e-mail: ipigun6292@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4653-4115>

Светлана Александровна Мелентьева, заместитель директора по науке, Республиканское дочернее унитарное предприятие «Опытная научная станция по сахарной свекле»; 222603, Республика Беларусь, Минская область, г. Несвиж, ул. Озерная, 1; e-mail: melenteva-s@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6396-0576>

Information about the authors

Arpine A. Nalbandian, CSc (Bio), Leading Research Associate, Head of the Laboratory of Marker Assisted Selection, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy; 86, VNIISS Vlg., Ramonsky District, Voronezh Region, 396030, Russian Federation; e-mail: arpnal@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5959-047X>

Tatyana P. Fedulova, DSc (Bio), Chief Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy; 86, VNIISS Vlg., Ramonsky District, Voronezh Region, 396030, Russian Federation; e-mail: biotechnologiya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6479-9187>

Irina V. Cherepukhina, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy; 86, VNIISS Vlg., Ramonsky District, Voronezh Region, 396030, Russian Federation; e-mail: irenius@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6470-5243>

Tatyana S. Rudenko, Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy; 86, VNIISS Vlg., Ramonsky District, Voronezh Region, 396030, Russian Federation; e-mail: ipigun6292@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4653-4115>

Svetlana A. Melenteva, Deputy Director for Science, Experimental Scientific Station for Sugar Beet; 1 Ozeraya St., Nesvizh, Minsk Region, 222603, Republic of Belarus; <https://orcid.org/0009-0000-6396-0576>

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

**Разработка ПЦР-тестов для идентификации калифорнийской щитовки
Diaspidiotus perniciosus (Hemiptera: Diaspididae)**

Андрей Владимирович Шипулин✉

Всероссийский центр карантина растений

✉ **Автор, ответственный за переписку:** schipulin.andrey2016@yandex.ru

Аннотация

Калифорнийская щитовка *Diaspidiotus (Quadraspidotus) perniciosus* (Comstock, 1881) относится к числу экономически значимых вредителей плодовых культур, регулируется Единым перечнем карантинных объектов Евразийского экономического союза. В карантинных фитосанитарных лабораториях диагностика этого вида проводится морфологическими методами, тогда как ПЦР-тесты в отношении калифорнийской щитовки не применяются. Статья посвящена разработке ПЦР-тестов для идентификации *D. perniciosus* на основе видоспецифичных праймеров Dp1-F/Dp1-R, которые позволяют получить ампликон размером 216 п.н., и зонда Dp1-probe для участка митохондриального гена COI. Тестирование пары праймеров и зонда *in silico* показало их видоспецифичность в отношении *D. perniciosus*. Были предложены три ПЦР-теста: 1) с электрофоретической детекцией ПЦР-продуктов; 2) в «реальном времени» с интеркалирующим красителем Sybr Green I; 3) в «реальном времени» с использованием «TaqMan» зонда. Апробация была проведена на образцах ДНК *D. perniciosus* и 15 видов Diaspididae, в том числе 8 видов рода *Diaspidiotus*. Во всех трех тестах положительный результат был зафиксирован только в случае целевого объекта, то есть показана специфичность предложенных методов идентификации. Аналитическая чувствительность каждого из трех ПЦР-тестов при испытании образцов *D. perniciosus* с концентрацией ДНК в диапазоне от 0,1 до 40,4 нг/мкл была равной 100%. Таким образом, ПЦР-тесты позволяют детектировать ДНК целевого объекта при ее минимальной концентрации. Разработанные ПЦР-тесты могут быть рекомендованы к применению для обеспечения карантинных фитосанитарных мер в лабораторной практике при идентификации калифорнийской щитовки, в том числе на преимагинальных стадиях. Выбор того или иного теста определяется оснащенностью лаборатории.

Ключевые слова

Защита растений, карантин растений, вредители плодовых культур, энтомология, диагностика, ПЦР

Благодарности

Автор выражает благодарность Н.А. Гура и Д.Г. Касаткину (ФГБУ «ВНИИКР») за предоставленный материал по отдельным видам щитовок. Работа выполнена в рамках НИОКТР 125032104330–0.

Для цитирования

Шипулин А.В. Разработка ПЦР-тестов для идентификации калифорнийской щитовки *Diaspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae) // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 83–96.

**Development of PCR tests for the identification
of *Diaspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae)**

Andrey V. Shipulin✉

All-Russian Plant Quarantine Center

✉ **Corresponding author:** schipulin.andrey2016@yandex.ru

Abstract

The San Jose scale, *Diaspidiotus (Quadraspidiotus) perniciosus* (Comstock, 1881), is a significant economic pest of fruit crops regulated under the Common List of Quarantine Pests of the Eurasian Economic Union. In quarantine phytosanitary laboratories, diagnosis of this species is typically performed using morphological methods; PCR tests for *D. perniciosus* are not routinely employed. This article describes the development of PCR tests for the identification of *D. perniciosus* based on species-specific primers Dp1-F/Dp1-R, which amplify a 216 bp amplicon, and a Dp1-probe targeting a region of the mitochondrial COI gene. *In silico* testing of the primer pair and probe demonstrated their species specificity for *D. perniciosus*. Three PCR tests were developed: 1) with electrophoretic detection of PCR products; 2) a real-time PCR with the intercalating dye Sybr Green I; and 3) a real-time PCR using a TaqMan probe. They were tested on DNA samples of *D. perniciosus* and 15 other Diaspididae species, including eight species of the genus *Diaspidiotus*. In all three tests, a positive result was only obtained for the target species, demonstrating the specificity of the proposed identification methods. The analytical sensitivity of each of the three PCR tests, when tested on *D. perniciosus* DNA samples with concentrations ranging from 0.1 to 40.4 ng/μL, was 100%, indicating that the PCR tests can detect the target DNA at its minimum concentration. The developed PCR tests can be recommended for use in quarantine phytosanitary measures in laboratory practice for the identification of *D. perniciosus*, including at pre-imaginal stages; the choice of a test depends on the available laboratory equipment.

Keywords

Plant protection, plant quarantine, fruit crop pests, entomology, diagnostics, PCR

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges N.A. Gura and D.G. Kasatkin (All-Russian Plant Quarantine Centre) for providing material on specific scale insect species. The work was conducted within the framework of research project No. 125032104330–0.

For citation

Shipulin A.V. Development of PCR tests for the identification of *Diaspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 83–96.

**Введение
Introduction**

Калифорнийская щитовка *Diaspidiotus (Quadraspidiotus) perniciosus* (Comstock, 1881)¹ – карантинный объект Единого перечня Евразийского экономического

¹ В Едином перечне карантинных объектов ЕАЭС вид отнесен к роду *Quadraspidiotus* MacGillivray, 1921. В данной работе принята точка зрения Е.М. Данциг (1993: 179), согласно которой вышеназванный таксон рассматривается в качестве младшего синонима рода *Diaspidiotus* Berlese et Leopardi, 1896 (примеч. авт.).

союза, вредитель плодовых культур [2, 3]. Идентификация данного организма проводится только морфологическими методами по взрослым самкам [1]. В подкарантинной продукции встречаются преимагинальные стадии щитовок, для которых установить видовую принадлежность классическими подходами не представляется возможным.

Молекулярно-генетические исследования щитовок Diaspididae в основном касаются вопросов филогенетического анализа на основе ядерных (28S, 16S, Efl α , CAD) и митохондриальных участков геномов (COI, COI–COII) [5, 8–11]. «Фолмеровский» участок COI применяется при видовой идентификации Diaspididae методом ДНК-баркодинга [4, 6, 13], так как в отличие от большинства изученных у щитовок генетических маркеров он менее консервативен и позволяет дифференцировать виды [4]. В отношении *D. perniciosus* известен только метод ПАПД ПЦР (RAPD PCR) [7], который, однако, не нашел широкого применения в фитосанитарной диагностике. В настоящее время ПЦР-тесты для идентификации калифорнийской щитовки на всех стадиях онтогенеза при проведении рутинной диагностики в испытательных лабораториях отсутствуют. К числу достоинств ПЦР-тестов можно отнести то, что они не требуют специальной подготовки персонала фитосанитарных лабораторий, так как выполняются по принципам молекулярно-генетических исследований, применяемых в других областях карантина и защиты растений.

Исходя из вышеизложенного целью исследований является разработка тест-систем для идентификации калифорнийской щитовки *Diaspidiotus (Quadraspidotus) perniciosus* на основе метода ПЦР. Основные задачи – подбор последовательностей видоспецифичных праймеров и зонда для калифорнийской щитовки по участку COI и их тестирование *in silico*; апробация трех ПЦР-тестов: 1) с детекцией ПЦР-продуктов с помощью электрофореза; ПЦР в режиме «реального времени» 2) с применением интеркалирующего красителя (SYBR Green I); 3) зонда по типу «TaqMan», а также оценка специфичности и аналитической чувствительности разработанных ПЦР-тестов.

Цель исследований: разработка тест-систем для идентификации калифорнийской щитовки *Diaspidiotus (Quadraspidotus) perniciosus* на основе метода ПЦР.

Методика исследований

Research method

Разработку ПЦР тест-систем для идентификации *D. perniciosus* проводили на основе половины «фолмеровского» фрагмента гена COI размером 330 пар оснований (п.о.). Для целевого вида были проанализированы 70 нуклеотидных последовательностей (из них 16 – оригинальных), депонированных в Генбанк [12]: OR726615.1-OR726619.1, OR759855.1-OR759861.1, OR758587.1, OR946333, OR946346.1, OR947623.1. Для поиска видоспецифичных участков сравнение проводили с 7 видами рода *Diaspidiotus* (табл. 1) и другими представителями сем. Diaspididae, трофически сходными с калифорнийской щитовкой (* – ориг. нуклеотидные последовательности):

Aonidiella Berlese & Leonardi, 1896: *Ao. aurantii* (Maskell, 1879) – HM474070.1, KY085174.1; *Ao. citrina* (Coquillett, 1891) – JQ267365.1, KX091185.1; *Ao. orientalis* (Newstead, 1894) – PQ837772.1.

Aspidiotus Bouche, 1833: *As. destructor* Signoret, 1869 – HM474075.1, MF775728.1; *As. excisus* Green, 1896 – HM474077.1, HM474079.1; *As. nerii* Bouche, 1833 – KY085080.1, KY085081.1, KY084962.1, KY084989.1.

Aulacaspis Cockerell, 1893: *Au. tubercularis* Newstead, 1906 – HM474091.1, HM474092.1; *Au. rosarum* Borchsenius, 1958 – KP981086.1, HM474087.1.

Chionaspis Signoret, 1868: *Ch. salicis* (Linnaeus, 1758) – OR915574.1*.
Chrysomphalus Ashmead, 1880: *C. aonidum* (Linnaeus, 1758) – GU936944.1, HM474095.1, OQ943789.1; *C. bifasciculatus* Ferris, 1938 – HM474098.1, HM474099.1; *C. dictyospermi* (Morgan, 1889) – JQ267366.1, KY085039.1.
Fiorinia Targioni Tozzetti, 1868: *F. phantasma* Cockerell & Robinson, 1915 – MW883926.1; *F. theae* Green, 1900 – MW883940.1.
Hemiberlesia Cockerell, 1897: *H. cyanophylli* (Signoret, 1869) – OR523700.1; *H. lataniae* (Signoret, 1869) – KY085315.1, KY085015.1, HQ179913.1; *H. rapax* (Comstock, 1881) – KY084977.1, KY085373.1.
Lepidosaphes Shimer, 1868: *Le. beckii* (Newman, 1869) – KY085083.1, KY085383.1, KY085001.1, OR527254.1; *Le. ulmi* (Linnaeus, 1758) – KY085073.1, KY085087.1, KY085094.1, OR916466.1*.
Lopholeucaspis Balachowsky, 1953: *L. japonica* (Cockerell, 1897) – HM474226.1, HM474228.1.
Melanaspis Cockerell, 1897: *Me. corticosa* (Brain, 1919) – OP442086.1.
Morganella Cockerell, 1897: *M. conspicua* (Brain, 1919) – KF461265.1.
Oceanaspidiotus Takagi, 1984: *O. spinosus* (Comstock, 1883) – HM474235.1, HM474236.1.
Parlatoria Targioni Tozzetti, 1868: *Pa. oleae* (Colvee, 1880) – MN102720.1, MN102721.1; *Pa. pergandii* Comstock, 1881 – JQ267369.1; *Pa. proteus* (Curtis, 1843) – HM474246.1, HM474245.1; *Pa. theae* Cockerell, 1896 – HM474247.1, HM474248.1.
Pseudaonidia Cockerell, 1897: *Ps. duplex* (Cockerell, 1896) – HM474322.1.
Pseudaulacaspis MacGillivray, 1921: *P. cockerelli* (Cooley, 1897) – HM474325.1, KX091223.1; *P. pentagona* (Targioni Tozzetti, 1886) – HM474342.1, HM474345.1, KX091220.1, OR915676.1*.
Unaspis MacGillivray, 1921: *U. yanonensis* (Kuwana, 1923) – KX091227.1.

Таблица 1

Перечень исследуемых видов рода *Diaspidiotus* с указанием кода нуклеотидных последовательностей, депонированных в Генбанке

Table 1

List of *Diaspidiotus* species examined, indicating the code of the nucleotide sequences deposited in the GenBank

Название вида	Код Генбанк
<i>D. ancylus</i> (Putnam, 1878)	KY085092.1, KY085079.1
<i>D. caucasicus</i> (Borchsenius, 1935)	OR800373.1*, OR939592.1*
<i>D. danzigae</i> Kuznetsov, 1976	OR791044.1*, OR822024.1*
<i>D. gigas</i> (Thiem & Gerneck, 1934)	OR758881.1*, OR758902.1*
<i>D. ostreaeformis</i> (Curtis, 1843)	OR759862.1*
<i>D. slavonicus</i> (Green, 1934)	OR943577.1*, OR943576.1*, OR943575.1*
<i>D. zonatus</i> (Frauenfeld, 1868)	OR793307.1*

*Оригинальный материал.

Выравнивание нуклеотидных последовательностей, дизайн праймеров и зондов для трех вариантов ПЦР тест-систем (с электрофоретической детекцией ПЦР-продуктов, с интеркалирующим красителем Sybr Green I и разработанным «Taq-Man» зонда) проводили в программе Unipro Ugene [14]. Далее проводили оценку видоспецифичности разработанных праймеров и зондов для целевого вида *in silico* в программе Primer Blast ГенБанка [12]. Синтез видоспецифичных олигонуклеотидов выполнен компанией АО «ГенТерра» (Россия).

Для оценки видоспецифичности были использованы образцы экстрагированной тотальной ДНК *D. perniciosus* (n = 19) и следующих видов щитовок (n = 15): *Diaspidiotus danzigae*, *D. gigas*, *D. marani*, *D. ostreaeformis*, *D. prunorum*, *D. pyri*, *D. slavonicus*, *D. zonatus*, *Ao. aurantii*, *Ao. orientalis*, *As. nerii*, *Ch. salicis*, *Le. ulmi*, *P. pentagona*, *Pa. pergandii*.

Состав реакционной смеси и температурно-временные условия для трех вариантов ПЦР тест-систем приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Состав реакционной смеси для проведения ПЦР

Table 2

PCR reaction mixture composition

Компоненты реакционной смеси	ПЦР с электрофоретической детекцией ПЦР-продуктов	ПЦР в режиме «реального времени» с применением	
		интеркалирующего красителя Sybr Green I	«Taq man» зонда
	Кол-во компонентов на 1 образец, мкл		
Микс 10х [*]	–	–	7,5
Микс 5х ^{**}	5,0	5,0	–
Прямой праймер (12,5 pm)	0,3	0,3	0,5
Обратный праймер (12,5 pm)	0,3	0,3	0,5
Зонд (5,0 pm)	–	–	1,0
Вода дистиллированная	18,4	18,4	14,0
Тaq ДНК-полимераза (5 е.а./мкл, 1000 е.а.)	–	–	0,5
ДНК	1,0	1,0	1,0

*Состав микса 10х (0,2М Tris-Cl – 1,25 мкл; 0,5М NaCl – 1,25 мкл; 2,5мМ смесь dNTP – 2,0 мкл; 50mM MgSO₄ – 3,0 мкл).

**Краситель Sybr Green I должен входить в состав микса 5х и использоваться только в ПЦР в режиме «реального времени».

Температурно-временные условия ПЦР

Table 3

PCR cycling conditions

Температура реакции ПЦР, °С	Время, мин, и кол-во циклов (ц.)					
	ПЦР с электро- форетической детекцией ПЦР-продуктов		ПЦР в режиме «реального времени»			
			интеркалирующий краситель Sybr Green I		зонд	
95	3,0 мин		3,0 мин		3,0 мин	
95	0,3 мин	40 ц.	0,3 мин	30 ц.	0,3 мин	40 ц.
59	1,0 мин		1,0 мин		1,0 мин	
56–95	—		0,05 мин		—	

*Температуры устанавливаются с шагом 0,5°С и используются для определения температуры плавления продуктов ПЦР.

Постановку ПЦР проводили с помощью термоциклеров T-100 (BioRad) и CFX-96 (BioRad). Для ПЦР с электрофоретической детекцией ПЦР-продуктов проводили электрофорез в 1,5%-ном агарозном геле с последующей фотофиксацией результатов в геледокументирующей системе Fusion (Vilber Lourmat). В качестве флуоресцентного красителя использовали dsSafe раствор (Lumiprobe). Для определения размера продукта амплификации применяли маркер длин от 50 до 1500 п.н. (DiaGene, Россия). Фиксацию и интерпретацию результатов ПЦР в режиме «реального времени» осуществляли в программе «Bio-Rad CFX Manager».

Оценку аналитической чувствительности проводили с образцами ДНК *D. perniciosus* разной концентрации (0,1–40,4 нг/мкл). Количественную и качественную оценку выделенной ДНК проводили с помощью измерения концентрации и отношения оптической плотности (A) при длинах волн 260 и 280 нм на приборе NanoDrop 2000 (Thermo Scientific). Коэффициент поглощения при 260 и 280 нм выделенной ДНК в среднем составлял 1,8.

Результаты и их обсуждение

Result and discussion

Первоначально было выполнено множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей фрагмента гена COI исследуемых видов щитовок из базы данных Генбанка с привлечением оригинальных данных для поиска специфичных участков, различающихся по нуклеотидному составу между *D. perniciosus* и нецелевыми видами щитовок. На основе полученных данных была сконструирована видоспецифичная в отношении *D. perniciosus* пара праймеров Dp1-F/ Dp1-R, которая позволяет получить ПЦР-продукт длиной 216 п.н., и зонд Dp1-probe по типу «TaqMan» (табл. 4).

**Нуклеотидные последовательности разработанных праймеров и зонда
для идентификации *D. perniciosus***

Table 4

**Nucleotide sequences of the developed primers and probe
for *D. perniciosus* identification**

Название праймеров и зонда	Нуклеотидная последовательность (5'-3')
Прямой праймер: Dp1-F	AATGATAATATTAATACAGGATGAACATT
Обратный праймер: Dp1-R	TATTGATGTGATTATGATAGATCAGC
Зонд: Dp1-probe	FAM-ACCCTCCATTAATTAATCAAAATAATTCATCA-BHQ1

Тестирование пары праймеров Dp1-F/ Dp1-R (*in silico*) на специфичность с помощью программы Primer Blast, реализованной в Генбанке, показало, что различие нуклеотидного состава для прямого праймера Dp1-F в сравнении с аналогичным участком у анализируемых видов в среднем составило 83,3%, для обратного праймера Dp1-R – 76,2%, для зонда Dp1-probe – 84,4%. В целом это свидетельствует о специфичности праймерной системы и зонда в отношении *D. perniciosus*. В случае, когда один праймер демонстрировал относительно низкую степень различия по нуклеотидному составу с последовательностью нецелевого вида, например, *Aonidiella orientalis*, второй праймер и зонд, напротив, характеризовались высокой степенью различия, чем была достигнута специфичность ПЦР-тест-систем.

Апробация праймерной системы Dp1-F/ Dp1-R с применением электрофоретической детекции ПЦР-продуктов продемонстрировала, что ПЦР-продукты размером, соответствующим заявленному в ~216 п.н., были получены только с образцами целевого вида – *D. perniciosus* (рис. 1). Аналитическая чувствительность: положительный результат ПЦР был зафиксирован для всех исследуемых концентраций ДНК *D. perniciosus* в диапазоне от 0,1 до 40,4 нг/мкл (рис. 2). Полученные данные в целом подтверждают результаты тестирования праймерной системы *in silico*.

В дальнейшем апробировали данную пару праймеров для метода ПЦР в режиме «реального времени» с применением интеркалирующего красителя Sybr Green I. В результате наблюдалось накопление ПЦР-продуктов только в случае с образцами ДНК *D. perniciosus* (рис. 3а), температура плавления которых была равна 73,5°C, что является характеристикой специфичности данного метода в отношении целевого объекта (рис. 3б). Проверка аналитической чувствительности метода показала, что положительный сигнал был зафиксирован со всеми исследуемыми вариантами концентрации ДНК *D. perniciosus* (100%-ные концентрации ДНК перечислены на рисунке 2). При этом кривые температуры плавления ПЦР-продуктов достигали пика в диапазоне от 73,0 до 73,5°C (рис. 3с, 3д).

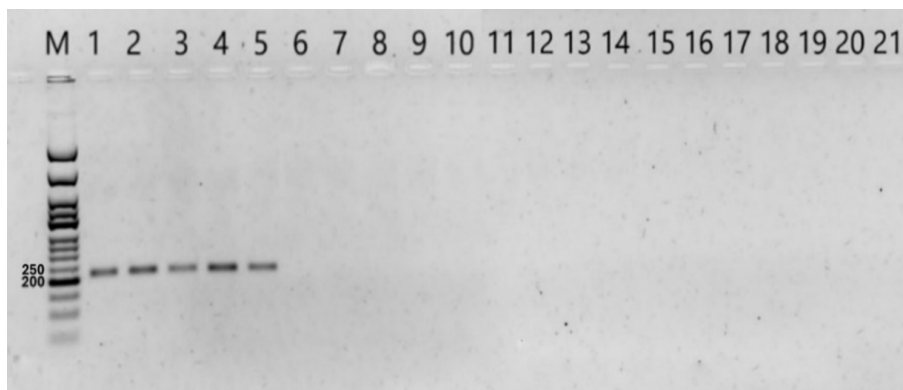


Рис. 1. Элекрофореграмма ПЦР-продуктов, полученных с помощью праймеров Dp1-F/ Dp1-R, образцов *D. perniciosus* и исследуемых видов щитовок: 1–5 – *D. perniciosus*; 6 – *D. ostreaeformis*; 7 – *D. prunorum*; 8 – *D. pyri*; 9 – *D. marani*; 10 – *D. gigas*; 11 – *D. slavonicus*; 12 – *D. danzigae*; 13 – *D. zonatus*; 14 – *P. pentagona*; 15 – *Ao. Aurantia*; 16 – *Ao. Orientalis*; 17 – *Le. Ulmi*; 18 – *Ch. Salicis*; 19 – *Pa. Pergandii*; 20 – *As. Nerii*; 21 – отрицательный контроль; М – маркер молекулярного веса

Figure 1. Electrophoregram of PCR products obtained using Dp1-F/Dp1-R primers, *D. perniciosus* samples and other studied Diaspididae species: 1–5 – *D. perniciosus*, 6 – *D. ostreaeformis*, 7 – *D. prunorum*, 8 – *D. pyri*, 9 – *D. marani*, 10 – *D. gigas*, 11 – *D. slavonicus*, 12 – *D. danzigae*, 13 – *D. zonatus*, 14 – *P. pentagona*, 15 – *Ao. aurantii*, 16 – *Ao. orientalis*, 17 – *Le. ulmi*, 18 – *Ch. salicis*, 19 – *Pa. pergandii*, 20 – *As. nerii*, 21 – negative control, M – molecular weight marker

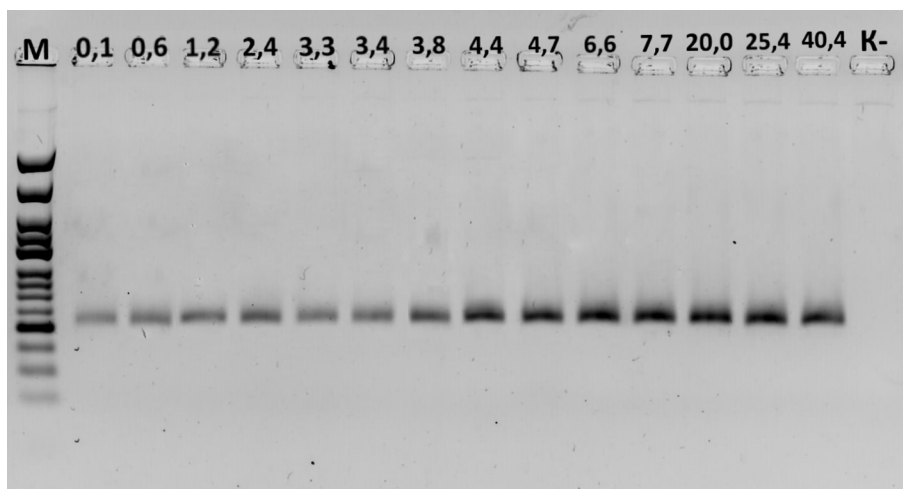


Рис. 2. Элекрофореграмма ПЦР-продуктов, полученных с помощью праймеров Dp1-F/ Dp1-R, для образцов *D. perniciosus* с разной концентрацией ДНК (значения указаны над соответствующими образцами, нг/мкл): К – отрицательный контроль; М – маркер молекулярного веса

Figure 2. Electrophoregram of PCR products obtained using Dp1-F/Dp1-R primers for *D. perniciosus* samples with different DNA concentrations (values indicated above the corresponding samples, ng/μl): K – negative control, M – molecular weight marker

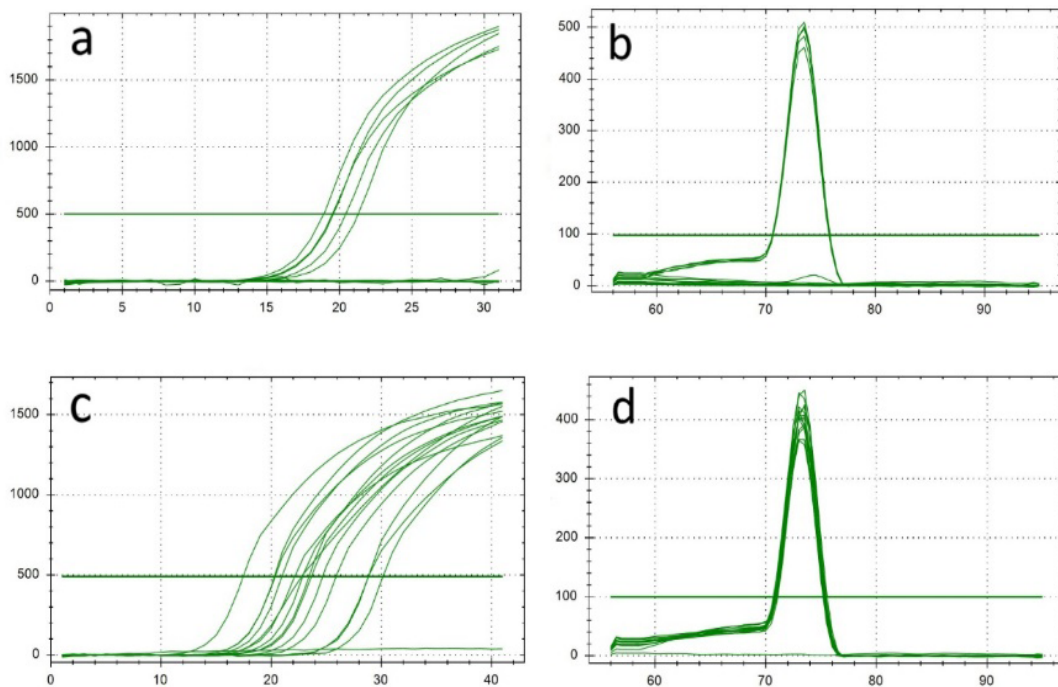


Рис. 3. ПЦР в режиме «реального времени» с использованием интеркалирующего красителя Sybr Green I с праймерами Dp1-F/ Dp1-R для образцов *D. perniciosus* и исследуемых видов щитовок: определение специфичности (а и б) и аналитической чувствительности (с и d); а, с – кривые амплификации: по оси ординат – относительные единицы флуоресценции, по оси абсцисс – количество циклов; б, d – кривые плавления: по оси ординат значения – относительные единицы флуоресценции, по оси абсцисс – температура плавления, °C

Figure 3. Real-time PCR using Sybr Green I intercalating dye with Dp1-F/Dp1-R primers for *D. perniciosus* samples and other studied Diaspididae species: specificity determination (a and b) and analytical sensitivity determination (c and d); а, с –amplification curves: y-axis – relative fluorescence units, x-axis – cycles number; б, d – the melting curves: y-axis – relative fluorescence units, and x-axis – melting temperature, °C

Метод ПЦР в режиме «реального времени» с праймерами Dp1-F/ Dp1-R и зондом Dp1-probe позволил получить положительный результат в виде экспоненциальной кривой флуоресценции только с образцами калифорнийской щитовки (рис. 4). Относительно аналитической чувствительности метода следует указать, что положительная детекция наблюдалась в 100% случаев, в том числе при концентрации ДНК калифорнийской щитовки, равной 0,1 нг/мкл (рис. 5, табл. 5). Разброс в значениях циклов (C_q) от 22,2 до 34,9 при заданном пороге в 400 относительных единиц флуоресценции может быть обусловлен взаимодействием ряда факторов – характеристик исследуемых образцов *D. perniciosus* (табл. 5): различия в концентрациях ДНК; исходное состояние материала щитовок до этапа выделения ДНК; компоненты растения-хозяина из кишечника щитовки, которые могут оказывать влияние на протекание ПЦР; так как прямой связи только с одним из вышеперечисленных факторов выявлено не было.

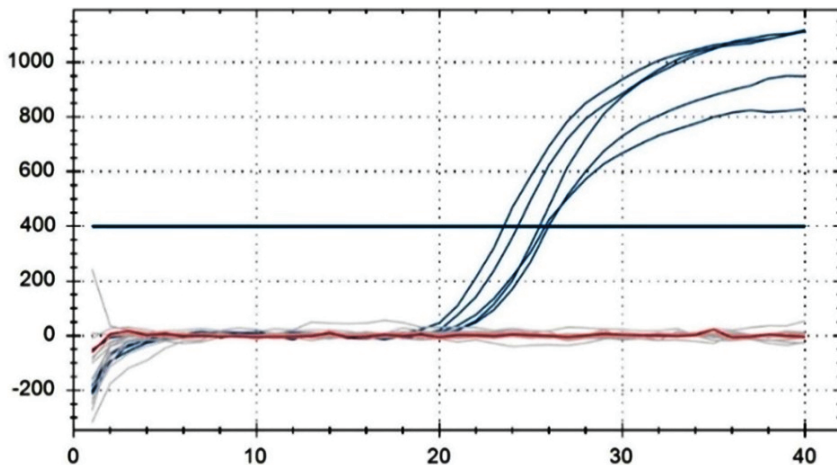


Рис. 4. ПЦР в режиме «реального времени» с разработанными праймерами Dp1-F/ Dp1-R и зондом Dp1-probe (по оси ординат – значения уровня флуоресценции, измеряемые в относительных единицах; по оси абсцисс – количество циклов):
синие линии – образцы *D. perniciosus* (1–5, рис. 1),
серые линии – образцы других видов Diaspididae (образцы 6–20, рис. 1),
красная линия – отрицательный контроль

Figure 4. Real-time PCR with the developed Dp1-F/Dp1-R primers and the Dp1-probe (y-axis – relative fluorescence units; x-axis – cycle number):
blue lines – *D. perniciosus* samples (samples 1–5 from Fig. 1),
gray lines – samples of other Diaspididae species (samples 6–20 from Fig. 1),
the red line – negative control

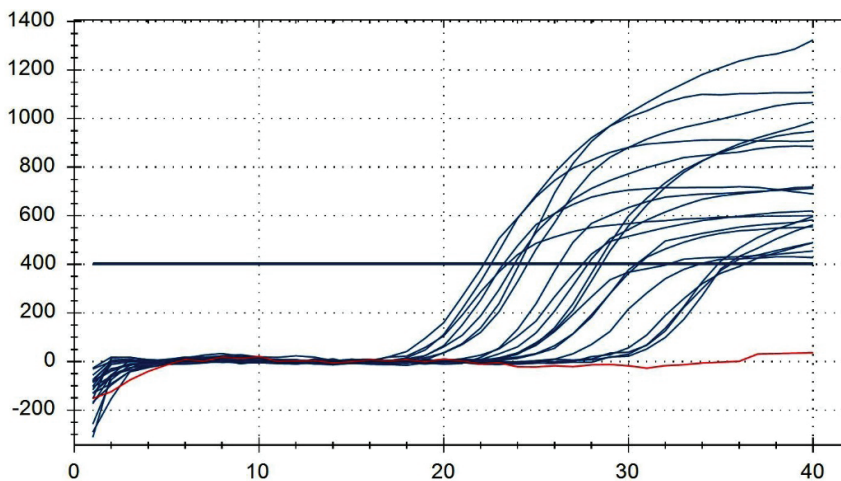


Рис. 5. Результаты ПЦР в режиме «реального времени» с праймерами Dp1-F/ Dp1-R и зондом Dp1-probe для различных концентраций ДНК *D. perniciosus* (по оси ординат – значение уровня флуоресценции, измеряемое в относительных единицах; по оси абсцисс – количество циклов): синие линии – образцы *D. perniciosus*,
красная линия – отрицательный контроль

Figure 5. Real-time PCR results with Dp1-F/Dp1-R primers and Dp1-probe for various concentrations of *D. perniciosus* DNA (y-axis – relative fluorescence units; x-axis – cycle number):
blue lines – *D. perniciosus* samples, the red line – negative control

**Сопоставление характеристик исследуемых образцов *D. perniciosus*
с результатами ПЦР в режиме «реального времени»**

Table 5

**Comparison of characteristics of the *D. perniciosus* samples
with real-time PCR results**

№ образца	Растение-хозяин	Состояние образцов*	Концентрация ДНК, нг/мкл	Значение Cq**
1	<i>Malus domestica</i>	сух.	0,1	34,9
2	<i>Malus domestica</i>	сух.	0,1	35,6
3	<i>Prunus cerasifera</i>	сух.	0,4	32,2
4	<i>Pyrus</i> sp.	сух.	0,5	28,6
5	<i>Prunus</i> sp.	жив.	0,6	28,3
6	<i>Prunus cerasifera</i>	сух.	1,2	24,1
7	<i>Prunus</i> sp.	жив.	2,4	24,5
8	<i>Ribes nigrum</i>	сух	3,3	26,3
9	<i>Ribes nigrum</i>	сух.	3,4	27,8
10	<i>Malus domestica</i>	сух.	3,4	30,6
11	<i>Malus domestica</i>	сух.	3,8	33,9
12	<i>Malus domestica</i>	сух.	4,4	30,4
13	<i>Ribes nigrum</i>	сух.	4,7	35,4
14	<i>Ribes nigrum</i>	сух.	6,6	36,3
15	<i>Ribes nigrum</i>	сух.	7,7	27,5
16	<i>Malus domestica</i>	сух.	17,4	23,5
17	<i>Prunus</i> sp.	жив.	20,5	22,6
18	<i>Malus domestica</i>	сух.	25,4	23,2
19	<i>Prunus</i> sp.	жив.	40,4	22,2

*жив. – живой; сух. – сухой. Образцы собраны в 2014–2016 гг.

**При пороге 400 относительных единиц флуоресценции (RFU).

Выводы

Conclusions

В целях обеспечения карантинных фитосанитарных мер в отношении карантинного объекта ЕАЭС (калифорнийская щитовка) и совершенствования диагностики данного вида вредителя на основе оригинальных исследований были разработаны праймеры Dp1-F/Dp1-R и зонд Dp1-probe для фрагмента митохондриального гена COI.

В результате тестов *in silico* и *in vitro* показано, что данные праймеры и зонд являются видоспецифичными в отношении *D. perniciosus*. На основе разработанных пар праймеров предложены два метода диагностики: с электрофоретической детекцией ПЦР-продуктов и с интеркалирующим красителем Sybr Green I. Кроме того, разработан видоспецифичный зонд по типу «TaqMan» для метода ПЦР в режиме «реального времени». Все используемые методы ПЦР показали хорошую аналитическую чувствительность при тестировании образцов целевого вида с разной концентрацией ДНК в диапазоне от 0,1 до 40,4 нг/мкл. Выбор метода диагностики калифорнийской щитовки на основе разработанных ПЦР-тестов может определяться технической оснащённостью испытательных лабораторий в области карантина растений.

Список источников

1. Данциг Е.М. *Подотряд кокциды (Coccinea). Семейства Phoenicoccidae и Diaspididae. Фауна России и сопредельных стран*: Монография. Санкт-Петербург: Наука, 1993. 449 с.
2. *Об утверждении единого перечня карантинных объектов Евразийского экономического союза: решение Совета ЕЭК от 30 ноября 2016 г. № 158* URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/16sr0158/?ysclid=mb5jivfniy68790770> (дата обращения: 20.05.2025)
3. *Национальный доклад о карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации в 2024 году*. URL: <https://fsvps.gov.ru/files/nacionalnyj-doklad-o-karantinnom-fitosanitarnom-sostojanii-territorii-rossijsk-uj-federacii-v-2024-godu/> (дата обращения: 16.04.2025)
4. Amouroux P., Crochard D., Germain J., Correa M., et al. Genetic diversity of armored scales (Hemiptera: Diaspididae) and soft scales (Hemiptera: Coccidae) in Chile. *Scientific Reports*. 2017;7(1):1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01997-6>
5. Andersen J., Wu J., Gruwell M., Gwiazdowski R., Santana S. et al. A phylogenetic analysis of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae), based upon nuclear, mitochondrial, and endosymbiont gene sequences. *Molecular phylogenetics and evolution*. 2010; 57(3): 992-1003. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.05.002>
6. Fita T., Getu E., Wakgari M., Woldetsadik K., Jones P. Molecular identification of white mango scale, *Aulacaspis tubercularis* Newstead (Homoptera: Diaspididae), and its associated natural enemies in western Ethiopia. *International Journal of Tropical Insect Science*. 2021;41(4):2997-3009. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00489-5>
7. Frey J., Frey B. Molecular identification of six species of scale insects (*Quadraspidiotus* sp.) by RAPD-PCR: assessing the field-specificity of pheromone traps. *Molecular ecology*. 1995;4(6):777-780. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1995.tb00279.x>
8. Gruwell M., Morse G., Normark B. Phylogenetic congruence of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae) and their primary endosymbionts from

the phylum *Bacteroidetes*. *Molecular phylogenetics and evolution*. 2007;44(1):267-80. <https://doi.org/10.1016/J.YMPEV.2007.01.014>

9. Morse G., Normark B. A molecular phylogenetic study of armoured scale insects (Hemiptera: Diaspididae). *Systematic Entomology*. 2005;31(2):338-349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2005.00316.x>

10. Normark B., Okusu A., Morse G., Peterson D. et al. Phylogeny and classification of armored scale insects (Hemiptera: Coccomorpha: Diaspididae). *Zootaxa*. 2019;4616(1):1-98. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4616.1.1>

11. Schneider S., Okusu A., Normark B. Molecular phylogenetics of Aspidiotini armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae) reveals rampant paraphyly, curious species radiations, and multiple origins of association with *Melissotarsus* ants (Hymenoptera: Formicidae). *Molecular phylogenetics and evolution*. 2018;129:291-303. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.09.003>

12. NCBI. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 15.02.2025)

13. PM 7/129 (2) DNA barcoding as an identification tool for a number of regulated pests. *EPPO Bulletin*. 2021;51(1):100-143. <https://doi.org/10.1111/epp.12724>

14. Unipro Ugene. URL: <https://ugene.net/ru/> (дата обращения: 01.02.2025)

References

1. Dantsig E.M. *Coccinea suborder. Phoenicoccidae and Diaspididae families. Fauna of Russia and neighboring countries: a monograph*. St. Petersburg, Russia: Nauka, 1993:449. (In Rus.)

2. *Decision of the EEC Council, No. 158 of November 30, 2016 "On approval of a single list of quarantine objects of the Eurasian Economic Union"*. (In Russ.) URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/16sr0158/?ysclid=mb5jivfniy68790770> (accessed: May 20, 2025).

3. *National report on the quarantine phytosanitary state of the territory of the Russian Federation in 2024*. (In Russ.) URL: <https://fsvps.gov.ru/files/nacionalnyj-doklad-okarantinnom-fitosanitarnom-sostojanii-territorii-rossijskoj-federacii-v-2024-godu/> (accessed: April 16, 2025).

4. Amouroux P., Crochard D., Germain J., Correa M. et al. Genetic diversity of armored scales (Hemiptera: Diaspididae) and soft scales (Hemiptera: Coccidae) in Chile. *Scientific Reports*. 2017;7(1):1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01997-6>

5. Andersen J., Wu J., Gruwell M., Gwiazdowski R. et al. A phylogenetic analysis of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae), based upon nuclear, mitochondrial, and endosymbiont gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2010;57(3):992-1003. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.05.002>

6. Fita T., Getu E., Wakgari M., Woldetsadique K. et al. Molecular identification of white mango scale, *Aulacaspis tubercularis* Newstead (Homoptera: Diaspididae), and its associated natural enemies in western Ethiopia. *International Journal of Tropical Insect Science*. 2021;41(4):2997-3009. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00489-5>

7. Frey J., Frey B. Molecular identification of six species of scale insects (*Quadraspidiotus* sp.) by RAPD-PCR: assessing the field-specificity of pheromone traps. *Molecular ecology*. 1995;4(6):777-780. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1995.tb00279.x>

8. Gruwell M., Morse G., Normark B. Phylogenetic congruence of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae) and their primary endosymbionts from the phylum *Bacteroidetes*. *Molecular phylogenetics and evolution*. 2007;44(1):267-80. <https://doi.org/10.1016/J.YMPEV.2007.01.014>

9. Morse G., Normark B. A molecular phylogenetic study of armoured scale insects (Hemiptera: Diaspididae). *Systematic Entomology*. 2005;31(2):338-349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2005.00316.x>
10. Normark B., Okusu A., Morse G., Peterson D. et al. Phylogeny and classification of armored scale insects (Hemiptera: Coccothraupidae: Diaspididae). *Zootaxa*. 2019;4616(1):1-98. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4616.1.1>
11. Schneider S., Okusu A., Normark B. Molecular phylogenetics of Aspidiotini armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae) reveals rampant paraphyly, curious species radiations, and multiple origins of association with *Melissotarsus* ants (Hymenoptera: Formicidae). *Molecular phylogenetics and evolution*. 2018;129:291-303. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.09.003>
12. NCBI. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (accessed: February 15, 2025).
13. PM 7/129 (2) DNA barcoding as an identification tool for a number of regulated pests. *EPPO Bulletin*. 2021;51(1):100-143. <https://doi.org/10.1111/epp.12724>
14. *Unipro Ugene*. URL: <https://ugene.net/ru> (accessed: February 01, 2025).

Сведения об авторе

Андрей Владимирович Шипулин, научный сотрудник лаборатории экологии и генетики насекомых и клещей, ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»); 140150, Российская Федерация, Московская область, г.о. Раменское, р.п. Быково, ул. Пограничная, 32; тел.: 8-925-404-40-93; e-mail: schipulin.andrey2016@yandex.ru

Information about the author

Andrey V. Shipulin, Research Associate at the Laboratory of the Ecology and Genetics of Insects and Mites, All-Russian Plant Quarantine Centre; 32 Pogranichnaya St., Bykovo, Ramenskoe, Moscow Region, 140150, Russian Federation; e-mail: schipulin.andrey2016@yandex.ru

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Генетическая характеристика крупного рогатого скота
разных пород Западной Сибири по STR-маркерам**

**Диана Александровна Авадани¹, Галина Моисеевна Гончаренко¹✉,
Татьяна Сергеевна Хорошилова¹, Наталья Борисовна Гришина¹,
Ольга Леонидовна Халина¹, Елена Юрьевна Заборских²,
Ирина Сергеевна Кондрашкова³**

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,
Краснообск, Новосибирская область, Россия

²Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
филиал Национального исследовательского Томского государственного университета,
Республика Алтай, Россия

³Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** gal.goncharenko@mail.ru

Аннотация

Использование микросателлитного анализа в контроле достоверности происхождения молодняка позволило создать обширную информационную базу генетических маркеров крупного рогатого скота, которую успешно можно использовать для контроля селекционных процессов в породах и отдельных стадах. Цель исследований заключалась в изучении генетического разнообразия 7 пород крупного рогатого скота молочного и мясного направлений продуктивности, их филогенетического родства, межпородной и внутripородной дифференциации, генетического разнообразия, гомо-гетерозиготности, инбридинга и других популяционно-генетических параметров. Генотипирование животных проведено набором реагентов «GeneProfile Cattle», предназначенным для генетической идентификации и определения родства крупного рогатого скота (*Bos taurus*), по 16 локусам микросателлитов. На примере одного локуса *TGLA53* показаны породная специфичность частот аллелей и определенные различия. Аллели 174, 178, 182, 186, 188, 190 во всех породах встречаются крайне редко или не выявлены. Напротив, аллели 160, 162, 172 встречаются от 28,8 до 44,4%. Приватных аллелей в голштинской породе выявлено 13, в симментальской и герефордской породах – по 1 аллелю, в красно-пестрой – 2. Количество аллелей на локус в голштинской породе – 12, красно-пестрой голштинской – 9,75, красной степной – 8,94, герефордской – 10,25, галловейской – 8,44, в казахской белоголовой породе – 5,69. Число эффективных аллелей варьирует от 3,59 (казахская белоголовая) до 4,66 (голштинская). Индекс Шенона находится в пределах 1,43–1,71. Индекс Fis имеет отрицательное значение и варьирует от минус 0,02 до минус 0,12. Уровень наблюдаемой гетерозиготности сопоставим с ожидаемой гетерозиготностью, избытка гетерозигот и инбридинга не выявлено. Отдельные кластеры образуют герефордская и казахская белоголовая порода, красно-пестрая голштинская и голштинская, галловейская и симментальская породы. Полученные результаты можно рассматривать в качестве базы сравнения в последующих поколениях, а также в оценке пород других регионов.

Ключевые слова

Порода, микросателлиты, полиморфизм, аллель, гетерозиготность, индекс фиксации, генное равновесие

Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания в соответствии с планом научно-исследовательских работ на 2021–2030 гг. (№ FNUU-2024–0003).

Для цитирования

Авадани Д.А., Гончаренко Г.М., Хорошилова Т.С., Гришина Н.Б. и др. Генетическая характеристика разных пород крупного рогатого скота по STR- маркерам // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 97–110.

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

Genetic characteristics of cattle breeds in Western Siberia using STR markers

Diana A. Avadani¹, Galina M. Goncharenko¹✉,
Tatyana S. Khoroshilova¹, Natalia B. Grishina¹, Olga L. Khalina¹,
Elena Yu. Zaborskikh², Irina S. Kondrashkova³

¹ Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

² Gorno-Altai Research Institute of Agriculture,
Branch of the Tomsk State University, Republic of Altai, Russia

³ Altai State Agricultural University, Barnaul, Russia

✉Corresponding author: gal.goncharenko@mail.ru

Abstract

The use of microsatellite analysis for parentage verification has enabled the creation of an extensive information base of genetic markers for cattle, which can be successfully used to control breeding processes in breeds and individual herds. The aim of our research was to study the genetic diversity of seven breeds of dairy and beef cattle, their phylogenetic relationships, interbreed and intrabreed differentiation, genetic diversity, homo- and heterozygosity, inbreeding, and other population-genetic parameters. Genotyping of animals was performed using the “GeneProfile Cattle” reagent kit, designed for genetic identification and kinship determination of cattle (*Bos taurus*) based on 16 microsatellite loci. The breed-specific nature of allele frequencies and certain differences are shown using the example of one locus, TGLA53. Alleles 174, 178, 182, 186, 188, and 190 are extremely rare or not found in all breeds; conversely, alleles 160, 162, and 172 occur from 28.8% to 44.4%. Thirteen private alleles were identified in the Holstein breed, one allele each in the Simmental and Hereford breeds, and two in the red-and-white breed. The number of alleles per locus in the Holstein breed is 12, red-and-white Holstein is 9.75, red steppe is 8.94, Hereford is 10.25, Galloway is 8.44, and Kazakh white-headed is 5.69. The number of effective alleles varies from 3.59 (Kazakh white-headed) to 4.66 (Holstein). The Shannon index ranges from 1.43 to 1.71. Fis has a negative value and varies from minus 0.02 to minus 0.12. The level of observed heterozygosity is comparable to the expected heterozygosity; no excess of heterozygotes or inbreeding was detected. Separate clusters are formed by the Hereford and Kazakh white-headed breeds, red-and-white Holstein and Holstein, and Galloway and Simmental breeds. The results obtained can be considered as a basis for comparison in subsequent generations, as well as in the evaluation of breeds from other regions.

Keywords

Breed, microsatellites, polymorphism, allele, heterozygosity, fixation index (Fis), gene equilibrium (Hardy-Weinberg equilibrium)

Acknowledgments

This research was conducted under a state assignment in accordance with the research plan for 2021–2030 (No. FNUU-2024–0003).

For citation

Avadani D.A., Goncharenko G.M., Khoroshilova T.S., Grishina N.B. et al. Genetic characteristics of cattle breeds in Western Siberia using STR markers. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 98–110.

Введение Introduction

Генотипирование крупного рогатого скота методом микросателлитного анализа позволяет идентифицировать животных по определенному числу локусов и сопоставлять унифицированные данные в любой лаборатории. В связи с этим накоплена большая база данных, которую можно использовать не только для контроля происхождения животных, но и для расчета популяционно-генетических параметров, что особенно важно при длительном мониторинге или в сравнении с другими породами, популяциями. В настоящее время опубликованы данные по генетической характеристике с использованием STR-маркеров отдельных пород в разных регионах [2, 6, 10, 18]. В то же время можно отметить, что пока недостаточно данных для длительного мониторинга изменчивости частот аллелей микросателлитов под действием давления селекции, и это представляет интерес в дальнейшем с точки зрения сохранения генетических ресурсов, их разнообразия [4, 5]. Например, используя данные иммуногенетического анализа, провели анализ 9 поколений холмогорской породы, по результатам которого показано повышение степени гомозиготности и количества эффективных аллелей при скрещивании ее с голштинской породой. При этом генетическая дистанция между чистопородными быками холмогорской породы и голштинизированными быками увеличилась [12].

Интерес представляют также генеалогические связи между породами разного направления продуктивности, установленные на основании частот аллелей локусов микросателлитов, потенциально не оказывающих влияния на развитие фенотипических признаков животных [5, 20].

Использование широкой панели локусов позволило установить аллельный профиль черно-пестрой породы крупного рогатого скота Новосибирской области [1], голштинской и черно-пестрой пород Северного Зауралья [15, 16, 19], якутского скота [3, 14], герефордской породы [18], калмыцкой породы [13], белорусской черно-пестрой породы [2]. Все эти исследования характеризуют аллельный профиль и генетические особенности каждой породы. Однако в сравнительном аспекте они не изучены, поэтому в задачу наших исследований входили оценка внутривидового разнообразия, степени дифференцированности, определение генетических дистанций и филогенетических взаимоотношений разных пород Сибирского региона.

Методика исследований Research method

Исследования проведены на 4 породах молочного направления продуктивности: голштинской, красно-пестрой голштинской, красной степной, симментальской и 3 мясных пород скота: герефордской, казахской белоголовой, галловейской. Всего генотипировано по 16 локусам микросателлитов 1638 гол.

Микросателлитный анализ проведен с использованием набора реагентов «GeneProfile Cattle», предназначенного для генетической идентификации и для определения родства крупного рогатого скота (*Bos taurus* L.). Исследования проведены методом мультиплексной амплификации 16-ти STR-локусов с последующим анализом длин ПЦР-продуктов путем капиллярного электрофореза (TGLA227, BM2113, TGLA53, ETH10, CSRM60, SPS115, TGLA122, BM1818, HAUT27, CSSM66, BM1824, ETH3, TGLA126, ETH225, INRA023, ILSTS006), 12 из которых рекомендованы Международным обществом генетики животных (International Society of Animal Genetics-ISAG). Три локуса рекомендованы Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (Food and agriculture Organization of the United Nations – FAO) для генетических исследований домашних животных: CSSM66, CSRM60, ILSTS006. Также дополнительно включен высокополиморфный locus HAUT27.

Праймеры для ПЦР подобраны с учетом проведения амплификации всех 16 STR-локусов в одной пробирке. Размер амплифицированных ПЦР-продуктов находится в диапазоне от 64 до 236 пар нуклеотидов (с учетом всех известных аллелей). Анализ результатов ПЦР провели методом капиллярного электрофореза с использованием автоматического генетического анализатора «НАНОФОР 05».

Частотную характеристику генотипов изучаемых генов оценивали по формуле Харди-Вайнберга для двухаллельных систем с использованием критерия χ^2 . Расчет популяционно-генетических параметров осуществили с использованием программ GenAlEx и Past. в соответствии с рекомендациями [17].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Сравнительная оценка генетических особенностей 6 пород крупного рогатого скота молочного и мясного направлений продуктивности: голштинская, красно-пестрая голштинская, красная степная, симментальская, герефордская, галловейская – на примере одного наиболее полиморфного локуса TGLA53 представлена в таблице 1. Казахскую белоголовую породу в анализ частот аллелей локуса TGLA53 не включали в связи с малочисленностью исследованного поголовья. Концентрация частоты аллелей этого локуса в исследуемых породах имеет некоторую закономерность независимо от направления продуктивности животных. Так, аллели 156, 188 и 190 174, 178, 182, 186, 188, 190 крайне редко встречаются у представителей всех пород (от 0,0 до 0,1%) или не выявлены. Аллель 176 чаще встречается в молочных породах (4,2–12,1%), у животных мясного направления продуктивности он выявляется с незначительной частотой (0,0–2,0%).

В то же время ряд аллелей в породах встречается довольно часто: от 28,8 до 44,4% (160,162, 172). При этом следует отметить значительные отличия в генетическом профиле пород по некоторым аллелям. Так, аллель 154 в красно-пестрой породе определен у 9,5% животных, что выше, чем у галловейской, герефордской, красной степной и голштинской породах, на 3,8–6,8% ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$). В TGLA53 локусе в красно-пестрой породе выявлена наиболее высокая частота аллеля – 160–44,6%, что значительно выше, чем в красной степной и герефордской породах, где его частота находится уровне 2,8–3,3%. Следует отметить также высокую частоту этого аллеля в галловейской породе (31,5%), превышающую встречаемость его на 12,3–14,0% в симментальской и голштинской породах ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$).

Высокая вариативность пород наблюдается по частоте аллеля 162. В голштинской породе он находится на уровне 24,0%, что превышает все

остальные сравниваемые породы на 11,3–21,4% ($p \leq 0,001$). Частота аллеля 164 составляет 0,3–3,0% за исключением галловейской породы, где он выявлен у 28,8%. Аллель 166 встречается сравнительно меньше: от 0,1% (герефордская) до 8,2% (симментальская) ($p \leq 0,001$).

Таблица 1

Частота генотипов локуса TGLA53 в стадах разных пород, %

Table 1

Frequency of TGLA53 locus genotypes in different breed herds, %

Ал- лель	Порода					
	Симмен- тальская	Красно-пе- страя голлштинская	Голштинская	Красная степная	Герефордская	Галловейская
	n=201	n=364	n=500	n=98	n=350	n=111
154	7,0±1,8	9,5±1,5	5,7±1,0	3,1±1,8	4,7±1,1	2,7±1,5
156	0,0±0,0	0,0±0,0	0,1±0,1	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
158	2,0±0,9	4,4±1,1	11,7±1,4	5,1±2,2	0,1±0,2	5,0±2,1
160	16,2±2,6	44,4±2,6	17,5±0,8	2,8±1,7	3,3±1,0	31,5±4,4
162	12,7±2,3	7,0±1,3	24,0±1,9	12,2±3,3	2,6±0,9	4,5±2,0
164	3,0±1,2	1,2±0,6	0,3±0,3	2,6±1,6	2,3±0,8	28,8±4,3
166	8,2±1,9	0,3±0,3	3,6±0,8	5,1±2,2	0,1±0,2	3,6±1,8
168	15,9±2,6	10,4±1,6	11,1±1,4	8,2±2,8	2,1±0,8	4,1±1,9
170	11,9±2,9	1,4±0,6	2,3±0,7	10,2±3,0	6,3±1,3	16,2±3,5
172	9,0±2,0	1,2±0,6	0,2±0,2	4,6±2,1	19,9±2,1	1,4±1,1
174	0,2±0,3	0,4±0,0	0,2±0,2	0,0±0,0	1,1±0,6	0,0±0,0
176	4,2±1,4	12,1±1,7	8,6±1,3	2,0±1,4	0,6±0,4	0,0±0,0
178	0,2±0,3	2,9±0,9	0,1±0,1	2,0±1,4	0,0±0,0	0,5±0,7
180	0,2±0,3	0,0±0,0	0,2±0,2	8,2±2,8	0,1±0,2	0,4±0,6
182	0,5±0,5	0,0±0,0	0,1±0,1	3,1±1,8	0,1±0,2	0,5±0,7
184	0,2±0,3	1,9±1,7	5,7±1,0	2,6±1,6	0,0±0,0	0,5±0,7
186	6,5±1,7	2,9±0,9	7,4±1,2	2,6±1,6	2,0±0,7	0,5±0,7
188	0,0±0,0	0,0±0,0	0,1±0,1	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
190	0,2±0,3	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,1±0,2	0,0±0,0

В исследуемых породах наблюдается вариативность аллеля 168. Значительные различия на уровне 13,8% определены между симментальской и герефордской породами ($p \leq 0,001$). Различия между другими породами несколько ниже, хотя достигают порога достоверности между красно-пестрой и герефордской, а также между красно-пестрой и галловейской ($p \leq 0,05$).

В частоте аллелей 170 и 172 также наблюдаются значительные межпородные различия. Вариативность составляет от 0,2 до 19,9%.

Сравнительная оценка наших результатов с аналогичными исследованиями других пород показала некоторое совпадение. Так, на породе якутского скота также к наиболее полиморфному локусу отнесен локус *TGLA53*, где определено 10 аллелей, среди которых наиболее распространенным является 160 (0,534) [3]. Аллель 160 является наиболее распространенным и в голштинской породе (0,190) [19]. Аналогичные результаты получены на герефордской породе Тюменской области [18].

На основании частот аллелей всех 16 локусов построена дендрограмма филогенетического родства исследованных пород крупного рогатого скота (рис. 1).

Наиболее тесное сходство имеют герефордская и казахская белоголовая породы, что вполне объяснимо их происхождением. Казахская белоголовая порода создана на основе герефордской. Также близкое родство имеют красно-пестрая голштинская и голштинская породы, что является отражением генезиса красно-пестрой породы. Еще один кластер образуют галловейская и симментальская породы, аллельная структура которых оказалась ближе по сравнению с красной степной, образовавшей отдельный кластер, на что, видимо, влияние оказали быки красного корня.

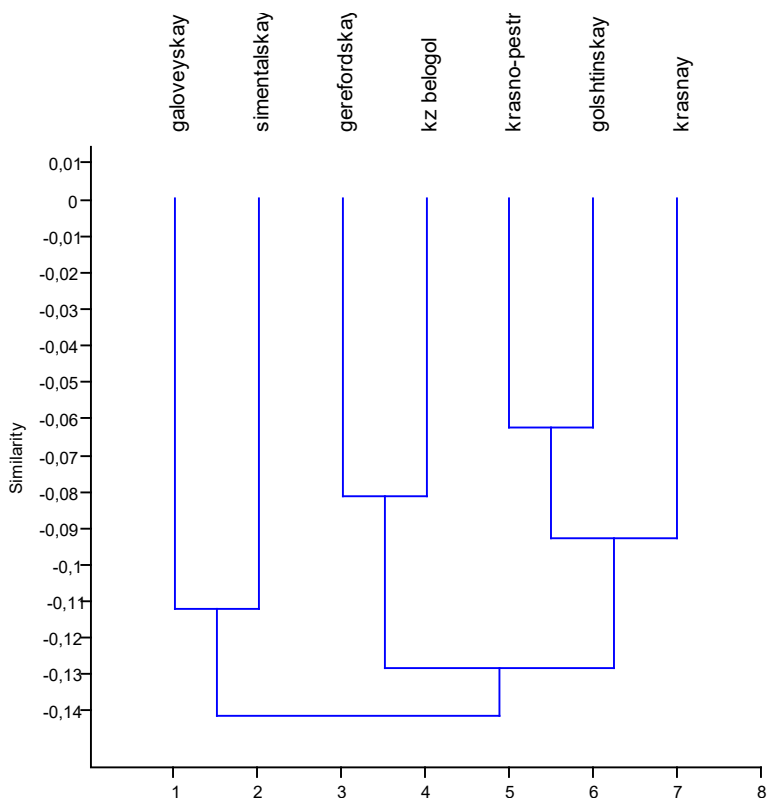


Рис. 1. Дендрограмма филогенетического родства пород крупного рогатого скота

Figure 1. Dendrogram of phylogenetic relationship of cattle breeds

Сравнительная оценка генетико-популяционных параметров изучаемых пород показывает, что голштинская порода отличается прежде всего более высокой полиморфностью, имея больше всего аллелей на локус (12,0), что превышает данный показатель в красной степной и галловейской породах на 3,06 и 3,56 соответственно ($p<0,01$) (табл. 2). При этом следует отметить, что наиболее значительные различия выявлены между голштинской и казахской белоголовой породами (6,31), и это можно считать пока предварительными данными в связи с низкой численностью в исследованиях казахской белоголовой породы ($p<0,001$).

В галловейской породе наблюдается и самое низкое число эффективных аллелей – 3,59, что существенно ниже в сравнении с голштинской на 1,07 ($p<0,05$). Кроме того, следует отметить, что в галловейской и казахской белоголовой породах наблюдается пониженный индекс Шеннона. При сравнении с голштинской породой этот показатель ниже на 0,23–0,28 ($p<0,05$). Следует отметить, что в этих двух породах не выявлено специфических приватных аллелей.

Во всех исследованных породах уровень наблюдаемой гетерозиготности совпадает с ожидаемой гетерозиготностью, то есть избытка гетерозигот не выявлено. Кроме того, в стадах всех пород инбридинга не наблюдается. Индекс фиксации имеет отрицательное значение, близкое к нулю (табл. 3). Значение наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности в исследованных породах практически одинаковое. Некоторое превышение этого показателя наблюдается при сравнении красной степной и галловейской пород (0,07, $p\leq 0,05$).

Таблица 2

Характеристика аллельного профиля STR-локусов разных пород крупного рогатого скота

Table 2

Characteristics of the allelic profile of STR loci in different cattle breeds

Порода	n	Na	Ne	I	No
Симментальская	201	10,19±0,78	4,33±0,40	1,64±0,09	0,63±0,06
Красно-пестрая голштинская	364	9,75±0,68	4,32±0,29	1,65±0,07	0,13±0,09
Голштинская	500	12,00±0,98	4,66±0,40	1,71±0,08	0,81±0,29
Красная степная	98	8,94±0,67	4,62±0,32	1,70±0,07	0,00
Герефордская	350	10,25±0,66	4,13±0,39	1,58±0,08	0,06±0,06
Галловейская	111	8,44±0,66	3,59±0,27	1,48±0,06	0,00
Казахская белоголовая	14	5,69±0,47	3,82±0,36	1,43±0,09	0,00

Na – среднее количество аллелей на локус; Ne – количество эффективных аллелей; No – Private Alleles – количество приватных аллелей; I – индекс Шеннона

Таблица 3

Характеристика полиморфизма STR-локусов пород крупного рогатого скота

Table 3

Characteristics of STR loci polymorphism in cattle breeds

Порода	n	Ho	He	Fis
Симментальская	201	0,75±0,03	0,73±0,03	–0,02
Красно-пестрая голштинская	364	0,81±0,02	0,75±0,02	–0,08
Голштинская	500	0,80±0,02	0,75±0,02	–0,06
Красная степная	98	0,81±0,04	0,77±0,04	–0,05
Герефордская	350	0,82±0,02	0,73±0,02	–0,12
Галловейская	111	0,74±0,04	0,70±0,02	–0,06
Казахская белоголовая	14	0,77±0,11	0,70±0,03	–0,10

Ho – наблюдаемая гетерозиготность; He – ожидаемая гетерозиготность; Fis – индекс фиксации

Несмотря на значительные различия пород по частоте отдельных аллелей, в локусах уровень наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности находится в пределах 0,74–0,82, что совпадает с данными по голштинской породе [19]. Несколько ниже наблюдаемая гетерозиготность определена в масштабных исследованиях сибирского отродья черно-пестрой и голштинской пород (10233 гол.), которая находилась на уровне (0,69) [11]. Также в черно-пестрой породе Новосибирской области наблюдаемая гетерозиготность по отдельным стадам варьировала в пределах 0,701–0,755 [1]. По сообщению [9], в белорусской черно-пестрой породе уровень наблюдаемой гетерозиготности варьировал по стадам от 0,882–0,923, в отдельных локусах составлял 0,980.

Более ранними нашими исследованиями с использованием 10 микросателлитных локусов гетерозиготность 3 пород Сибири была установлена на уровнях 0,582 (галловейская), 0,624 (герефордская) и 0,653 (казахская белоголовая) [8]. В закрытой популяции якутского скота уровень гетерозиготности также находился на уровне 0,602, что даже ниже, чем в немногочисленной породе калмыцкого скота, где этот показатель был на уровне 0,778 [7, 13].

Количество частных аллелей в породах значительно различается. Как и следовало ожидать, больше всего определено аллелей в стадах голштинской породы – 13 (табл. 4). По одному специфическому аллелю выявлено в симментальской и герефордской породах, в красно-пестрой – 2 аллеля.

Приватные аллели в породах крупного рогатого скота

Table 4

Private alleles in cattle breeds

Популяция	Локус	Аллель	Частота
Симментальская	CSRM60	114	0,005
Красно-пестрая	BM1818	274	0,001
Красно-пестрая	ETH3	131	0,003
Голштинская	TGLA53	156	0,001
Голштинская	TGLA53	188	0,001
Голштинская	ETH10	211	0,001
Голштинская	TGLA122	159	0,003
Голштинская	TGLA122	167	0,001
Голштинская	TGLA122	185	0,001
Голштинская	TGLA122	1632	0,001
Голштинская	HAUT27	155	0,001
Голштинская	BM1824	198	0,001
Голштинская	BM1824	200	0,001
Голштинская	ETH3	113	0,003
Голштинская	ETH3	225	0,001
Голштинская	TGLA126	109	0,001
Герефордская	ETH3	103	0,004

Выводы**Conclusions**

Сравнительная оценка пород крупного рогатого скота по полиморфизму 16 локусов микросателлитов показала, что каждая порода имеет свою генетическую структуру, характерную частоту аллелей, отличительные особенности приватных и эффективных аллелей. При этом уровень гомо- и гетерозиготности, индекс фиксации в целом не претерпевают каких-либо значимых отличий.

В локусе *TGLA53* выявлены аллели как с низкой, так и с высокой частотой встречаемости, присущей для одной породы или нескольких, что может быть следствием видовой, породной принадлежности или влиянием селекционных процессов.

Установлена высокая близость генофондов герефордской и казахской белоголовой, красной голштинской и голштинской пород, что вполне объяснимо их генезисом. При этом более высокое генетическое разнообразие выявлено в голштинской породе по сравнению с другими породами. Инбридинга во всех исследуемых породах не наблюдается.

Дальнейшие исследования будут направлены на мониторинг селекционно-генетических параметров, поддержание генного разнообразия в стадах за счет отбора и подбора родительских пар при направленной селекции.

Список источников

1. Айтназаров Р.Б., Мишакова Т.М., Юдин Н.С. Оценка генетического разнообразия и филогенетических отношений черно-пестрого скота Новосибирской области с использованием микросателлитных маркеров // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. № 8 (25). С. 831–838. <https://doi.org/10.18699/VJ21.096>
2. Аржанкова Ю.В., Мосачихина И.А., Харитонов А.В. Генетические особенности черно-пестрого и помесного крупного рогатого скота по микросателлитным локусам // *Известия Великолукской сельскохозяйственной академии*. 2015. № 1. С 7-11. EDN: TNVQEV
3. Владимиров Л.Н., Мачахтырова В.А., Мачахтыров Г.Н. и др. Генетическое разнообразие популяции аборигенного якутского скота по микросателлитным локусам // *Вестник НГАУ*. 2024. № 2 (71). С. 199–208. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-199-208>
4. Глазко В.И. Геномная селекция крупного рогатого скота: исследовательские и прикладные задачи // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2011. № 5. С. 126–134. EDN: OIPTJJ
5. Глазко В.И., Косовский Г.Ю., Глазко Т.Т., Федорова Л.М. ДНК-маркеры и «Микросателлитный код» (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. № 2 (58). С. 223–248. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.223rus>
6. Гладырь Е.А., Гончаренко Г.М., Горелов П.В. и др. Изучение изменчивости микросателлитов при создании нового типа мясного скота Сибири // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. № 10. С. 30–32. EDN: OIYBNZ
7. Гладырь Е.А., Шадрина Я.Л., Горелов П.В. и др. Характеристика аллелофонда якутского скота по микросателлитам // *Сельскохозяйственная биология*. 2011. № 6. С. 65–69. EDN: ONLDRB
8. Гладырь Е.А., Зиновьева Н.А., Косян Д.Б. и др. Характеристика аллелофонда крупного рогатого скота некоторых мясных пород, разводимых на территории Южного Урала и Западной Сибири // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 3. С. 61–64. EDN: PXWWXJ
9. Глинская Н.А. Анализ генетической дифференциации популяций крупного рогатого скота черно-пестрой породы белорусской селекции по STR- локусам // *Вестник Полесского государственного университета*. 2013. № 2. С 21-26
10. Николаев С.В., Ялуга В.Л. Сравнительная генетическая характеристика микросателлитного профиля голштинизированных и чистопородных холмогорских быков // *Аграрная наука*. 2023. № 7. С. 58–62. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-58-62>

11. Петров А.Ф., Камалдинов Е.В. Генетическая структура сибирского отро-
дья по микросателлитным маркерам // *Вестник НГАУ*. 2024. № 3 (72). С. 230–239.
<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-230-239>
12. Прожерин В.П., Селькова И.В., Калашников А.Е. Генетическая изменчи-
вость быков-производителей архангельской популяции холмогорской породы круп-
ного рогатого скота по поколениям // *Вестник РГАУ*. 2020. № 4 (48). С. 47–53.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.223rus>
13. Слепцов И.И., Додохов В.В., Павлова Н.И., Каюмов Ф.Г. Полиморфизм
15 микросателлитных локусов ДНК у крупного рогатого скота калмыцкой по-
роды и аборигенного якутского скота, разводимых на территории Республики
Саха (Якутия) // *Животноводство и кормопроизводство*. 2019. № 2 (102). С. 60–67.
<https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-2-60>
14. Филиппова Н.П., Павлова Н.И., Корякина Л.П. и др. Микросателлитный
анализ якутского скота // *Животноводство и кормопроизводство*. 2018. Т. 101, № 4.
С. 58–63.
15. Часовщикова М.А. Генетическая характеристика голштинской породы
крупного рогатого скота с использованием микросателлитных ДНК-маркеров // *Из-
вестия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. № 2 (76).
С. 191–193. EDN: OESLHF
16. Часовщикова М.А. Генетическая характеристика черно-пестрой породы
крупного рогатого скота с использованием микросателлитных маркеров // *Вестник Бу-
ратской государственной академии имени В.Р. Филиппова*. 2021. № 1 (62). С. 64–69.
<https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.62.1.009>
17. Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полимор-
физма генетического // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т 5, № 5. С. 571–578.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.571rus>
18. Шевелёва О.М., Часовщикова М.А. Характеристика генетической структуры
стада герефордской породы по STR-локусам // *Животноводство и кормопроизвод-
ство*. 2018. № 4 (101). С. 71–78
19. Шукюрова Е.Б., Лукашина А.А., Бузько А.Н. Генетическая характери-
стика голштинского крупного рогатого скота по ДНК-микросателлитам // *Вест-
ник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2020. № 4. С. 47–52.
<https://doi.org/10.37102/08697698.2020.212.4.008>
20. Olschewsky A., Hinrichs D. An overview of the use of genotyping techniques
for assessing genetic diversity in local farm animals breeds. *Animal (Basel)*. 2021;11(7):2016.
<https://doi.org/10.3390/ani11072016>

References

1. Aitnazarov R.B., Mishakova T.M., Yudin N.S. Assessment of genetic diversity and
phylogenetic relationships in black pied cattle in the Novosibirsk region using microsatellite
markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(8):831-838. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18699/VJ21.096>
2. Arzhankova Yu.V., Mosachikhina I.A., Kharitonov A.V. Genetic features
of black-and-white and crossbred cattle by microsatellite loci. *Izvestiya Velikolukskoy
selskokhozyaystvennoy akademii*. 2015;(1):7-11. (In Russ.)
3. Vladimirov L.N., Machakhtyrova V.A., Machakhtyrov G.N., Shadrina Ya.L. et al.
Genetic diversity of the population of aboriginal Yakut cattle by microsatellite locuses.
Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024;(2(71)):199-208. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-199-208>

4. Glazko V.I. Genomic selection of cattle: research and applied tasks. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2011;(5):126-134. (In Russ.)
5. Glazko V.I., Kosovsky G.Yu., Glazko T.T., Fedorova L.M. DNA markers and microsatellite code (review). *Agricultural Biology*. 2023;58(2):223-248. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.223rus>
6. Gladyr E.A., Goncharenko G.M., Gorelov P.V., Goryacheva T.S. et al. The study of microsatellite variability during creation of new Syberian type of beef cattle. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;(10):30-32. (In Russ.)
7. Gladyr E.A., Shadrina Ya.L., Gorelov P.V., Davaahuu L. et al. The characteristics of allele pool of Yakut cattle using microsatellites. *Agricultural Biology*. 2011;46(6):65-69. (In Russ.)
8. Gladyr E.A., Zinov'eva N.A., Kosyan D.B., Volkova V.V. et al. Characteristic of cattle allelepools for several meat breeds bred in the Southern Urals and Western Siberia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2014;(3):61-64. (In Russ.)
9. Hlinskaya N. The analysis of genetic differentiation of populations of cattle of black and motley breed of the Belarusian selection on STR-loci. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodovedcheskikh nauk*. 2013;(2):21-26. (In Russ.)
10. Nikolaev S.V., Yaluga V.L. Comparative genetic characteristics of microsatellite profile of Holstein and purebred Kholmogorsky bulls. *Agricultural Science*. 2023;(7):58-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-58-62>
11. Petrov A.F., Kamaldinov E.V. Genetic structure of cattle of the Siberian branch by microsatellite loci. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024;(3(72)):230-239. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-230-239>
12. Prozerin V., Selkova I., Kalashnikov A. Genetic variability of sire bulls in the Arkhangelsk population of the Kholmogory breed when observed over generations. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2020;(4(48)):47-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.223rus>
13. Sleptsov I., Dodokhov V., Pavlova N., Kayumov F. Polymorphism of 15 DNA microsatellite loci of Kalmyk cattle and aboriginal Yakut cattle bred on the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(2):60-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-2-60>
14. Filippova N.P., Pavlova N.I., Koryakina L.P., Stepanov N.P. et al. Microsatellite analysis of Yakut cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):58-63. (In Russ.)
15. Chasovchshikova M.A. Genetic characteristics of Holstein cattle using microsatellite DNA markers. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;(2(76)):191-193. (In Russ.)
16. Chasovschikova M.A. Genetic characteristics of the black-and-white cattle breed using microsatellite markers. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2021;(1(62)):64-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.62.1.009>
17. Chesnokov Yu.V., Artemeva A.M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Agricultural Biology*. 2015;50(5):571-578. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.571rus>
18. Shevelyova O.M., Chasovshchikova M.A. Characteristics of the genetic structure of the Herford herd according to STR loci. *Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):71-78. (In Russ.)
19. Shukyurova E.B., Lukashina A.A., Buzko A.N. Genetic characteristics of Holstein cattle by DNA microsatellites. *Vestnik of the Far East Branch*

of the Russian Academy of Sciences. 2020;(4(212)):47-52. (In Russ.)
<https://doi.org/10.37102/08697698.2020.212.4.008>

20. Olschewsky A, Hinrichs D. An Overview of the Use of Genotyping Techniques for Assessing Genetic Diversity in Local Farm Animal Breeds. *Animal (Basel)*. 2021;11(7):2016. <https://doi.org/10.3390/ani11072016>

Сведения об авторах

Диана Александровна Авадани, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»; 630501, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Краснообск, ул. Центральная, 7; e-mail: kehi666@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-3401-8793>

Галина Моисеевна Гончаренко, д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»; 630501, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Краснообск, ул. Центральная, 7; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6248-0167>

Татьяна Сергеевна Хорошилова, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»; 630501, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Краснообск, ул. Центральная, 7; e-mail: tatagoryacheva@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7226-6292>

Наталья Борисовна Гришина, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»; 630501, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Краснообск, ул. Центральная, 7; e-mail: natalja.grishina@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5795-7329>

Ольга Леонидовна Халина, научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»; 630501, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Краснообск, ул. Центральная, 7; e-mail: halinaolga@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4608-9023>

Елена Юрьевна Заборских, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории животноводства, филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» – «Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 649100, Российская Федерация, Республика Алтай, с. Майма, ул. Катунская, 2; e-mail: altayhorse@yandex.ru

Ирина Сергеевна Кондрашкова, канд. биол. наук, доцент кафедры общей биологии, биотехнологии и разведения животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет»; 656049, Российская Федерация, г. Барнаул, пр-кт Красноармейский, 73; e-mail: kondr.i.s@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9840-9872>

Information about the authors

Diana A. Avadani, Junior Research Associate at the Laboratory of Biotechnology, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; 7 Tsentralnaya St., Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russian Federation; e-mail: kehi666@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-3401-8793>

Galina M. Goncharenko, DSc (Bio), Chief Research Associate at the Laboratory of Biotechnology, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; 7 Tsentralnaya St., Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russian Federation; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6248-0167>

Tatyana S. Khoroshilova, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Biotechnology, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; 7 Tsentralnaya St., Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russian Federation; e-mail: tatagoryacheva@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7226-6292>

Natalia B. Grishina, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Biotechnology, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences; 7 Tsentralnaya St., Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russian Federation; e-mail: natalja.grishina@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5795-7329>

Olga L. Khalina, Research Associate at the Laboratory of Biotechnology, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; 7 Tsentralnaya St., Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russian Federation; e-mail: halinaolga@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-4608-9023>

Elena Yu. Zaborskikh, CSc (Ag), Senior Research Associate at the Laboratory of Animal Husbandry, Gorno-Altay Research Institute of Agriculture, Branch of Tomsk State University; 2 Katunskaya St., Maima Vlg, Republic of Altai, 649100, Russian Federation; e-mail: altayhorse@yandex.ru

Irina S. Kondrashkova, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of General Biology, Biotechnology and Animal Breeding, Altai State Agricultural University; 73 Krasnoarmeysky Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation; e-mail: kondr.i.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9840-9872>

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Особенности транспортировки и созревания *in vitro* ооцит-кумулюсных комплексов крупного рогатого скота

**Валерия Андреевна Макутина[✉], Анна Сергеевна Кривоногова,
Альбина Геннадьевна Исаева, Ирина Михайловна Донник**

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: makutina_v@rambler.ru

Аннотация

Исследования направлены на оценку и оптимизацию методов транспортировки яйцников крупного рогатого скота, а также методов созревания ооцит-кумулюсных комплексов (ОКК) для последующего экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) и культивирования эмбрионов до стадии бластоцисты *in vitro*. Апробированы температурные режимы транспортировки яйцников при температуре +4°C и +37,5°C, а также 3 системы *in vitro* созревания – *in vitro* maturation (IVM) ооцитов крупного рогатого скота с использованием питательных сред промышленного производства для культивирования предимплантационных эмбрионов: BO-IVM (IVF-Bioscience), Continuous Single Culture Complete (CSCM–C) with Gentamicin and HSA (Irvine Scientific) с добавлением 50 мкг/мл хорионического гонадотропина человека и 5 мкг/мл фолликулостимулирующего гормона, а также метод CAPA-IVM (capacitation IVM) с добавлением в среду CSCM–C 1мМ N6,2'-О-дибутириладенозин 3',5'-цикломонофосфата и 0,5мМ 3-изобутил-1-метилксантина. По результатам сравнения режима транспортировки при температуре +4°C и +37,5°C были получены сопоставимые результаты. Уровень дозревания ооцитов методом CAPA-IVM на среде CSCM–C составил 52,4%, уровень формирования бластоцист – 14,8%, что сопоставимо с результатами контрольной группы на среде, разработанной для созревания, оплодотворения и культивирования эмбрионов крупного рогатого скота: BO-IVM/BO-IVF/BO-IVC (IVF-Bioscience) – 36,2 и 18,8% соответственно. Таким образом, метод CAPA-IVM, по результатам наших исследований, представляется перспективным для использования во вспомогательных репродуктивных технологиях крупного рогатого скота.

Ключевые слова

Эмбрионы, крупный рогатый скот, экстракорпоральное оплодотворение, *in vitro* maturation, созревание ооцитов *in vitro*

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 19–76–10022 (<https://rscf.ru/project/19–76–10022>).

Для цитирования

Макутина В.А., Кривоногова А.С., Исаева А.Г., Донник И.М. Особенности транспортировки и созревания *in vitro* ооцит-кумулюсных комплексов крупного рогатого скота // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 111–122.

Features of transportation and *in vitro* maturation of bovine oocyte-cumulus complexes

Valery A. Makutina✉, Anna S. Krivonogova, Albina G. Isaeva, Irina M. Donnik

Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉Corresponding author: makutina_v@rambler.ru

Abstract

This study aimed to evaluate and optimize methods for transporting bovine ovaries, as well as methods for *in vitro* maturation (IVM) of oocyte-cumulus complexes (OCCs) for subsequent *in vitro* fertilization (IVF) and embryo culture to the blastocyst stage *in vitro*. Ovary transportation temperature regimes of +4°C and +37.5°C were tested, along with three *in vitro* maturation systems for bovine oocytes utilizing commercially available media designed for preimplantation embryo culture: BO-IVM (IVF-Bioscience), Continuous Single Culture Complete (CSCM-C) with Gentamicin and HSA (Irvine Scientific) supplemented with 50 µg/mL human chorionic gonadotropin and 5 µg/mL follicle-stimulating hormone, and the CAPA-IVM (capacitation IVM) method with the addition of 1mM N6,2'-O-dibutyryl adenosine 3',5'-cyclic monophosphate and 0.5mM 3-isobutyl-1-methylxanthine to CSCM-C medium. Comparable results were obtained between the transportation temperature regimes of +4°C and +37.5°C. The oocyte maturation rate using the CAPA-IVM method in CSCM-C medium was 52.4%, with a blastocyst formation rate of 14.8%. This is comparable to the results obtained in the control group utilizing media specifically formulated for bovine oocyte maturation, fertilization, and embryo culture – BO-IVM/BO-IVF/BO-IVC (IVF-Bioscience) – which yielded 36.2% and 18.8%, respectively. Therefore, based on our results, the CAPA-IVM method appears promising for use in assisted reproductive technologies in cattle.

Keywords

Embryos, bovine, *in vitro* fertilization, *in vitro* maturation, capacitation IVM

Acknowledgments

This research was funded by the Russian Science Foundation, grant number 19–76–10022 (<https://rscf.ru/project/19–76–10022>).

For citation

Makutina V.A., Krivonogova A.S., Isaeva A.G., Donnik I.M. Features of transportation and *in vitro* maturation of bovine oocyte-cumulus complexes. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 111–122.

Введение Introduction

Для изучения предимплантационного эмбрионального развития сельскохозяйственных животных, в частности, крупного рогатого скота, а также для исследований, включающих в себя перенос ядер и трансгенные технологии, зачастую единственный способ получения ооцитов сельскохозяйственных животных – это отбор яичников постмортально с последующим выделением ооцит-кумулюсных комплексов (ОКК)

и дозреванием ооцитов в лабораторных условиях. Проблемой при таком способе извлечения гамет является гетерогенность ооцитов, полученных из незрелых фолликулов, и их низкая компетентность к дальнейшему развитию, имплантации и живорождению. Разработка эффективной технологии извлечения антральных фолликулов и достижения ооцитами мейотической зрелости в условиях *in vitro* культивирования позволит обеспечить пул генетического эмбрионального материала для проведения исследовательских работ.

Успешное развитие эмбрионов крупного рогатого скота *in vitro* зависит от различных факторов включая качество ооцитов и сперматозоидов, состав питательной среды и условия культивирования. Помимо самого процесса созревания ооцитов и развития предимплантационных эмбрионов в условиях инкубатора, критически важным этапом является процесс транспортировки отобранных постмортально яичников, поскольку для сохранения компетентности ооцитов необходимо соблюдение временных ограничений и температурного режима от момента забора яичника до поступления биоматериала в лабораторию. Во время транспортировки приток крови к яичникам останавливается, и ооциты в фолликулах оказываются в условиях снижения уровня кислорода и глюкозы, а также накопления продуктов обмена. Для снижения неблагоприятных эффектов необходимо минимизировать время доставки яичников, однако сроки транспортировки не всегда можно контролировать. Другим способом снизить неблагоприятные эффекты при отсутствии возможности быстро доставить биоматериал является транспортировка при пониженной температуре. Однако в ооцитах, подвергавшихся воздействию низких температур, нарушается веретено деления и цитоскелет, изменяется профиль транскрипции генов. Таким образом, режим транспортировки яичников необходимо выбирать в зависимости от предполагаемого срока их транспортировки и удаленности эмбриологической лаборатории.

Технология созревания незрелых ооцитов вне организма самки – *in vitro* maturation (IVM). Для использования в IVM ОКК может быть получен из любой стадии развития антрального фолликула от 1 мм до 20 мм. Известно, что фолликулярная среда яичников поддерживает мейотический арест ооцитов, поэтому аспирация ОКК из фолликула и культивирование ОКК *in vitro* в питательной среде приведут к тому, что большинство ооцитов спонтанно возобновят мейотическое деление созревания [1]. При стандартном протоколе IVM ОКК культивируются в среде с добавлением фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), хорионического гонадотропина (ХГЧ) или лютеинизирующего гормона (ЛГ) и других добавок в течение 24–48 ч для имитации пика ЛГ во время овуляции. Выбор гормональных добавок и их соответствующих концентраций является переменным у разных исследователей [2, 3]. Физиологически преовуляторный всплеск ЛГ необходим для запуска возобновления мейоза и ядерного созревания ооцитов *in vivo*. Однако влияние ЛГ и ХГЧ на созревание и развитие ооцитов *in vitro* в условиях инкубатора все еще остается недоказанным.

Несмотря на десятилетия исследований факторов, влияющих на компетентность ооцитов, и многочисленные опубликованные исследования на разных млекопитающих и человеке, IVM как в клинических условиях, так и в животноводстве применяется на практике с низкой эффективностью [4]. Большинство опубликованных работ свидетельствует о снижении компетентности к развитию ооцитов, созревших *in vitro*, по сравнению со зрелыми ооцитами, созревшими *in vivo*, а также, что более важно, о более низкой частоте наступления беременности после IVM [5, 6].

Известно, что одной из причин низкой эффективности IVM является асинхронное ядерное и цитоплазматическое созревание: ядерное созревание заканчивается

раньше, чем цитоплазматическое. В результате отставания цитоплазматического созревания морфологически созревший ооцит на стадии метафазы II мейотического деления не несет необходимых мРНК и не успевает синтезировать белки, необходимые для успешного процесса оплодотворения, завершения деления созревания и экструзии второго полярного тела. У млекопитающих показано, что ооцит удерживается в фазе ареста мейотического деления на стадии GV (germinal vesicle) за счет накопления в цитоплазме циклического аденозинмонофосфата (цАМФ) и циклического гуанозинмонофосфата (цГМФ) [7]. Соответственно при аспирации ооцита из антрального фолликула происходит замена фолликулярной жидкости на питательную среду, что приводит к снижению внутриооцитарной концентрации цАМФ и, как следствие, к возобновлению мейоза.

Существуют подходы к задержке ядерного деления путем добавления в среду культивирования цАМФ для повышения его внутриклеточной концентрации, что обеспечивает завершение цитоплазматического созревания. В этой связи различные подходы использовались для ингибирования возобновления мейотического деления в незрелых ооцитах: культивирование в фолликулярной жидкости, культивирование в присутствии париетальных гранулезных клеток, добавление форсколина (ФСК) и 3-изобутил-1-метилксантина (ИБМХ) [8], созревание в присутствии натрийуретического пептида С-типа (CNP) [9]. ФСК активирует фермент аденилатциклазу, что приводит к повышению внутриклеточного уровня цАМФ. ИБМХ блокирует неселективную активность фосфодиэстеразы 3А, предотвращая инактивацию внутриклеточного цАМФ. CNP, секретируемый клетками гранулезы, индуцирует выработку циклического гуанозинмонофосфата (цГМФ). цГМФ в свою очередь регулирует уровни цАМФ, конкурируя за гидролизующую активность специфической для ооцитов фосфодиэстеразы 3А. В совокупности такой подход был назван изначально как SPOM – Simulated Physiological Oocyte Maturation – симуляция физиологичного созревания ооцитов, а позднее переименован в САРА-IVM (saracitation IVM). После предварительной инкубации ОКК в присутствии ингибиторов ядерного деления следует непосредственно IVM – созревание ооцита с завершением ядерного и цитоплазматического деления, выбросом первого полярного тела и образованием ооцита на стадии МП (метафаза II) – зрелого ооцита, готового к оплодотворению.

Цель исследований: оценить возможность применения метода САРА-IVM для физиологичного созревания постмортально извлеченных ОКК крупного рогатого скота путем предварительного инкубирования в среде с 1 мМ N6,2'-О-дибутириладенозин 3',5'-цикломонофосфата и 0,5 мМ 3-изобутил-1-метилксантина в течение 2 ч.

Методика исследований

Research method

Исследования выполнены в 2019–2023 гг. Яичники коров отбирали постмортально на специализированном убойном пункте и транспортировали в лабораторию при температуре +37–38°C или +4°C в течение 4–6 ч после получения. Контроль температурных условий осуществляли с помощью специализированного транспортного термоконтейнера. В лаборатории яичники промывали физиологическим раствором и аспирировали фолликулы размером от 2 до 10 мм с помощью шприцев объемом 5–10 мл с иглой 18G. Из нестимулированных яичников (без гормонального праймирования) удавалось получить от 0 до 10 ОКК разной степени зрелости. Для экспериментов были отобраны ОКК с тремя и более слоями клеток кумулюса и морфологически гомогенной цитоплазмой.

Созревание ооцитов (IVM) проводилось тремя способами:

1. С использованием специализированной среды промышленного производства для созревания ооцитов крупного рогатого скота BO-IVM (IVF-Bioscience). ОКК помещали в 500 мкл среды созревания, покрытой минеральным маслом для клеточных культур (Sage, США), на 24–26 ч при уровне углекислого газа 6,5%, кислороде 5,0% и температурном режиме +38,5 °C.

2. С использованием среды промышленного производства для культивирования эмбрионов человека Continuous Single Culture Medium Complete (CSCM–C, Irvine Scientific, США) с добавлением 50 мкг/мл ХГЧ (Хорионический гонадотропин человека, РФ) и 0,5 мкг/мл ФСГ (Гонал, Serono). В 500 мкл среды с добавленными гормонами под минеральным маслом помещали ОКК на 24–26 ч при уровне углекислого газа 6,5%, кислороде 5,0% и температурном режиме +38,5 °C.

3. ОКК помещали на 2 ч в среду CSCM–C, содержащую 1мМ N6,2'-О-дибутириладенозин 3',5'-цикломонофосфата (Sigma) и 0.5мМ 3-изобутил-1-метилксантин (IBMX, Sigma). Через 2 ч ОКК переносили в среду CSCM–C с 0,1 МЕ ФСГ под минеральным маслом на 22–24 ч культур при уровне углекислого газа 6,5%, кислороде 5,0% и температурном режиме +38,5 °C.

Экстракорпоральное оплодотворение проводили с применением криоконсервированных сперматозоидов племенного быка, замороженных в соломинах объемом 0,5 мл, согласно ранее описанной методике [10]. Обработку сперматозоидов проводили методом центрифугирования в градиенте плотности: 3 мл 80% Percoll (ORIGIO Gradien 40/80, Дания) в течение 15 мин 1500 об/мин при комнатной температуре. Осадок сперматозоидов после центрифугирования промывали буферной средой Sperm Wash (ORIGIO, Дания), содержащей 3 МЕ гепарина, в течение 10 мин при 1000 об/мин. После центрифугирования и отмывки образца вносили в среду оплодотворения с ОКК сперматозоиды в концентрации $1,0\text{--}2,0 \times 10^6$ подвижных сперматозоидов на 1 мл среды. В качестве среды оплодотворения использовали для первой группы BO-IVF (IVF-Bioscience), для второй и третьей групп – CSCM–C. Инкубировали ОКК в среде под минеральным маслом при том же температурном и газовом режиме. Через 16–18 ч после инсеминации комплексы полностью очищали от кумулюсных клеток и сперматозоидов и переносили в среду культивирования: для первой группы – BO-IVC (IVF-Bioscience), для второй и третьей групп – CSCM–C. Эмбрионы культивировали при тех же условиях без смены среды весь период развития до стадии бластоцисты, что составило в среднем 180–190 ч после оплодотворения.

Таблицы сопряженности 2×2 и критерий χ^2 использовали для анализа различий между группами. Статистическую значимость определяли достоверной при уровне $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Согласно полученным нами данным, представленным в таблице 1, транспортировка яичников при двух температурных режимах +4 °C и +38,0 °C в течение 4–6 ч приводила к схожим результатам по уровню дробления эмбрионов и по количеству сформированных бластоцист. Тенденция увеличения количества формирующихся бластоцист при транспортировке яичников КРС при температурном режиме +38,0 °C не достигала статистической значимости.

Таблица 1

Результаты транспортировки яичников при температуре +4°C и +38,0°C

Table 1

Results of ovary transportation at +4°C and +38.0°C

Температура транспортировки, °C	+4	+38
Количество ооцит-кумулюсных комплексов, шт.	113	203
Ооциты, начавшие дробление	26 (23,0%)	61 (30,5%)
Сформированные бластоцисты	3 (11,5%)	12 (19,7%)

Статистически значимых различий не выявлено.

Морфология извлеченных ОКК различалась по структуре кумулюса, его многослойности, по состоянию ооплазмы (рис. 1). По нашим данным, ооциты, полученные из комплексов (рис. 1а, 1б, 1в), были компетентны к созреванию, оплодотворению и последующему дроблению. Расширенные ОКК (рис. 1г) характерны для зрелых ооцитов на стадии МП. Желеобразные ОКК (рис. 1д, 1е) характерны для неовулировавших лютеинизированных фолликулов, ооциты из комплексов такого типа не дозревали и не оплодотворялись в наших условиях.

Через 24–26 ч после культивирования в среде для IVM ооцит-кумулюсные комплексы КРС морфологически изменялись, увеличивались в размере, клетки кумулюса расширялись и становились менее уплотненными (рис. 2).

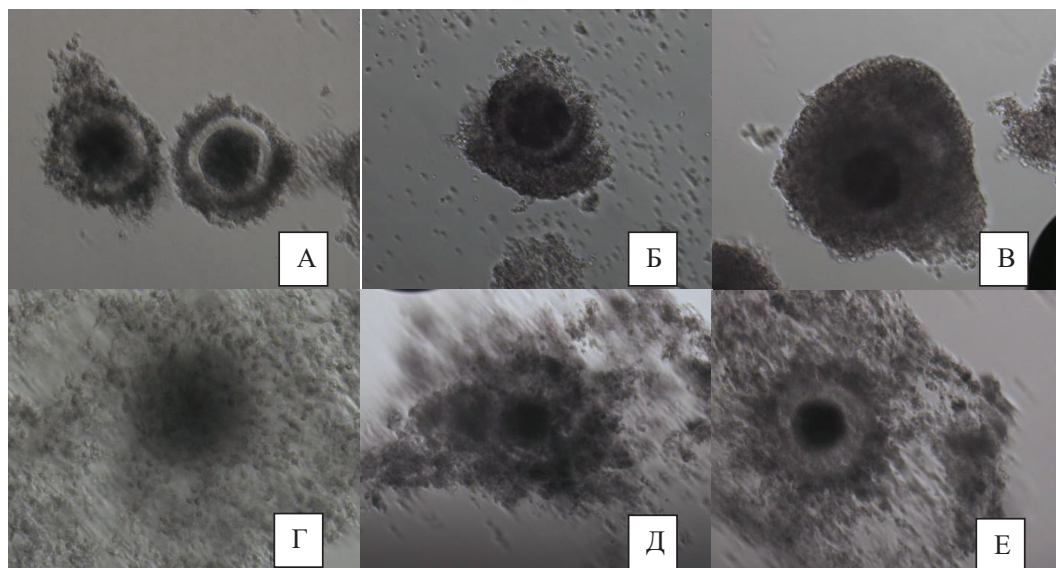


Рис. 1. Ооцит-кумулюсные комплексы, полученные постмортально из донорского материала (увеличение $\times 40$): а, б, в-полученные из комплексов; г – расширенные; д, е – желеобразные (ориг.)

Figure 1. Oocyte-cumulus complexes obtained *post mortem* from donor material ($\times 40$ magnification): a, b, c – obtained from complexes; d – expanded; e, f – gelatinous (original)

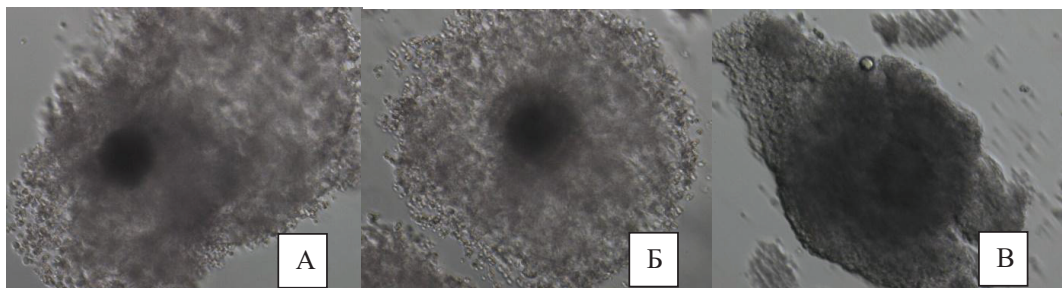


Рис. 2. Ооцит-кумулусные комплексы через 24 ч созревания, увеличение $\times 40$ (ориг.)

Figure 2. Oocyte-cumulus complexes after 24 hours of maturation ($\times 40$ magnification) (original)

Количество и качество ОКК извлеченных из нестимулированных яичников постмортально существенно различаются у разных особей. Из яичников удавалось получить от 0 до 30 ОКК. Среднее полученное количество ОКК на яичник составило 2,5. При использовании яичников, полученных *post mortem*, животные не подвергаются предварительному воздействию экзогенного ФСГ, поэтому в яичниках преобладают некрупные антральные фолликулы. В целом посмертное извлечение и созревание ооцитов накладывают на исследовательскую работу ряд ограничений – таких, как неизвестная стадия цикла, возраст и состояние животных. При этом все перечисленные факторы могут негативным образом сказаться на качестве полученного генетического материала и, как следствие, на уровне формирующихся бластоцист, приемлемых для переноса в полость матки корове-реципиенту [11]. В ряде случаев яичники содержали крупные доминантные фолликулы или желтые тела, свидетельствующие об овуляции. В таких случаях антральные фолликулы могут содержать ооциты со сниженной компетентностью к дальнейшему развитию, так как *in vivo* овуляторный пик ЛГ уже прошел, доминантный фолликул овулировал, а остальные антральные фолликулы не развиваются и подвергаются атрезии. Такие яичники были нами исключены из работы.

Результаты созревания ооцитов, оплодотворения и культивирования эмбрионов до стадии бластоцисты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Данные по созреванию ооцитов КРС в трех системах ИВМ

Table 2

Results on bovine oocyte maturation in three IVM systems

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа
Среда, методика	ВО-IVM	CSCM-C + ХГЧ + ФСГ	CSCM-C + CAPA-IVM
Количество ооцит-кумулусных комплексов	425	118	103
Количество делящихся эмбрионов	154 (36,2%)	44 (37,3%)	54 (52,4%)*
Количество бластоцист	29 (18,8%)	3 (6,8%)*	8 (14,8%)

*Статистическая достоверность отличий между группами $p \leq 0,05$.

Мы сравнили три метода созревания ооцитов, в том числе на средах для культивирования эмбрионов человека с добавлением гормонов и с пре-культивированием по методу CAPA-IVM. Сравнительный анализ трех систем созревания ооцитов крупного рогатого скота показал, что наиболее эффективно дозревание происходит при использовании метода CAPA-IVM (52,4%), что достоверно выше, чем при использовании среды BO-IVM (36,2%) и при добавлении ФСГ/ХГЧ в среду CSCM–С (37,3%). Однако уровень формирования бластоцист сопоставим как при использовании метода CAPA-IVM (14,8%) на среде CSCM–С, так и при применении линейки сред IVF-Bioscience, специализированной для КРС (18,8%). При этом добавление ХГЧ и ФСГ в используемых нами концентрациях в среду CSCM–С с последующим культивированием в этой среде оказалось значимо менее эффективно по уровню эмбрионов, сформировавших бластоцисту (6,8%). Однако необходимо отметить, что используемая в качестве контроля линейка сред IVF-Bioscience поставляется производителем, будучи уже готовой к использованию. Кроме того, производитель не раскрывает состав среды в инструкции, поэтому мы сочли, что добавление ФСГ + ХГЧ или dbcAMP + IBMX к среде BO-IVM может привести к непрогнозируемому результату.

В качестве среды для метода CAPA-IVM и IVM с добавлением гонадотропинов использовали CSCM–С, разработанную для культивирования эмбрионов человека. В дальнейшем, каждую группу продолжали культивировать на выбранной линейке сред. Высокий уровень дозревания в группе CAPA-IVM, значимым образом превышающий контрольные значения, не привел к высокому выходу бластоцист в этой группе. Возможно, среда, предназначенная для развития эмбрионов человека, неполностью соответствует потребностям предимплантационных эмбрионов крупного рогатого скота. Тем не менее метод CAPA-IVM, по результатам наших исследований, оказался достаточно перспективным. В отличие от этого в стандартной схеме IVM с добавлением гонадотропинов ооциты созревают спонтанно при удалении из фолликулярной жидкости, что приводит к преждевременному возобновлению мейоза без сложного каскада молекулярных сигналов, способствующих дозреванию цитоплазмы. Культуральная среда для созревания ооцитов при этом содержит гонадотропины (ЛГ/ХГЧ и ФСГ), имеющиеся в норме в организме в процессе оогенеза.

Пик ЛГ возникает *in vivo* в период созревания ооцитов перед овуляцией. При антральной стадии фолликулогенеза необходим также и ФСГ, который оказывает влияние на взаимодействие клеток ОКК с ооцитом через щелевые контакты. Клетки гранулезы регулируют созревание ооцитов путем изменения внутриооцитарной концентрации цАМФ, цГМФ, метаболитов и РНК [12, 13]. После овуляции ооцита из фолликула уровень цАМФ в его цитоплазме снижается, что приводит к возобновлению мейотического деления. Все эти взаимодействия являются определяющими факторами созревания ооцита и возобновления мейоза, а также компетенции ооцита к дальнейшему развитию.

Гетерогенный источник аспирированных постмортально незрелых ооцитов, извлеченных из фолликулов на разных фазах роста, приводит к нарушению способности ооцита к дальнейшему развитию ввиду нарушения мейотического деления созревания. Процесс созревания ооцита в организме млекопитающего достаточно длительный, при этом созревание в условиях лаборатории IVM составляет 24–48 ч. В результате в цитоплазме ооцита не накапливается достаточно мРНК, необходимых белков и не происходит своевременного перераспределения внутриклеточных органелл, что приводит к несинхронному ядерному и цитоплазматическому созреванию [14, 15]. Несмотря на то, что некоторые ооциты в малых антральных фолликулах

способны развиваться до бластоцисты, необходим дополнительный преинкубационный период для их правильного созревания. Поэтому метод «предварительного созревания» САРА-IVM, который имитирует естественный физиологический рост циклических нуклеотидов во время созревания фолликула, способен увеличить компетентность ооцита, его способность созреть, успешно оплодотвориться и сформировать бластоцисту.

Необходимым является проведение дальнейших исследований для оптимизации методики САРА-IVM, в том числе с использованием другой культуральной среды, поддерживающей дробление эмбрионов крупного рогатого скота.

Выводы

Conclusions

Сопоставимые исходы по уровню дозревания и формирования бластоцист были получены при транспортировке яичников коров при температуре как +4°C, так и +38,5°C. Тенденция увеличения количества формирующихся бластоцист при транспортировке яичников КРС при температурном режиме +38,0°C не достигала статистической значимости.

Более эффективным для созревания ооцитов КРС стало применение метода САРА-IVM с добавлением в среду CSCM–C1мМ N6,2'-О-дибутириладенозин 3',5'-цикломонофосфата и 0,5мМ 3-изобутил-1-метилксантина. При этом уровень оплодотворенных и дробящихся ооцитов достигал 50%, что было значимо выше контрольных показателей в группе ооцитов, культивируемых на среде IVF-Biosciense. Формирование бластоцист при этом составило около 15%, что сопоставимо с контрольными значениями.

Добавление гормонов ФСГ и ХГЧ в используемых нами концентрациях в среду CSCM–C эффективно поддерживало созревание ооцитов и их последующее оплодотворение и дробление, однако уровень формирования бластоцист в данной группе был достоверно ниже.

Список источников

1. Gilchrist R.B., Smits J. Oocyte in vitro maturation: physiological basis and application to clinical practice. *Fertil Steril*. 2023;119(4):524-539. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.02.010>
2. Никитин Г.С. Современные подходы при получении и криоконсервации эмбрионов крупного рогатого скота *in vitro* // *Международный вестник ветеринарии*. 2021. № 3. С. 192–205. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.3.192>
3. Yang H., Kolben T., Meister S., Paul C., et al. Factors Influencing the In Vitro Maturation (IVM) of Human Oocyte. *Biomedicines*. 2021;9(12):1904. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9121904>
4. Михайлова Н.Д., Мишиева Н.Г., Кириллова А.О., Мартазанова Б.А. и др. Дозревание ооцитов *in vitro*. // *Акушерство и гинекология*. 2021. № 11. С. 64–70. <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2021.11.64-70>
5. Ji K., Park K., Kim D., Kim E., Kil T., Kim M. Accomplishment of canine cloning through in vitro matured oocytes: a pioneering milestone. *J Anim Sci Technol*. 2024;66(3):577-586. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e18>
6. Shani A.K., Naham L.M., Balakier H., Kuznyetsova I. et al. The developmental potential of mature oocytes derived from rescue in vitro maturation. *Fertil Steril*. 2023;120(4):860-869. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.163>

7. Strączyńska P., Papis K., Morawiec E., Czerwiński M. et al. Signaling mechanisms and their regulation during in vivo or in vitro maturation of mammalian oocytes. *Reprod Biol Endocrinol.* 2022;20(1):37. <https://doi.org/10.1186/s12958-022-00906-5>
8. Leal G.R., Monteiro C.A.S., Carnevali L.R., Souza-Fabjan J.M.G. The Simulated Physiological Oocyte Maturation (SPOM) system in domestic animals: A systematic review. *Theriogenology.* 2022; 188:90-99. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.05.023>
9. Zhao Y., Liao X., Krysta A.E., Bertoldo M.J. et al. Capacitation IVM improves cumulus function and oocyte quality in minimally stimulated mice. *J. Assist. Reprod. Genet.* 2020; 37(1): 77-88. <https://doi.org/10.1007/s10815-019-01610-x>
10. Макутина В.А., Кривоногова А.С., Донник И.М., Исаева А.Г. Time-lapse культивирование in vitro эмбрионов крупного рогатого скота до стадии бластоцисты // *Вестник КрасГАУ.* 2025. № 3 (216). С. 106–117. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-3-106-117>
11. Souza-Fabjan J.M.G., Leal G.R., Monteiro C.A.S., Batista R.I.T.P., Barbosa N.O., Freitas V.J.F. In vitro embryo production in small ruminants: what is still missing? *Anim Reprod.* 2023;20(3): e20230055. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0055>
12. Bongkoch Turathum, Er-Meng Gao, Ri-Cheng Chian. The Function of Cumulus Cells in Oocyte Growth and Maturation and in Subsequent Ovulation and Fertilization. *Cells.* 2021;10(9):2292. <https://doi.org/10.3390/cells10092292>
13. Martinez C.A., Rizos D., Rodriguez-Martinez H., Funahashi H. Oocyte-cumulus cells crosstalk: New comparative insights. *Theriogenology.* 2023;205:87-93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.04.009>
14. Strączyńska P., Papis K., Morawiec E., Czerwiński M. et al. Signaling mechanisms and their regulation during in vivo or in vitro maturation of mammalian oocytes. *Reprod Biol Endocrinol.* 2022;20(1):37. <https://doi.org/10.1186/s12958-022-00906-5>
15. Torkashvand H., Shabani R., Amiri I., Darakhshan R. et al. Exploring the Potential of In vitro Maturation (IVM) of Oocytes: Indications, Applications, and Treatment Protocols. *Avicenna J Med Biotechnol.* 2024;16(3):156-164. <https://doi.org/10.18502/ajmb.v16i3.15741>

References

1. Gilchrist R.B., Smits J. Oocyte in vitro maturation: physiological basis and application to clinical practice. *Fertil Steril.* 2023;119(4):524-539. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.02.010>
2. Nikitin G.S. Modern approaches for obtaining and cryoconservation of cattle embryos in vitro. *International Bulletin of Veterinary Medicine.* 2021;(3):192-205. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.3.192>
3. Yang H., Kolben T., Meister S., Paul C. et al. Factors Influencing the In Vitro Maturation (IVM) of Human Oocyte. *Biomedicines.* 2021;9(12):1904. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9121904>
4. Mikhailova N.D., Mishieva N.G., Kirillova A.O., Martazanova B.A. et al. In vitro oocyte maturation. *Akusherstvo i Ginekologiya.* 2021;(11):64-70. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2021.11.64-70>
5. Ji K., Park K., Kim D., Kim E. et al. Accomplishment of Canine Cloning Through In Vitro Matured Oocytes: A Pioneering Milestone. *J Anim Sci Technol.* 2024;66(3):577-586. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e18>
6. Shani A.K., Haham L.M., Balakier H., Kuznyetsova I. et al. The Developmental Potential of Mature Oocytes Derived from Rescue In Vitro Maturation. *Fertil Steril.* 2023;120(4):860-869. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.05.163>

7. Strączyńska P., Papis K., Morawiec E., Czerwiński M. et al. Signaling Mechanisms and Their Regulation During In Vivo or In Vitro Maturation of Mammalian Oocytes. *Reprod Biol Endocrinol.* 2022;20(1):37. <https://doi.org/10.1186/s12958-022-00906-5>
8. Leal G.R., Monteiro C.A.S., Carnevali L.R., Souza-Fabjan J.M.G. The Simulated Physiological Oocyte Maturation (SPOM) System in Domestic Animals: A Systematic Review. *Theriogenology.* 2022;188:90-99. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.05.023>
9. Zhao Y., Liao X., Krysta A.E., Bertoldo M.J. et al. Capacitation IVM Improves Cumulus Function and Oocyte Quality in Minimally Stimulated Mice. *J. Assist. Reprod. Genet.* 2020;37(1):77-88. <https://dx.doi.org/10.1007/s10815-019-01610-x>
10. Makutina V.A., Krivonogova A.S., Donnik I.M., Isaeva A.G. Time-lapse in vitro cultivation of cattle embryos to the blastocyst stage. *Bulletin of KSAU.* 2025;(3(216)):106-117. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-3-106-117>
11. Souza-Fabjan J.M.G., Leal G.R., Monteiro C.A.S., Batista R.I.T.P. et al. In Vitro Embryo Production in Small Ruminants: What Is Still Missing? *Anim Reprod.* 2023;20(3):e20230055. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0055>
12. Turathum B., Gao E.-M., Chian R.-C. The Function of Cumulus Cells in Oocyte Growth and Maturation and in Subsequent Ovulation and Fertilization. *Cells.* 2021;10(9):2292. <https://doi.org/10.3390/cells10092292>
13. Martinez C.A., Rizo D., Rodriguez-Martinez H., Funahashi H. Oocyte-cumulus Cells Crosstalk: New Comparative Insights. *Theriogenology.* 2023;205:87-93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.04.009>
14. Strączyńska P., Papis K., Morawiec E., Czerwiński M. et al. Signaling Mechanisms and Their Regulation During In Vivo or In Vitro Maturation of Mammalian Oocytes. *Reprod Biol Endocrinol.* 2022;20(1):37. <https://doi.org/10.1186/s12958-022-00906-5>
15. Torkashvand H., Shabani R., Amiri I., Darakhshan R. et al. Exploring the Potential of In vitro Maturation (IVM) of Oocytes: Indications, Applications, and Treatment Protocols. *Avicenna J Med Biotechnol.* 2024;16(3):156-164. <https://doi.org/10.18502/ajmb.v16i3.15741>

Сведения об авторах

Валерия Андреевна Макутина, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр» Уральского отделения Российской академии наук; 620142, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: makutina_v@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1127-2792>

Анна Сергеевна Кривоногова, д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр» Уральского отделения Российской академии наук; 620142, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: tel-89826512934@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1918-3030>

Альбина Геннадьевна Исаева, д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр» Уральского отделения Российской академии наук; 620142, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: isaeva.05@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8395-1247>

Ирина Михайловна Донник, д-р биол. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр» Уральского отделения Российской академии наук; 620142, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: ktqrjp7@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8349-3004>

Information about the authors

Valery A. Makutina, CSc (Bio), Senior Research Associate, Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 112a Belinskogo St., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: makutina_v@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1127-2792>

Anna S. Krivonogova, DSc (Bio), Associate Professor, Leading Research Associate, Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 112a Belinskogo St., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: tel-89826512934@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1918-3030>

Albina G. Isaeva, DSc (Bio), Associate Professor, Leading Research Associate, Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 112a Belinskogo St., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: isaeva.05@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8395-1247>

Irina M. Donn timer, DSc (Bio), Professor, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Research Associate, Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 112a Belinskogo St., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: ktqrjp7@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8349-3004>

ЗООТЕХНИА, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Эффективность применения фитобиотической добавки
на основе семян масличных культур в кормлении цыплят-бройлеров**

**Ирина Александровна Сазонова[✉], Анна Викторовна Ерохина,
Елена Васильевна Васильева, Владислав Владимирович Светлов**

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы, Саратов, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: iasazonova@mail.ru

Аннотация

Исследования проводились на цыплятах-бройлерах кросса Росс 308 в производственных условиях с целью оценки влияния фитобиотической кормовой добавки на основе нигеллы и расторопши на рост, мясную продуктивность и органолептические характеристики мяса. Кормовая добавка вводилась в основной рацион в количестве 2%, заменяя часть корма. Во время эксперимента наблюдали за сохранностью поголовья птицы, конверсией корма. Окончание технологического цикла считали после 48 суток. После убоя определяли мясную продуктивность и органолептические показатели. К концу опыта в опытной группе отмечали сохранность на 0,77 абс.% выше, чем в контроле. Живая масса бройлеров опытной группы превосходила контрольную на 3,8% при наибольшем потреблении корма птицей в контрольной группе. После убоя выявлено превосходство опытных бройлеров по убойному выходу потрошенных тушек на 2,0 абс.%. Опытная группа бройлеров отличалась более высоким его значением по сравнению с контролем на 0,2 абс.%. При проведении органолептической оценки было зафиксировано, что нигелла, присутствующая в кормовой добавке, придала мясу пряное послевкусие. Вареное мясо и бульон от бройлеров опытной группы отличались высокими органолептическими характеристиками. В результате внедрения в рацион исследуемой кормовой добавки уровень рентабельности повысился на 9,8 абс.% по сравнению с контролем.

Ключевые слова

Цыплята-бройлеры, фитобиотики, кормовые добавки, мясная продуктивность, конверсия корма, качество мяса

Для цитирования

Сазонова И.А., Ерохина А.В., Васильева Е.В., Светлов В.В. Эффективность применения фитобиотической добавки на основе семян масличных культур в кормлении цыплят-бройлеров // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 123–134.

Effectiveness of applying a phytobiotic supplement based on oilseed in feeding broiler chickens

Irina A. Sazonova✉, Anna V. Erokhina,
Elena V. Vasilyeva, Vladislav V. Svetlov

Russian Scientific Research and Technological Design Institute of Sorghum and Corn,
Saratov, Russia

✉Corresponding author: iasazonova@mail.ru

Abstract

This study evaluated the impact of a 2% phytobiotic feed supplement, incorporating nigella and milk thistle, on the performance and meat quality of Ross 308 broiler chickens under commercial conditions. The supplement replaced a portion of the standard feed. Chickens were monitored for 48 days, assessing mortality and feed conversion ratio. At slaughter, meat productivity and organoleptic characteristics were determined. The experimental group exhibited a 0.77% absolute improvement in survival rate compared to the control group. While the control group consumed more feed, the experimental group showed a 3.8% higher live weight. Carcass yield was 2.0% higher in the experimental group. Organoleptic evaluation revealed a distinct savory aftertaste attributed to the nigella in the supplement, resulting in superior sensory characteristics for both cooked meat and broth from the experimental group. The study concluded with a 9.8% absolute increase in profitability for the experimental group compared to the control.

Keywords

Broiler chickens, phytobiotics, feed supplements, meat productivity, feed conversion ratio, meat quality

For citation

Sazonova I.A., Erokhina A.V., Vasilyeva E.V., Svetlov V.V. Effectiveness of applying a phytobiotic supplement based on oilseed in feeding broiler chickens. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 123–134.

Введение

Introduction

Успешная реализация генетического потенциала сельскохозяйственной птицы предусматривает соблюдение ряда условий, одним из которых является полноценное кормление. В современных реалиях обеспечение птицы всеми необходимыми для активного роста элементами питания трудновыполнимо без включения в рацион дополнительных кормовых добавок. Учеными-исследователями доказана эффективность применения кормовых продуктов различного происхождения, в том числе на основе растительного сырья [2–4, 7, 10–13]. Кормовые добавки способны оказывать протектирующее действие на организм сельскохозяйственной птицы, что положительно сказывается на ее продуктивности.

В настоящее время в птицеводческой отрасли наблюдается массовое применение антибиотиков. Но требования потребительского рынка к мясной продукции таковы, что все больше население выбирает «экологически чистую» продукцию от животных и птицы, выращенных без применения лекарственных препаратов [14]. Как следствие, внимание производителей привлекают кормовые добавки растительного

происхождения с выраженными фитобиотическими свойствами [1, 5, 6, 8, 9]. Доказано, что входящие в состав растений биологически активные комплексы способны оказывать стимулирующее действие на обменные процессы в организме и повышать устойчивость организма к факторам внешней среды, в том числе к патогенной микрофлоре [15].

Малоизученным является вопрос использования фитобиотических комплексов в промышленном производстве, а именно их действия на мясную продуктивность и органолептические характеристики мяса.

Цель исследований: оценка влияния фитобиотической кормовой добавки на основе нигеллы и расторопши на рост, мясную продуктивность и органолептические характеристики мяса.

Методика исследований

Research method

Объектом исследований стали цыплята-бройлеры кросса Росс-308. Эксперимент выполнялся в промышленном производстве ООО «Время-91» (с. Красный Яр, Энгельсский р-н Саратовской области) в период 2023–2024 гг., где птицу содержали в птичнике напольным методом в секциях с глубокой подстилкой из опилок (плотность посадки – 18 гол. на 1 м²). По методу групп-аналогов были сформированы 2 группы по 200 гол. в каждой, учитывали живую массу цыплят и дату вывода. Условия содержания контрольной и опытной групп цыплят-бройлеров были идентичными (рис. 1).

Эксперимент проводился в течение 48 дней в соответствии с технологическим графиком предприятия.

В процессе откорма применяли смену полноценных кормовых смесей согласно возрастным периодам птицы (старт, рост, финиш) производства ООО «Август-Агро» (Саратовская область, Энгельсский р-н, с. Красный Яр). Контрольная группа получала основной рацион, а опытной заменяли по массе 2% комбикорма на фитобиотическую добавку, представляющую собой смесь размельченных семян нигеллы и расторопши (рис. 2).

Во время эксперимента оценивали сохранность поголовья, абсолютный и среднесуточный прирост, относительную скорость роста птицы, затраты корма на 1 кг прироста живой массы и убойные показатели по общепринятым в птицеводстве методикам.



Рис. 1. Условия содержания цыплят в птичнике

Figure 1. Broiler housing conditions



Рис. 2. Фитобиотическая кормовая добавка

Figure 2. Phytobiotic feed supplement

После окончания технологического цикла определяли убойные показатели птицы: убойную массу, убойный выход и индекс мясных качеств, органолептические характеристики мяса.

Вкусовые качества мяса оценивались посредством дегустации по следующим показателям: нежность, сочность, вкус и аромат. Качество мясного бульона оценивалось по таким показателям, как вкус, аромат, наваристость, цвет и прозрачность – в соответствии с ГОСТ 9959–2015.

По итогам опыта рассчитывали экономическую эффективность внедрения.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Производственный эксперимент показал, что сохранность поголовья во всех исследуемых группах птицы соответствовала нормативам при выращивании кросса «Росс-308». В то же время сохранность бройлеров за период выращивания в контрольной группе составила 97,80%, а в опытной она превосходила контроль и была на уровне 98,57%, то есть на 0,77 абс.% выше (табл. 1).

Аналогичная ситуация отмечалась при анализе абсолютного и среднесуточного прироста: различия в пользу опытной группы бройлеров составили 130,3 г и 2,8 г соответственно, или 3,9%. Одновременно наблюдалась разница в характеристике скорости роста цыплят. Так, опытная группа отличалась большим относительным приростом, чем поголовье контрольной группы, на 0,2 абс.%.

Количество израсходованного корма на 1 гол. в контрольной группе превышало аналогичный показатель опытной группы на 3,7%, что отражалось в затратах корма на 1 кг прироста живой массы птицы и снижало конверсию корма в группе опытного поголовья на 11,8%.

По окончании технологического цикла в соответствии с планом производства проводился контрольный убой птицы (10 гол. из каждой группы). Результаты убойных показателей представлены в таблице 2.

Отмечено, что убойный выход полупотрошенных тушек опытной группы цыплят был выше, чем в контроле, на 2,0 абс.%. При более глубокой разделке тушек также было выявлено превосходство опытных бройлеров по убойному выходу потрошенных тушек на 2,0 абс.%. За счет более высокого убойного выхода тушек опытной группы птицы был выше выход продукции по категориям. Так, применение фитобиотической добавки увеличивало выход продукции первой категории на 1 абс.% по сравнению с контрольной группой.

Таблица 1

**Результаты производственной апробации по качественным признакам
мясной скороспелости бройлеров кросса Росс-308**

Table 1

**Results of the field trial on meat quality characteristics
of Ross 308 broiler chickens**

Изучаемые показатели	Группы бройлеров, n = 200	
	контрольная	опытная
Сохранность, %	97,80	98,57
Живая масса при постановке на конец учетного периода, г	41,0±0,3	41,2±0,3
Живая масса в конце эксперимента, г	3261,3±3,7	3391,8±3,8*
Абсолютный прирост (1–48 дней), г	3220,3±4,2	3350,6±5,5*
Среднесуточный прирост живой массы в среднем за весь период, г	68,5	71,3
Относительный прирост живой массы за весь период, %	195,0	195,2
Потребление корма в среднем на 1 гол., кг	5,4	5,2
Конверсия корма, кг	1,7	1,5

*Достоверные различия: $p \leq 0,001$.

Важной характеристикой мясной продуктивности бройлеров является масса съедобных частей в тушке. Так, в наших результатах данный показатель в опыте превышал аналогичный в контроле на 16,1%.

Анализируя индекс мясных качеств, который представляет собой отношение массы съедобных частей к массе несъедобных, необходимо отметить, что опытная группа бройлеров отличалась более высоким его значением по сравнению с контролем на 0,2 абс.%. Следовательно, превосходство убойных показателей и в целом мясной продуктивности отмечалось у бройлеров, которым в рацион добавляли фитобиотическую добавку на основе масличных трав. Это может быть связано с более высокой интенсивностью метаболизма у птицы опытной группы, и как следствие – с увеличением выхода продукции.

Перед проведением органолептической оценки мясо цыплят-бройлеров всех исследуемых групп было выдержано при температуре +4°C в течение 24 ч. После этого была зафиксирована чистота тушек, без остатков пуха и пера, розоватого цвета с присутствием светло-желтого оттенка; подкожный жир имел бледно-желтый цвет. При дегустации оценивали характеристики мясного бульона и мяса, по результатам проведения органолептической оценки были составлены диаграммы органолептических показателей (рис. 3–5).

Таблица 2

Убойные качества бройлеров кросса Росс-308 (n = 10)

Table 2

Slaughter characteristics of Ross 308 broiler chickens (n=10)

Показатели	Группы бройлеров	
	контрольная	опытная
Средняя предубойная масса, г	3261,3±3,7	3391,8±3,8 *
Масса полупотрошенной тушки, г	2678,8±2,0	2851,5±1,7 *
Убойный выход полупотрошенной тушки, %	82,1	84,1
Масса потрошенной тушки, г	2552,3±1,6	2722,6±1,7 *
Убойный выход потрошенной тушки, %	78,3	80,3
Выход потрошенных тушек, %		
1 категория	94	95
2 категория	6	5
Масса съедобных частей тушки, г	1793,7±1,5	2136,8±1,8 *
% к живой массе	55,0	63,0
Масса несъедобных частей тушки, г	1467,6±2,1	1255,0±2,4 *
% к живой массе	45	37,0
Индекс мясных качеств (отношение массы съедобных частей к массе несъедобных)	1,5	1,7

*Достоверные различия: $p < 0,001$.

При оценке мясного бульона, полученного от цыплят-бройлеров исследуемых групп, зафиксированы следующие характеристики: прозрачность с крупными каплями жира на поверхности, аромат без посторонних запахов, свойственный виду птицы.

При дегустационной оценке мяса и бульона от исследуемых групп птицы по 5-балльной системе установлено хорошее качество всей представленной продукции. Одновременно данная продукция от бройлеров опытной группы имела преимущество по ряду показателей: запах, вкус, крепость (различия – в пределах 1,0–1,1 балла).

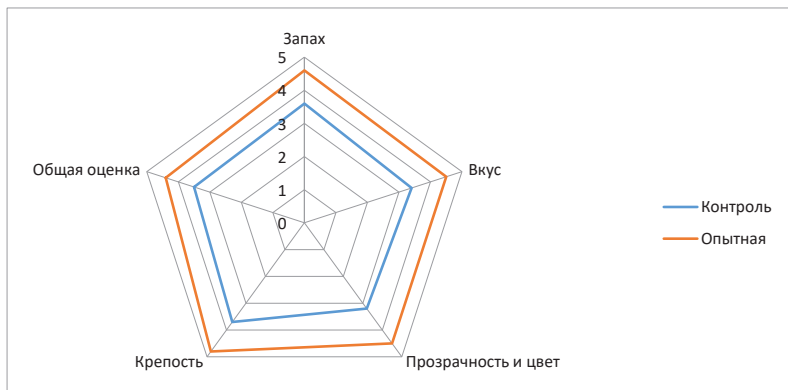


Рис. 3. Балльная органолептическая оценка бульона, полученного от бройлеров кросса Росс-308

Figure 3. Organoleptic scores of broth from Ross 308 broiler chickens

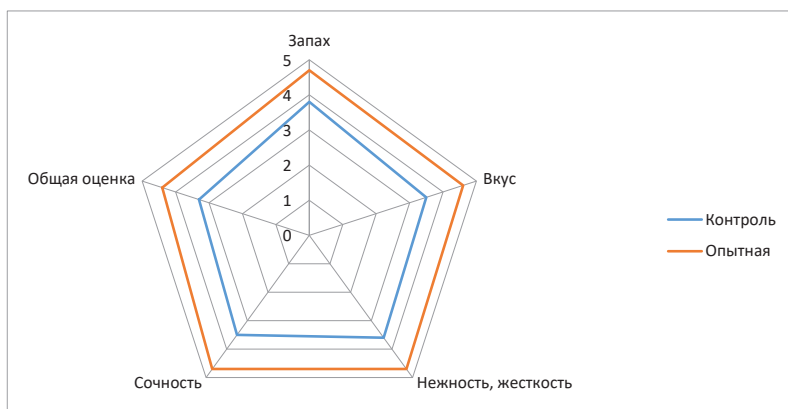


Рис. 4. Балльная органолептическая оценка грудных мышц, полученных от бройлеров кросса Росс-308

Figure 4. Organoleptic scores of pectoral muscles from Ross 308 broiler chickens

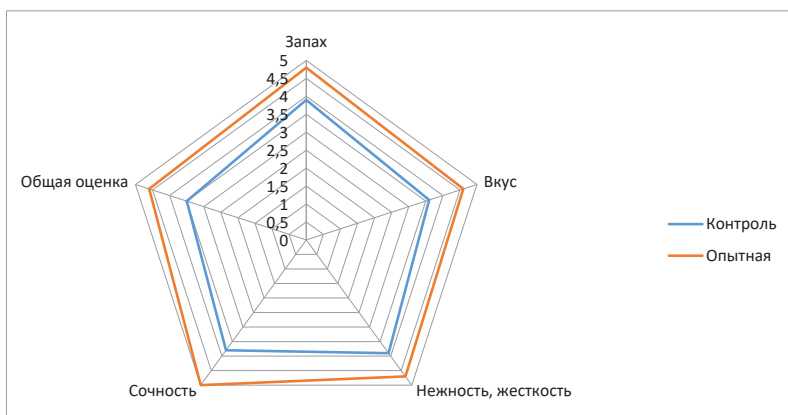


Рис. 5. Балльная органолептическая оценка бедренных мышц, полученных от бройлеров кросса Росс-308

Figure 5. Organoleptic scores of femoral muscles from Ross 308 broiler chickens

Дегустаторы отметили естественный цвет, натуральный приятный и ароматный в Аналогичная ситуация просматривалась по результатам дегустации грудных и бедренных мышц исследуемой птицы.

кус очень нежного и сочного мяса в опытной группе птицы. Нигелла, которая присутствует в составе кормовой добавки, придала мясу приятное пряное послевкусие.

Таким образом, использование фитобиотического комплекса, представляющего собой смесь семян нигеллы и расторопши, обеспечивало повышение органолептических показателей как бульона, так и мяса. В целом следует отметить, что вареное мясо и бульон, полученные от бройлеров опытной группы, отличались высокими органолептическими характеристиками.

Кроме высокого качества, продукция должна иметь высокую рентабельность при промышленном производстве, быть экономически обоснованной. Данные расчета экономической эффективности внедрения фитобиотической добавки в производство цыплят-бройлеров представлены в таблице 3.

Согласно данным таблицы стоимость кормов для опытной группы за счет добавления комплексной фитодобавки повысилась на 4,5 руб/кг. Однако за счет уменьшения потребления корма в опытной группе бройлеров уровень рентабельности, отражающий эффективность использования рациона кормления, составил 33,7%, что оказалось на 9,8 абс.% выше, чем в контроле.

Таблица 3

**Расчет экономической эффективности внедрения
фитобиотической добавки в производство**

Table 3

**Cost-effectiveness analysis of introducing
the phytobiotic supplement into production**

Показатели	Контроль (ПК)	Опыт (ПК + фитодобавка)	Отклонения, +, –
Среднее потребление корма на 1 гол., кг	5,4	5,2	–0,3
Масса потрошенной тушки, г/гол.	2552,3	2722,6	+170,3
Стоимость кормов, руб/кг	37,4	41,9	+4,5
Затраты на 1 гол., в том числе на корма, руб.	217,88	201,96	–15,92
Цена 1 кг тушки бройлера, руб/кг	270,0	270,0	0,0
Прибыль, руб.	52,12	68,04	+15,92
Уровень рентабельности, %	23,9	33,7	+9,8

Выводы Conclusions

Наблюдения за ростом и развитием цыплят-бройлеров кросса Росс-308 показали, что использование фитогеников в рационе в значительной степени оказывает влияние на продуктивные качества птицы. Органолептическая оценка позволила установить влияние фитобиотической добавки с использованием семян эфиромасличных культур на дегустационные характеристики мяса.

Отмечалось повышение сохранности в опытной группе на 0,77 абс.%. Предубойная масса бройлеров опытной группы превосходила контрольную на 3,8% при наибольшем потреблении корма птицей в контрольной группе. Результаты показали, что мясная продуктивность опытной группы бройлеров была выше, чем у контрольной группы птицы, по следующим характеристикам: убойный выход тушек, выход продукции I категории, масса съедобных частей тушки и индекс мясных качеств.

По результатам эксперимента вареное мясо и бульон бройлеров из опытной группы имели превосходство по органолептическим показателям.

Таким образом, полученные результаты подтвердили положительный эффект, в том числе экономический, от включения фитобиотической кормовой добавки, состоящей из смеси семян нигеллы и расторопши, в рацион цыплят-бройлеров.

Список источников

1. Андрианова Е.Н., Егоров И.А., Присяжная Л.М. и др. Добавка Винивет на основе продуктов пчеловодства как альтернатива кормовым антибиотикам в комбикормах для цыплят-бройлеров: бактерицидный и биостимулирующий эффект применения // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51, № 2. С. 213–222. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.213rus>
2. Багно О.А., Шевченко С.А., Шевченко А.И. и др. Характеристика яичной продуктивности и морфологических показателей крови кур-несушек при скормливании горчицы сарептской // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 6. С. 66–70. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_6_66
3. Багно О.А., Шевченко С.А., Шевченко А.И. и др. Эффективность использования экстракта крапивы двудомной при выращивании цыплят-бройлеров // *Вестник НГАУ*. 2022. № 1. С. 97–109. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-62-1-97-109>
4. Багно О.А. Эффективность использования экстракта рябины обыкновенной в кормлении кур-несушек // *Птицеводство*. 2022. № 4. С. 11–15. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-4-11-15>
5. Демидова Е.С., Егоров И.А., Андрианова Е.Н. и др. Мицеллированный куркумин в кормлении цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. 2022. № 3. С. 17–21. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-3-17-21>
6. Кишняйкина Е.А., Жучаев К.В., Багно О.А. и др. Влияние экстракта чабреца на качественные показатели мяса цыплят-бройлеров // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019. № 2. С. 25–31. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-24-2-25-31>
7. Набиуллин А. Натуральное решение проблем с помощью танинов // *Комбикорма*. 2019. № 7-8. С. 56–59. EDN: XUPIKV
8. Сазонова И.А., Пронина В.И., Ерохина А.В. Рост, развитие и продуктивность бройлеров при использовании фитобиотических добавок // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 5. С. 116–125. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-5-116-125>

9. Саломатин В.В., Ряднов А.А., Ряднова Т.А. и др. Влияние биоактивной добавки на основе экстракта пихты на морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. 2022. № 1. С. 25–29. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-1-25-29>
10. Шацких Е.В., Латыпова Е.Н. Влияние фитобиотиков на сохранность поголовья и морфогистологическое состояние селезенки кур // *Вестник аграрной науки*. 2022. № 5 (98). С. 70–76. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.5.70>
11. Шевченко С.А., Бagno О.А., Шевченко А.И. и др. Эффективность использования экстракта эхинацеи пурпурной в кормлении кур-несушек // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022. № 4 (210). С. 84–90. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-210-4-84-90>
12. Abouelezz K., Abou-Hadied M., Yuan J. et al. Nutritional impacts of dietary oregano and Enviva essential oils on the performance, gut microbiota and blood biochemicals of growing ducks. *Animal*. 2019;13(10):2216-2222. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000508>
13. Ao X., Kim I.H. Effects of grape seed extract on performance, immunity, antioxidant capacity, and meat quality in Pekin ducks. *Poultry Science*. 2020;99(4):2078-2086. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.014>
14. Damaziak K., Stelmasiak A., Konieczka P. et al. Water extract of yarrow (*Achillea millefolium* L.) leaf improves production parameters, tissue antioxidant status and intestinal microbiota activity in turkeys. *Animal Feed Science and Technology*. 2022;288:115309. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115309>
15. Hashemi S.R., Davoodi H. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*. 2011;35:169-180. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>

References

1. Andrianova E.N., Egorov I.A., Prisyazhnaya L.M. Akhmetova L.T. et al. Feed additive Vinivet of apicultural products as an alternative for antibiotic growth promoters in broiler chick diets – bactericidal and biostimulating effect. *Agricultural Biology*. 2016;51(2):213-222. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.213eng>
2. Bagno O.A., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I., Prokhorov O.N. et al. Characteristics of egg-laying capacity and morphological indicators of laying hens' blood when feeding brown mustard. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2022;36(6):66-70. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_6_66
3. Bagno O.A., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I., Prokhorov O.N. et al. Effectiveness of using of nettle extract in raising broiler Chickens. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022;(1(62)):97-109. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-62-1-97-109>
4. Bagno O.A. The Efficiency of supplementation of diets for layers with different doses of rowanberry extract. *Ptitsevodstvo*. 2022;(4):11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-4-11-15>
5. Demidova E.S., Egorov I.A., Andrianova E.N., Samoylov A.V. et al. Micellated curcumin as an antioxidant in diets for broilers. *Ptitsevodstvo*. 2022;(3):17-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-3-17-21>
6. Kishnyaikina E.A., Zhuchayev K.V., Bagno O.A., Tokarev V.S. et al. The effect of the extract of the columber on the qualitative indicators of meat chicken-broilers. *Innovations and Food Safety*. 2019;(2(24)):25-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-24-2-25-31>

7. Nabiullin A. Natural solution of problems with the help of tannins. *Kombikorma*. 2019;(7-8):56-59. (In Russ.)
8. Sazonova I.A., Pronina V.I., Erokhina A.V. Growth, development and productivity of broilers using phytobiotic additives. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;(5):116-125. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-5-116-125>
9. Salomatin V.V., Ryadnov A.A., Ryadnova T.A., Ryadnova Yu.A. The effects of bioactive additive based on aqueous extract of siberian fir tree on the morphological and biochemical blood parameters in broilers. *Ptitsevodstvo*. 2022;(1):25-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-1-25-29>
10. Shatskikh E.V., Latypova E.N. The influence of phytobiotics on the livability and morphohistological state of the chicken spleen. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022;(5(98)):70-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.5.70>
11. Shevchenko S.A., Bagno O.A., Shevchenko A.I., Prokhorov O.N. Effectiveness of using echinacea purpurea extract in laying hen nutrition. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(4(210)):84-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-210-4-84-90>
12. Abouelezz K., Abou-Hadied M., Yuan J., Elokil A.A. et al. Nutritional impacts of dietary oregano and Enviva essential oils on the performance, gut microbiota and blood biochemical of growing ducks. *Animal*. 2019;13(10):2216-2222. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000508>
13. Ao X., Kim I.H. Effects of grape seed extract on performance, immunity, antioxidant capacity, and meat quality in Pekin ducks. *Poultry Science*. 2020;99(4):2078-2086. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.014>
14. Damaziak K., Stelmasiak A., Konieczka P., Adamek-Urbańska D. et al. Water Extract of Yarrow (*Achillea millefolium* L.) Leaf Improves Production Parameters, Tissue Antioxidant Status and Intestinal Microbiota Activity in Turkeys. *Animal Feed Science and Technology*. 2022;288:115309. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115309>
15. Hashemi S.R., Davoodi H. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*. 2011;35:169-180. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>

Сведения об авторах

Ирина Александровна Сазонова, д-р биол. наук, доцент, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»; 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский пр-д, 4; e-mail: iasazonova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9844-5339>

Анна Викторовна Ерохина, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»; 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский пр-д, 4; e-mail: eroha46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5874-1931>

Елена Васильевна Васильева, д-р экон. наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»; 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский пр-д, 4; e-mail: vasilievaev2574@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0455-6164>

Владислав Владимирович Светлов, канд. с.-х. наук, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский

научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»; 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский пр-д, 4; e-mail: svsvetlov1992@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0270-1970>

Information about the authors

Irina A. Sazonova, DSc (Bio), Associate Professor, Chief Research Associate, Russian Scientific Research and Technological Design Institute of Sorghum and Corn; 41-iy Institutskiy proezd, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: iasazonova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9844-5339>

Anna V. Erokhina, Senior Research Associate, Russian Scientific Research and Technological Design Institute of Sorghum and Corn; 41-iy Institutskiy proezd, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: eroha46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5874-1931>

Elena V. Vasilyeva, DSc (Econ), Chief Research Associate, Russian Scientific Research and Technological Design Institute of Sorghum and Corn; 41-iy Institutskiy proezd, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: vasilievaev2574@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0455-6164>

Vladislav V. Svetlov, CSc (Ag), Research Associate, Russian Scientific Research and Technological Design Institute of Sorghum and Corn; 41-iy Institutskiy proezd, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: svsvetlov1992@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0270-1970>

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Пищевая и энергетическая ценность мясной продукции телок
разных пород и разного направления продуктивности
при интенсивном выращивании**

**Юсупжан Артыкович Юлдашбаев¹, Владимир Иванович Косилов²,
Елена Анатольевна Никонова², Ильмира Агзамовна Рахимжанова²,
Николай Павлович Герасимов³**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Оренбургский государственный аграрный университет

³Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий

✉ Автор, ответственный за переписку: zoo@rgai-msha.ru

Аннотация

Реализация программы значительного наращивания производственного потенциала мясного животноводства должна базироваться на рациональном использовании доступных породных ресурсов, что подразумевает и задействование сверхремонтного молодняка в качестве контингента для откорма. Целью исследований являлась оценка пищевой ценности средней пробы мяса-фарша и выхода питательных веществ в съедобной части туши телок красной степной (I гр.), симментальской (II гр.) и казахской белоголовой (III гр.) пород. Установлено, что телки I гр. уступали сверстницам II и III гр. по массовой доле сухого вещества в средней пробе мяса фарша на 2,21 и 3,81%, экстрагируемого жира – на 1,09 и 2,59%, протеина – на 1,11 и 1,20%. При этом преимущество телок III гр. над молодняком II гр. по величине анализируемых показателей составляло 1,60, 1,50 и 0,09% соответственно. Отмечалось преимущество телок II и III гр. над сверстницами I гр. по выходу сухого вещества в съедобной части туши, которое составляло 11,88 кг (21,54%) и 15,15 кг (28,10%). По выходу белка телки I гр. уступали молодняку II и III на 6,43 кг (22,36%) и 6,39 кг (22,22%), экстрагируемого жира – на 5,79 кг (23,32%) и 8,26 кг (33,27%). Это обусловило более высокую энергетическую ценность мясной продукции телок симментальской и казахской белоголовой пород II и III гр. при лидирующем положении последних.

Ключевые слова

Скотоводство, телки, красная степная порода, симментальская порода, казахская белоголовая порода, средняя проба мяса, химический состав, выход питательных веществ, энергетическая ценность

Для цитирования

Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.А., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А. и др. Пищевая и энергетическая ценность мясной продукции телок разных пород и разного направления продуктивности при интенсивном выращивании // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 135–147.

Nutritional and energy value of meat products from heifers of different breeds and production types under intensive rearing

**Yusupzhan A. Yuldashbaev¹, Vladimir I. Kosilov², Elena A. Nikonova²,
Ilmira A. Rakhimzhanova², Nikolay P. Gerasimov³**

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

²Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

³Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS, Orenburg, Russia

✉ **Corresponding author:** zoo@rgai-msha.ru

Abstract

The implementation of a program aimed at significantly increasing the production potential of beef cattle breeding should be based on the efficient utilization of available breed resources, which implies the involvement of surplus replacement heifers as a component for fattening. The aim of this study was to assess the nutritional value of an average sample of minced meat and the yield of nutrients in the edible portion of the carcass of red steppe (Group I), Simmental (Group II), and Kazakh white-headed (Group III) heifers. It was found that Group I heifers were inferior to their counterparts in Groups II and III in terms of the mass fraction of dry matter in the average minced meat sample by 2.21% and 3.81%, extractable fat by 1.09% and 2.59%, and protein by 1.11% and 1.20%. Moreover, Group III heifers showed an advantage over Group II heifers in the magnitude of the analyzed parameters, which amounted to 1.60%, 1.50%, and 0.09%, respectively. Heifers in Groups II and III exhibited a higher yield of dry matter in the edible portion of the carcass compared to their Group I counterparts, amounting to 11.88 kg (21.54%) and 15.15 kg (28.10%). In terms of protein yield, Group I heifers were inferior to those in Groups II and III by 6.43 kg (22.36%) and 6.39 kg (22.22%), and in extractable fat by 5.79 kg (23.32%) and 8.26 kg (33.27%). This resulted in a higher energy value of beef products from Simmental and Kazakh white-headed heifers in Groups II and III, with the latter holding a leading position.

Keywords

Cattle breeding, heifers, red steppe breed, Simmental breed, Kazakh white-headed breed, average meat sample, chemical composition, nutrient yield, energy value

For citation

Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A. et al. Nutritional and energy value of meat products from heifers of different breeds and production types under intensive rearing. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 135–147.

Введение

Introduction

Мировой спрос на говядину стремительно растет: к 2030 г. прогнозируется увеличение потребления до 75 млн т в год. Этот рост обусловлен не только увеличением населения, но и изменениями в пищевых предпочтениях и уровне благосостояния, особенно в развивающихся странах Азии и Африки. Реализация программы значительного наращивания производственного потенциала мясного животноводства должна базироваться на рациональном использовании доступных породных ресурсов, что подразумевает и задействование сверхремонтного молодняка в качестве контингента

для откорма [1–6]. Комплектация откормочного поголовья из представителей отечественных пород крупного рогатого скота имеет ряд преимуществ при сочетании высокого уровня продуктивности и адаптационной пластичности к технологическому процессу [7–10]. Комбинация из этих полезных биологических качеств позволяет сохранить конкурентоспособность отечественных породных ресурсов при производстве говядины относительно импортных высокоинтенсивных аналогов [11, 12].

Из общего убойного контингента около 9 млн гол. значительная часть относится к молодняку молочных и молочно-мясных пород, а на долю помесей от промышленного скрещивания и животных специализированных мясных пород приходится не более 17%. К этому следует добавить поголовье выбракованных коров, ежегодно выводимых из стада в связи с низкой продуктивностью, яловостью и по другим причинам. Высокие стандарты, предъявляемые к современному маточному поголовью при комплексной оценке племенных качеств, и большое количество признаков отбора способствуют выбраковке значительной части довольно перспективного молодняка и исключают его использование для ремонта основного стада. Эту часть телок целесообразно направить в откормочные гурты, что может существенно расширить возможности для производства высококачественной говядины. Исходя из этого основными резервами увеличения производства говядины являются всемерная интенсификация выращивания и откорма животных плановых молочных и молочно-мясных пород.

Для повышения производственного потенциала отрасли за счет сверхремонтного молодняка молочного и комбинированного направлений продуктивности необходимо не столько увеличение поголовья, сколько прежде всего совершенствование и внедрение интенсивной технологии откорма для улучшения убойных показателей и качества говядины [13, 14].

К настоящему времени накоплено достаточно данных об особенностях синтеза питательных веществ в теле и биологической полноценности мяса от бычков специализированного молочного и молочно-мясного направлений продуктивности [15, 16]. В то же время информация по сравнительному анализу химического состава и энергетической ценности говядины от сверхремонтных телок в зависимости от породной принадлежности в полной мере не раскрыта, а имеющиеся в доступных источниках сведения не дают ответа на возможность производства высококачественной мясной продукции.

Глобальный рост потребления говядины требует устойчивого его производства [17, 18]. Несмотря на то, что производство мяса считалось побочным продуктом молочной отрасли, в настоящее время убой молочного и комбинированного скота, помимо важного резерва производства говядины, способствует снижению негативного воздействия индустрии на окружающую среду [19]. Так, Б. ван Сельм с соавт. [20] утверждает, что при производстве говядины от молодняка молочного направления продуктивности отмечается снижение на 29% выбросов парниковых газов на 1 кг туши по сравнению с аналогами, выращенными по традиционной системе «Корова-теленки». Анализ показывает, что доля говядины, получаемой из молочных стад, увеличивается благодаря нескольким факторам, в том числе увеличению поголовья молочных коров, улучшению организации воспроизводства и сокращению потребности в ремонтном контингенте [21, 22].

За последние два десятилетия доля бычков специализированных молочных пород для поставок на откормочные площадки в США возросла с 6,9 до 16,3%. Отчасти это связано с сокращением поголовья мясных коров и с увеличением использования сексированного семени в молочном скотоводстве для получения племенных телок с высоким генетическим потенциалом продуктивности [23]. Разведение молочного скота для производства говядины открывает уникальные возможности по сравнению с узкоспециализированным откормом крупного рогатого скота мясных пород.

В настоящее время повышение предложения ремонтных телок молочного направления привело к существенному снижению их рыночной стоимости, что позволяет производителям молочной продукции приобретать телок на ремонт стада гораздо дешевле, чем их выращивание от рождения до ввода в основное стадо [24].

Таким образом, содержание сверхремонтных телок становится весьма дорогостоящим в том случае, если предприятие не собирается в дальнейшем увеличивать размеры стада. В связи с этим целесообразно оптимизировать стратегию производства на молочных фермах с учетом получения телят для последующего выращивания и откорма, которых можно реализовать на площадке с большей выгодой [25, 26].

Таким образом, специализированные системы молочного производства, вероятно, продолжают вносить значительный вклад в повышение предложения мяса на рынке говядины [27]. Учитывая это, важно в сравнительном аспекте изучить пищевые достоинства продукции, полученной от контрастных по генетическим задаткам продуктивности телок.

Цель исследований: изучить формирование пищевой и энергетической ценности говядины от телок в зависимости от породной принадлежности и направления продуктивности.

Методика исследований

Research method

Объектом исследований являлись телки красной степной, симментальской и казахской белоголовой пород в 18-месячном возрасте.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (Постановление МА государств – участников СНГ от 31 октября 2007 г. № 29–17), Руководство по работе с лабораторными животными (https://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были приняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Экспериментальной базой для выполнения практической части исследований являлся ООО «Колос» Оренбургской области. Согласно методическим указаниям ВНИИМС (1984) был проведен контрольный убой по 3 телки из группы 18-месячного возраста следующих пород: I – красная степная (молочное направление продуктивности); II – симментальская (комбинированное направление продуктивности); III – казахская белоголовая (мясное направление продуктивности). После суточного охлаждения в холодильной камере при $t = 0 \pm 4^\circ\text{C}$ были проведены обвалка правых полутуш и жиловка съедобной части. После этого приготовили фарш путем измельчения мякотной части полутуши через волчок. Были отобраны образцы мяса-фарша и по общепринятым методикам определен его химический состав. Среднюю пробу мяса-фарша в количестве 400 г отбирали из левой полутуши. Определение содержания сухого вещества проводили путем высушивания образцов в сушильном шкафу при $+100^\circ\text{C}$. Органическое вещество определяли озолением высушенного образца при температуре $+550^\circ\text{C}$. Для определения массовой доли влаги в мясе применяли ГОСТ 9793–2016 «Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги». Для определения количества белка в пробах использовали ГОСТ 25011–2017 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка» и ГОСТ 23042–2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира». Исследования выполнены в ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). По методике В.А. Александрова (1951) определили энергетическую ценность 100 г мяса-фарша.

Содержание энергии в 1 кг мяса-фарша определяется по формуле:

$$\text{МДж} = ((P \times 4,1) + (F \times 9,3)) \times 0,04187, \quad (1)$$

где P – содержание протеина, %; F – содержание жира, %; 0,04187 – коэффициент перевода ккал в МДж.

Расчетным путем установили выход сухого вещества, белка и экстрагируемого жира в съедобной части туши и ее энергетическую ценность.

Полученные экспериментальные материалы обрабатывали и анализировали с использованием пакета статистических программ StatSoft Statistica v.10.0. При этом устанавливали среднюю арифметическую величину (X), ошибку стандартного отклонения (S). Критерий достоверности разницы определяли по Стьюденту-Фишеру. За предел достоверности использовали параметр $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Востребованность потребителем и устойчивость спроса на мясную продукцию в первую очередь продиктованы качественными показателями, в числе которых особое место занимает пищевая ценность, представляющая собой состав и структуру химических веществ в мякоти туши. В ряде исследований отмечено значительное влияние наследственности животных на весовой рост отдельных тканей тела, убойных показателей и интенсивность синтеза отдельных химических веществ в организме крупного рогатого скота [15, 16]. В большей мере генетические аспекты химического состава мяса определяются межпородной изменчивостью, которая обуславливает направление обменных процессов, а также уровнем превращения энергии и протеина корма в энергию и протеин мясной продукции. Большое практическое значение вариабельности химического состава мускулатуры создаст предпосылки для раннего прогнозирования продуктивных качеств и решения вопроса о возрасте убоя животных на мясо.

Результаты анализа свидетельствуют о генетической обусловленности вариабельности химического состава мяса подконтрольных телок (рис. 1).

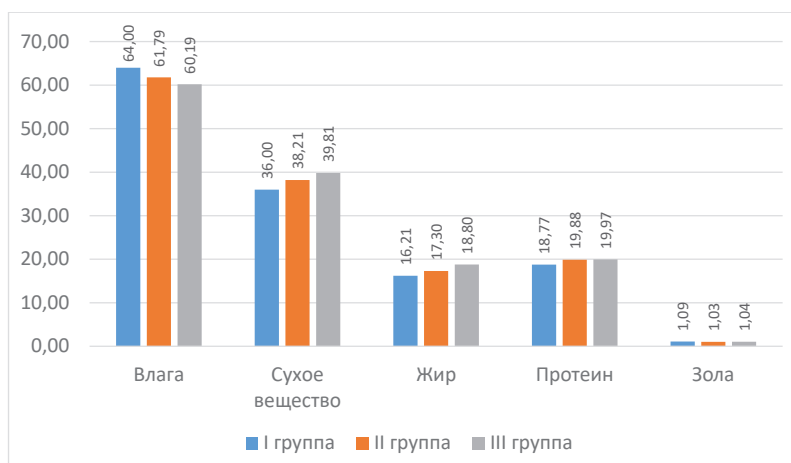


Рис. 1. Химический состав средней пробы мяса-фарша телок разных пород в 18 месяцев, %

Figure 1. Chemical composition of average minced meat samples from heifers of different breeds at 18 months, %

Наибольшая массовая доля влаги зафиксирована в мясе от телок красной степной породы, которые статистически достоверно ($P<0,05$) превосходили сверстниц симментальских на 2,21% и казахских белоголовых на 3,81%. В исследованиях Н.М. Губайдуллина с соавт. [28] получены данные по содержанию влаги в мясе, полученном от сверхремонтных телок молочного направления продуктивности, которые варьировали в пределах 65,32–66,21%. Это согласуется с результатами нашей работы, и в целом объясняет специфические особенности развития мышечной ткани молочных пород, подтверждая их относительную позднеспелость. Однако пищевые достоинства говядины в большей степени определяются суммой сухого вещества в ее составе. По данному компоненту ранг распределения породных групп был противоположен вариабельности уровня влаги, что выражалось в значительном ($P<0,05$) преимуществе представителей комбинированного направления продуктивности на 2,21% и мясного – на 3,81%.

Межгрупповая изменчивость сухого вещества зависела от соотношения экстрагируемого жира и протеина в пробах мякоти туши. Заметим, что у каждой породы интенсивность синтеза белка и жира в тканях тела имеет свои особенности. Весьма сходны в этом отношении симментальские и казахские белоголовые телки, у которых к 18-месячному возрасту складывается наиболее благоприятное соотношение этих компонентов. Молочный тип продуктивности I группы определял минимальный уровень данных элементов в мясе-фарше при значительных межпородных различиях. Так, по содержанию жира разница колебалась в интервале 1,09–2,59% ($P<0,05$), а по протеину – 1,11–1,20% ($P<0,05$) в пользу симментальских и казахских белоголовых телок соответственно.

Специализированная мясная порода (казахская белоголовая) выделялась на фоне сверстниц большим синтезом питательных веществ в тканях тела, что выражалось в значительном ($P<0,05$) превосходстве относительно сверстниц комбинированного использования по доле сухого вещества на 1,60% и экстрагируемого жира на 1,50%, тогда как по содержанию протеина межгрупповая дистанция была незначительной.

Таким образом, казахской белоголовой породе свойственно более раннее образование жировых отложений в теле, влияющих на пищевые достоинства говядины, в сравнении с молодняком красной породы молочного и комбинированного направлений продуктивности. Это служит важнейшим индикатором биологической и хозяйственной скороспелости животных.

Вариабельность содержания минеральных веществ в мясе разных пород не превышала внутригрупповую и находилась практически на одном уровне.

Массовая доля основных компонентов химического состава говядины не отражает в полной мере пищевую ценность получаемой при убойе продукции. Дополнительной, более объективной характеристикой мяса считают выход питательных элементов на единицу мякотной части, а также их валовый выход. Расчет результатов убоя и анализа химического состава подтвердил определяющую роль наследственности в дифференциации телок по данным параметрам (табл. 1).

На 1 кг мякоти туши от симментальской и казахской белоголовой породных групп приходилось больше сухого вещества на 22,1–38,1 г (8,14–10,58%) по сравнению с красными степными сверстницами. Эта разница обеспечивалась за счет неодинакового накопления белка и экстрагируемого жира в тканях тела в разрезе изучаемых генотипов животных. Так, телками красной степной породы в расчете на единицу продукции было отложено белка на 11,1–12,0 г (5,91–6,39%), жира – на 10,9–25,9 г (6,72–15,98%) относительно сверстниц комбинированного и мясного направлений продуктивности.

Таблица 1

**Выход питательных веществ и энергетическая ценность
съедобной части туши телок в 18 месяцев**

Table 1

Nutrient yield and energy value of the edible portion of heifer carcasses at 18 months

Показатель	Группа		
	I	II	III
Содержание сухого вещества: – в 1 кг съедобной части туши, г – всего съедобной части туши, кг	360,0 55,16	382,1 67,04	398,1 70,66
Содержание белка: – в 1 кг съедобной части туши, г – всего съедобной части туши, кг	187,7 28,76	198,8 35,19	199,7 35,15
Содержание экстрагируемого жира: – в 1 кг съедобной части туши, г – всего съедобной части туши, кг	162,1 24,83	173,0 30,62	188,0 33,09
Энергетическая ценность: – в 1 кг съедобной части туши, г – всего съедобной части туши, кг	9533,7 1460,56	10148,7 1796,3	10748,2 1891,68

При определении валового выхода питательных веществ в съедобных тканях тела ранг распределения породных групп не изменился, а различия по массе туши и морфологическому составу сделали межгрупповую разницу еще более существенной. Красные степные телки к моменту убоя (18 месяцев) накопили в мякоти туши на 11,88–15,50 кг (25,34–28,10%) меньше сухого вещества, по белку разница составляла 6,43–6,39 кг (22,36–22,22%), а по количеству жира – 5,79–8,26 кг (23,32–33,27%).

Значение говядины в питании человека определяется не только наличием полноценного белка, но и источником энергии. Неодинаковая способность к синтезу питательных веществ телками изучаемых породных групп обусловила различия по энергетической ценности 1 кг съедобных тканей тела. Наименьшая энергетическая ценность 1 кг мякоти зафиксирована у телок красной степной породы, которые уступали сверстницам на 615,0–1214,5 кДж (6,45–12,74%). Такой ранг распределения предопределил преимущество по содержанию энергии во всей мякотной части у симментальского и казахского белоголового молодняка на 335,76–431,10 МДж (22,99–29,52%) относительно молочной породы. При этом следует отметить максимальную выраженность показателя во всех случаях у представителей мясного направления продуктивности.

Выводы Conclusions

Роль говядины в рационе человека невозможно переоценить, что объясняется ее оптимальным химическим составом, биологической полноценностью и технологическими свойствами. В составе говядины значительную долю занимают полноценные белки, источники незаменимых аминокислот для снабжения организма человека «строительным» материалом органов и тканей тела. Также при окислительном

процессе питательных веществ мяса в организме человека высвобождается большое количество энергии, которая расходуется на обеспечение жизнедеятельности и основных функций тела.

Фактор породности сверхремонтных телок оказывал доминирующее воздействие на пищевую и энергетическую ценность полученной от них говядины. Так, у телок красной степной породы фиксировалось высокое содержание влаги в мякотной части туш на фоне минимальной доли жира (16,21%) и белка (18,77%), а соответствующие показатели у симментальских сверстниц варьировали в пределах 17,30–18,80, у казахской белоголовой группы – 19,88–19,97%. Межпородная разница по химическому составу мяса-фарша выражались в различиях по жиру-протеиновому соотношению, которое было оптимальным у мясной породы (1,0:1,0), а минимальным – у представителей молочного направления (0,86:1,0). Неодинаковое содержание питательных веществ в съедобных тканях тела определяло межгрупповую изменчивость по энергетической ценности говядины. В разрезе пород энергетическая ценность всей мякоти туши повышалась от 1460,56 МДж у молочного направления до 1796,32 МДж у комбинированного и 1891,68 МДж у мясного типа животных.

Несмотря на наличие значительных межгрупповых различий по пищевой и энергетической ценности, все показатели у сверхремонтных телок не выходили за пределы референсных интервалов по говядине.

Таким образом, организация откорма телок молочного, комбинированного и мясного направлений продуктивности является дополнительным резервом получения мясной продукции. При этом преимущество по пищевой и энергетической ценности говядины – на стороне телок казахской белоголовой породы.

Список источников

1. Джуламанов К.М., Бактыгалиева А.Т., Колпаков В.И., Джуламанов Е.Б. Качество мяса бычков и кастратов разных генотипов // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова*. 2021. № 65 (4). С. 54–60. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.65.4.008>
2. Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Адаптивные качества и интерьерные различия помесных и чистопородных телок калмыцкой породы в условиях высокогорья Кабардино-Балкарской Республики // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. № 94 (2). С. 284–288. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-284-288>
3. Мирошников С.А., Харламов А.В., Маркова В.А. Качественные показатели говядины бычков разных пород и направлений продуктивности // *Теория и практика переработки мяса*. 2017. Т. 2, № 2. С. 14–22. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-2-14-22>
4. Пристupa В.Н., Кротова О.Е., Дудченко С.Н. и др. Мясная продуктивность бычков разных пород отечественной селекции // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 102 (4). С. 255–260. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-255-260>
5. Zhaimysheva C.S., Kosilov V.I., Voroshilova L.N., Gerasimova T.G. Influence of steer genotypes on the features of muscle development in the postnatal period of ontogenesis. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;624:012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012109>
6. Nikonova E.A., Kosilov V.I., Anhalt E.M. The influence of the genotype of gobies on the quality of meat products. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;624:012131. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012131>

7. Tyulebaev S.D., Kadysheva M.D., Kosilov V.I., Gabidulin V.M. The state of polymorphism of genes affecting the meat quality in micropopulations of meat simmentals. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;624:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012045>
8. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А. Пищевая ценность мышечной ткани молодняка черно-пестрой породы и ее помесей с голштинами // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 4. С. 104–110. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-4-104-110>
9. Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Кубатбеков Т.С. и др. Пищевая ценность мясной продукции молодняка чернопестрой породы и ее помесей с голштинами // *Аграрная наука*. 2021. № 7-8. С. 37–40. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-37-40>
10. Kubatbekov T.S., Kosilov V.I., Kaledin A.P. et al. The Genotypic Peculiarities of The Consumption and The Use Of Nutrients And Energy From The Fodder By The Purebred And Crossbred Heifers. *Journal of Biochemical Technology*. 2020;11(4):36-41. EDN: QSQQVG
11. Zhaimysheva S.S., Kosilov V.I., Miroshnikov S.A. et al. Genetic and physiological aspects of bulls of dual-purpose and beef breeds and their crossbreeds. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020;421:022028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/2/022028>
12. Trukhachev V.I., Moroz V.A., Chernobai E.N., Ismailov I.S. Meat and interior features rams of different genotypes. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(1):1626-1630
13. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M. et al. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6(S5):33-41
14. Tyulebaev S.D., Kadysheva M.D., Kosilov V.I., Gabidulin V.M. The state of polymorphism of genes affecting the meat quality in micropopulations of meat simmentals. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;624:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012045>
15. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Николаев Д.В. и др. Влияние породной принадлежности на мясную продуктивность бычков и биологическую ценность получаемой от них говядины // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105, № 3. С. 56–68. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-56>
16. Емельяненко А.В., Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Химический состав и биологическая ценность мяса бычков мясных пород // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 3 (83). С. 318–320. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-83-3-318-321>
17. Henchion M., Moloney A.P., Hyland J. Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*. 2021;15(1):100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>
18. Hocquette J.-F., Ellies-Oury M.-P., Lherm M. et al. Current situation and future prospects for beef production in Europe – A review. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 2018;31(7):1017-1035. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0196>
19. Berry D. Invited review: beef-on-dairy – the generation of crossbred beef × dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2021;104(4):3789-3819. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19519>
20. van Selm B., de Boer I.J.M., Ledgard S.F., van Middelaar C.E. Reducing greenhouse gas emissions of New Zealand beef through better integration of dairy and beef production. *Agric. Sys.* 2021;186:102936. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102936>
21. Berry D., Wall E., Pryce J.E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal*. 2014;8(1):105-121. <https://doi.org/10.1017/s1751731114000743>

22. Läpple D., Sirr G. Dairy intensification and quota abolition: a comparative study of production in Ireland and the Netherlands. *EuroChoices*. 2019;18:26-32. <https://doi.org/10.1111/1746-692x.12213>
23. Jaborek J.R., Carvalho P.H.V., Felix T.L. Post-weaning management of modern dairy cattle genetics for beef production: a review. *J Anim Sci*. 2023;101: skac345. <https://doi.org/10.1093/jas/skac345>
24. Overton M.W., Dhuyvetter K.C. Symposium review: an abundance of replacement heifers: What is the economic impact of raising more than are needed? *J. Dairy Sci*. 2020;103(4):3828-3837. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17143>
25. Cabrera V.E. Economics of using beef semen on dairy herds. *J. Dairy Sci*. 2020;3(2):147-151. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0155>
26. McCabe E.D., King M.E., Fike K.E., Odde K.G. Effects of Holstein and beef-dairy cross breed description on the sale price of feeder and weaned calf lots sold through video auctions. *Appl. Anim. Sci*. 2022;38(1):70-78. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02215>
27. O'Driscoll J., Purfield D.C., McHugh N. The impact of sire beef genetic merit and concentrate supplementation strategy on phenotypic performance of dairy-beef steers. *Transl Anim Sci*. 2025;9: txaf029. <https://doi.org/10.1093/tas/txaf029>
28. Губайдуллин Н.М., Ишбердина Р.Р., Вагапов И.Ф., Фахреев Д.М. Химический состав мясной продукции при скормливании молодняку консервированного сенажа // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2022. № 2. С. 58–63. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2022-62-2-58-63>

References

1. Dzhulamanov K.M., Baktygalieva A.T., Kolpakov V.I., Dzhulamanov Ye.B. The quality of meat of steers and castrates of different genotypes. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2021;(4(65)):54-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.65.4.008>
2. Kayumov F.G., Tretyakova R.F. Adaptive qualities and interior differences of crossbred and purebred Kalmyk heifers in the highlands of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(2(94)):284-288. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-284-288>
3. Miroshnikov S.A., Kharlamov A.V., Markova I.V. Quality indicators of beef from young bulls of various dairy and beef breeds. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2017;2(2):14-22. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-2-14-22>
4. Pristupa V.N., Krotova O.E., Dudchenko S.N., Klimenko D.V. et al. Indicators of meat productivity of dairy and meat breeds. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(4(102)):255-260. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-255-260>
5. Zhaimysheva C.S., Kosilov V.I., Voroshilova L.N., Gerasimova T.G. Influence of steer genotypes on the features of muscle development in the postnatal period of ontogenesis. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2021;624:012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012109>
6. Nikonova E.A., Kosilov V.I., Anhalt E.M. The influence of the genotype of gobies on the quality of meat products. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2021;624:012131. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012131>
7. Tyulebaev S.D., Kadysheva M.D., Kosilov V.I., Gabidulin V.M. The state of polymorphism of genes affecting the meat quality in micropopulations of meat simmentals. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2021;624:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012045>

8. Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A. The black-and-white breed young growth muscle tissue nutritional value and its crossbreed with Holsteins. *Bulletin of KSAU*. 2022;(4(181)):104-110. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-4-104-110>
9. Yuldyshbaev Yu.A., Kosilov V.I., Kubatbekov T.S., Sedykh T.A. et al. Nutritional value of meat products of young stock of black-and-white breed and its crosses with Holstein. *Agrarian science*. 2021;(7-8):37-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-37-40>
10. Kubatbekov T.S., Kosilov V.I., Kaledin A.P., Salaev B.K. et al. The genotypic peculiarities of the consumption and the use of nutrients and energy from the fodder by the purebred and crossbred heifers. *Journal of Biochemical Technology*. 2020;11(4):36-41. (In Russ.)
11. Zhaimysheva S.S., Kosilov V.I., Miroshnikov S.A., Duskaev G.K. et al. Genetic and physiological aspects of bulls of dual-purpose and beef breeds and their crossbreeds. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020;421:022028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/2/022028>
12. Trukhachev V.I., Moroz V.A., Chernobai E.N., Ismailov I.S. Meat and internal features of sheep of different genotypes. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(1):1626-1630. (In Russ.)
13. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A. et al. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6(S5):33-41.
14. Tyulebaev S.D., Kadysheva M.D., Kosilov V.I., Gabidulin V.M. The state of polymorphism of genes affecting the meat quality in micropopulations of meat simmentals. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;624:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012045>
15. Gorlov I.F., Slozhenkina M., Nikolaev D., Mosolova N. et al. Influence of breed on beef productivity of bulls and biological value of beef obtained from them. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):56-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-56>
16. Emelianenko A.V., Kayumov F.G., Tretyakova R.F. Chemical composition and biological value of meat obtained from beef-type steers. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(3(83)):318-320. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-83-3-318-321>
17. Henchion M., Moloney A.P., Hyland J. Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*. 2021;15(1):100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>
18. Hocquette J.-F., Ellies-Oury M.-P., Lherm M. et al. Current situation and future prospects for beef production in Europe – A review. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 2018;31(7):1017-1035. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0196>
19. Berry D. Invited review: beef-on-dairy – the generation of crossbred beef × dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2021;104(4):3789-3819. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19519>
20. Van Selm B., de Boer I.J.M., Ledgard S.F., van Middelaar C.E. Reducing greenhouse gas emissions of New Zealand beef through better integration of dairy and beef production. *Agric. Sys.* 2021;186:102936. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102936>
21. Berry D., Wall E., Pryce J.E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal*. 2014;8(1):105-121. <https://doi.org/10.1017/s1751731114000743>
22. Läpple D., Sirr G. Dairy intensification and quota abolition: a comparative study of production in Ireland and the Netherlands. *EuroChoices*. 2019;18:26-32. <https://doi.org/10.1111/1746-692x.12213>

23. Jaborek J.R., Carvalho P.H.V., Felix T.L. Post-weaning management of modern dairy cattle genetics for beef production: a review. *J Anim Sci.* 2023;101: skac345. <https://doi.org/10.1093/jas/skac345>
24. Overton M.W., Dhuyvetter K.C. Symposium review: an abundance of replacement heifers: What is the economic impact of raising more than are needed? *J. Dairy Sci.* 2020;103(4):3828-3837. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17143>
25. Cabrera V.E. Economics of using beef semen on dairy herds. *J. Dairy Sci.* 2020;3(2):147-151. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0155>
26. McCabe E.D., King M.E., Fike K.E., Odde K.G. Effects of Holstein and beef-dairy cross breed description on the sale price of feeder and weaned calf lots sold through video auctions. *Appl. Anim. Sci.* 2022;38(1):70-78. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02215>
27. O'Driscoll J., Purfield D.C., McHugh N. The impact of sire beef genetic merit and concentrate supplementation strategy on phenotypic performance of dairy-beef steers. *Transl Anim Sci.* 2025;9: txaf029. <https://doi.org/10.1093/tas/txaf029>
28. Gubaidullin N., Ishberdina R., Vagapov I., Fakhreev D. Chemical composition of beef products from young cattle consuming inoculated haylage. *Vestnik Bashkir State Agrarian University.* 2022;(2(62)):58-63 (In Russ.) <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2022-62-2-58-63>

Сведения об авторах

Юсупжан Артыкович Юлдашбаев, д-р с.-х. наук, академик РАН, профессор, профессор кафедры частной зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: yuldashbaev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7150-1131>

Владимир Иванович Косилов, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: kosilov_vi@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Елена Анатольевна Никонова, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: nikonovaea84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0906-8362>

Ильмира Агзамовна Рахимжанова, д-р с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой электротехнологии и электрооборудования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: kaf36@orensau.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7771-7291>

Николай Павлович Герасимов, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела разведения мясного скота, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»; 460000, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. 9 января, 29; e-mail: nick.gerasimov@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2295-5150>

Information about the authors

Yusupzhan A. Yuldashbaev, DSc (Ag), Full Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Professor at the Department of Private Zootechny, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: yuldashbaev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7150-1131>

Vladimir I. Kosilov, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Orenburg State Agrarian University; 18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russian Federation; e-mail: kosilov_vi@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Elena A. Nikonova, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Orenburg State Agrarian University; 18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russian Federation; e-mail: nikonovaea84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0906-8362>

Ilmira A. Rakhimzhanova, DSc (Ag), Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment, Orenburg State Agrarian University; 18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russian Federation; e-mail: kaf36@orensau.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7771-7291>

Nikolay P. Gerasimov, DSc (Bio), Leading Research Associate at the Department of Beef Cattle Breeding, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS; 299ogo Yanvary St., Orenburg, 460000, Russian Federation; e-mail: nick.gerasimov@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2295-5150>

ЭКОНОМИКА

**Разработка информационной системы
для эффективного функционирования фонда перераспределения земель**

**Наталья Вениаминовна Арзамасцева[✉], Ришат Анатольевич Мигунов,
Анастасия Алексеевна Бородина, Марина Владимировна Муравьева,
Эльдар Магомедович Келеметов, Наталья Федоровна Зарук**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: narzamasceva@rgau-msha.ru

Аннотация

Создание и дальнейшее развитие фонда перераспределения земель Российской Федерации направлены на рост производства сельскохозяйственной продукции за счет крестьянских (фермерских) хозяйств и личных подсобных хозяйств. Фонд перераспределения земель как пополняется, так и сокращается. В период с 01.01.2019 г. по 01.01.2024 г. площадь земель сельскохозяйственного назначения фонда сократилась на 9,1%. Основными причинами выбытия земель из фонда являются передача в собственность или в аренду земельных участков физическим и юридическим лицам, перевод сельскохозяйственных земель в земли иных категорий. Причиной увеличения площади сельскохозяйственных земель в фонде является приобретение государством земельных участков в собственность. В условиях импортозамещения и необходимости решения вопроса с неиспользуемыми сельскохозяйственными землями целесообразно увеличить площадь посевов. Фонд перераспределения земель способствует решению данного вопроса. Между тем в работе выявлены проблемы функционирования фонда в юридическом и экономическом направлениях. Можно повысить эффективность функционирования фонда через создание информационной системы, обеспечивая пользователей полной актуальной информацией о сельскохозяйственных землях фонда и об уровне жизни на данной территории. Разработанная авторами информационная система (на примере Пензенской области) удобна, проста в использовании и позволяет визуально рассмотреть показатели по области, по ним выявить рейтинг районов для быстрого и системного выбора местности, где заинтересованные лица готовы приобрести сельскохозяйственные земли фонда, жить и производить сельскохозяйственную продукцию. Для фонда наличие данной информационной системы способствовало бы более эффективному распределению земель: увеличение скорости и количества сделок, снижение влияния эффекта «ухудшающего отбора», использование дифференцированного подхода к ценообразованию аренды и купли-продажи земельных участков.

Ключевые слова

Фонд перераспределения земель, сельскохозяйственные угодья, информационная система, плодородие земель, социальная инфраструктура, состояние окружающей среды

Для цитирования

Арзамасцева Н.В., Мигунов Р.А., Бородина А.А., Муравьева М.В. и др. Разработка информационной системы для эффективного функционирования фонда перераспределения земель // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 148–165.

Information system development for the effective functioning of the Land Redistribution Fund

**Natalia V. Arzamastseva[✉], Rishat A. Migunov, Anastasia A. Borodina,
Marina V. Muravyova, Eldar M. Kelemetov, Natalia F. Zaruk**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]**Corresponding author:** narzamasceva@rgau-msha.ru

Abstract

The creation and further development of the Land Redistribution Fund of the Russian Federation are aimed at increasing agricultural production through peasant (farm) enterprises and private subsidiary plots. The Land Redistribution Fund both expands and contracts over time. From January 1, 2019, to January 1, 2024, the area of agricultural land within the Fund experienced a reduction of 9.1%. The main reasons for land withdrawal from the Fund include the transfer of land plots in ownership or lease to individuals and legal entities, as well as the reclassification of agricultural lands into alternative land use categories. Reasons for the increase in agricultural land area within the Fund include the acquisition of land plots by the state. In the context of import substitution and the need to address the issue of unused agricultural lands, it is advisable to increase the arable land. The Land Redistribution Fund contributes to solving this problem. However, the study revealed operational challenges within the Fund from both legal and economic perspectives. The operational efficacy of the Fund can be augmented through the implementation of an information system that provides users with comprehensive and current data on the agricultural lands within the Fund and the living standards in the respective territories. The information system developed by the authors (using the Penza Region as an example) is convenient, easy to use, and allows for visual analysis of regional indicators. Based on these indicators, it identifies a ranking of the districts to facilitate quick and systematic selection of areas where interested parties are willing to purchase agricultural lands from the Fund, live, and produce agricultural products. For the Fund, having such an information system would promote more efficient land allocation: increasing the speed and number of transactions, reducing the impact of the “adverse selection” effect, and enabling a differentiated approach to pricing for leasing and buying/selling land plots.

Keywords

Land Redistribution Fund, agricultural land, information system, soil fertility, social infrastructure, environmental condition

For citation

Arzamastseva N.V., Migunov R.A., Borodina A.A., Muravyova M.V. et al. Information system development for the effective functioning of the Land Redistribution Fund. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 148–165.

Введение Introduction

Фонд перераспределения земель создается для сельскохозяйственного производства, осуществления крестьянскими (фермерскими) хозяйствами их деятельности и ее расширения, создания и расширения личных подсобных хозяйств, ведения животноводства, а гражданами – садоводства или огородничества для собственных

нужд, сенокошения, выпаса скота в составе земель сельскохозяйственного назначения (ст. 80 Земельного кодекса РФ, 2001 г.) [1]. Первоначальной целью появления фонда в 1991 г. было создание крестьянских (фермерских) хозяйств. Если фермер не имел права на земельную долю, так как не являлся членом сельхозпредприятия, необходимо было найти дополнительные площади сельскохозяйственных угодий. Источниками фонда стало изъятие у колхозов и совхозов 10% пашни (Постановление Президиума Верховного Совета РСФСР, Совмина РСФСР № 891–1, 1991 г.), перевод земель лесного фонда (не покрытых лесом) и земель запаса в земли сельскохозяйственного назначения (Земельный кодекс РСФСР, 1991 г.) [2, 3]. В ходе дальнейшей земельной реформы в 1990-е гг. (приватизация сельскохозяйственных земель, формирование коллективно-долевой собственности на землю) появлялись земельные «излишки», которые пополняли фонд перераспределения земель. В Земельном кодексе Российской Федерации, принятом в 2001 г., сохранено функционирование фонда перераспределения земель [4]. В этот фонд включаются все земли, находившиеся на день введения в действие Земельного кодекса Российской Федерации (2001 г.) в существующих фондах перераспределения земель. В отличие от предыдущих источников фонда постоянно функционирующими являются:

1. Пополнение фонда за счет передачи в государственную собственность земельных участков, которые по разным причинам остались без собственника (ст. 80 Земельного кодекса РФ, 2001 г.). К нему относятся:

– добровольный отказ собственника от права собственности на земельный участок;

– отсутствие наследника: земельный участок не стал объектом наследования (не были установлены законные наследники), завещатель добровольно лишил права наследования земельного участка наследников, наследники добровольно отказались от наследства;

– принудительное изъятие участка земли в случаях, определенных законом.

2. Пополнение фонда за счет приобретения государством земельных участков в результате правовых сделок (ст. 80 Земельного кодекса РФ, 2001 г.).

Федеральный закон № 435-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования оборота земель сельскохозяйственного назначения», принятый в 2010 г., способствовал совершенствованию процессов принудительного изъятия сельскохозяйственных земель, эффективному функционированию фонда перераспределения земель [5].

В условиях антироссийских санкций, импортозамещения необходимо увеличить производство в сельском хозяйстве [6–8]. Один из вариантов решений роста ВВП в аграрном секторе – увеличение посевных площадей. Деятельность фонда перераспределения земель содействует решению задачи роста аграрного производства. Однако имеющиеся проблемы функционирования фонда в юридическом и экономическом направлениях обязывают рассмотреть пути совершенствования его деятельности.

При выборе земельного участка сельское население и фермеры учитывают состояние плодородия земельного участка, экономическую, социальную, экологическую ситуации на данной территории. Для сельского населения и фермеров важен не только уровень производства сельскохозяйственной продукции, но и уровень качества жизни в данной местности. Соответственно система показателей разработанной интерактивной карты включает в себя эти данные. Разработка новой визуальной информационной системы позволит фонду более успешно функционировать, рационально и эффективно использовать земли сельскохозяйственного назначения.

Цель исследований: разработка визуальной информационной системы для заинтересованных лиц в приобретении сельскохозяйственных земель фонда.

Методика исследований

Research method

Методологической основой исследований выступает комплексный подход, в соответствии с которым рассмотрены теоретические основы становления и развития фонда перераспределения земель в историческом аспекте и современной экономике. Для анализа функционирования и совершенствования работы фонда применялись статистические методы обработки информации. Для создания информационной системы использовалось веб-приложение, содержащее в себе числовые метки по трем группам показателей по каждому из районов Пензенской области. Интерактивная карта разработана на базе библиотеки Leaflet.js. На данной странице JavaScript динамически загружает контуры районов и статистические данные. При наведении курсора мыши на определенный район пользователь получает актуальную информацию во всплывающих подсказках. Информационная система предоставляет возможность получить рейтинг показателей в табличном виде. Пользователь имеет опцию отсортировать таблицу по любому показателю и переход между предустановленными «режимами ранжирования». Эти режимы автоматически фильтруют все столбцы и применяют сортировку по главному показателю группы. Информационной базой исследования послужили материалы Федерального государственного бюджетного учреждения «Аналитический центр Минсельхоза России», Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области (Пензастат).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В период с 01.01.2019 г. по 01.01.2024 г. в фонде наблюдается динамика сокращения площади земли, находящейся в государственной собственности, на 9%; земли, находящейся в собственности граждан, на 34% (рис. 1).

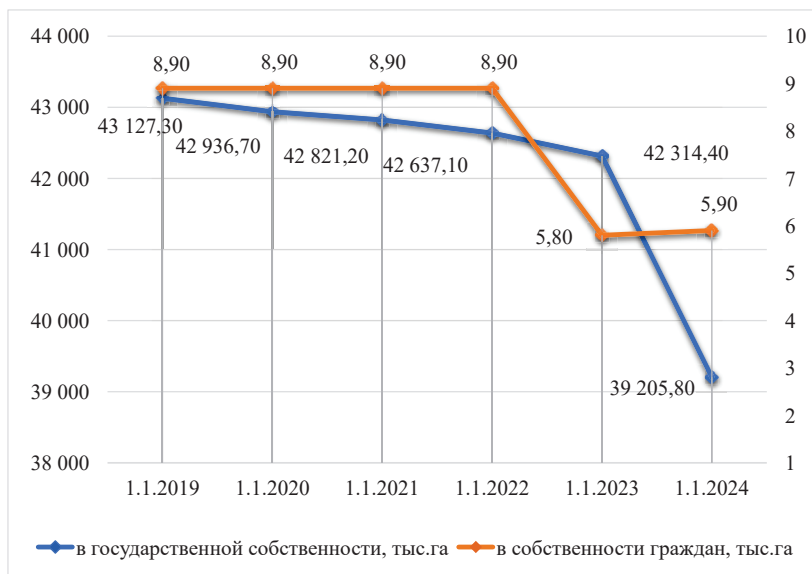


Рис. 1. Динамика площади сельскохозяйственных земель фонда по формам собственности с 01.01.2019 г. по 01.01.2024 г., тыс. га (составлено авторами на основе данных [9])

Figure 1. Dynamics of the area of agricultural land of the fund by ownership type from January 1, 2019, to January 1, 2024, thousand hectares [compiled by the authors based on data from 9]

Фонд перераспределения земель как пополняется, так и сокращается [10]. Причинами увеличения площади сельскохозяйственных земель в фонде являются приобретение государством земельных участков в собственность, разграничение государственной и муниципальной земли сельскохозяйственного назначения. Причинами сокращения площади сельскохозяйственных земель в фонде являются: передача в собственность или в аренду земельных участков физическим и юридическим лицам (резкому сокращению площади земель в собственности граждан фонда способствовала Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации); трансформация в земли иных категорий.

Российская Федерация, субъекты Российской Федерации, органы местного самоуправления являются собственниками земель сельскохозяйственного назначения фонда (рис. 2). Значительное увеличение площади сельскохозяйственных земель фонда, находящейся в федеральной собственности, за 2023 г. (на 48%) произошло за счет постановки на государственный кадастровый учет земель новых регионов. Динамика увеличения площади земель в муниципальной собственности фонда на 46% за период с 01.01.202 г.1 по 01.01.2024 г. связана с признанием не востребованных земельных долей по решению суда муниципальной собственностью (Федеральный закон № 101-ФЗ, 2002 г.). С 01.01.2025 г. не востребованные земельные доли автоматически переходят в собственность муниципалитета во внесудебном порядке.

Общая тенденция сокращения площади земель сельскохозяйственного назначения фонда характерна и для площади сельскохозяйственных угодий фонда, в том числе по всем видам сельскохозяйственных угодий. За период с 01.01.2021 г. по 01.01.2024 г. площадь сельскохозяйственных угодий фонда сократилась на 7% (табл.).

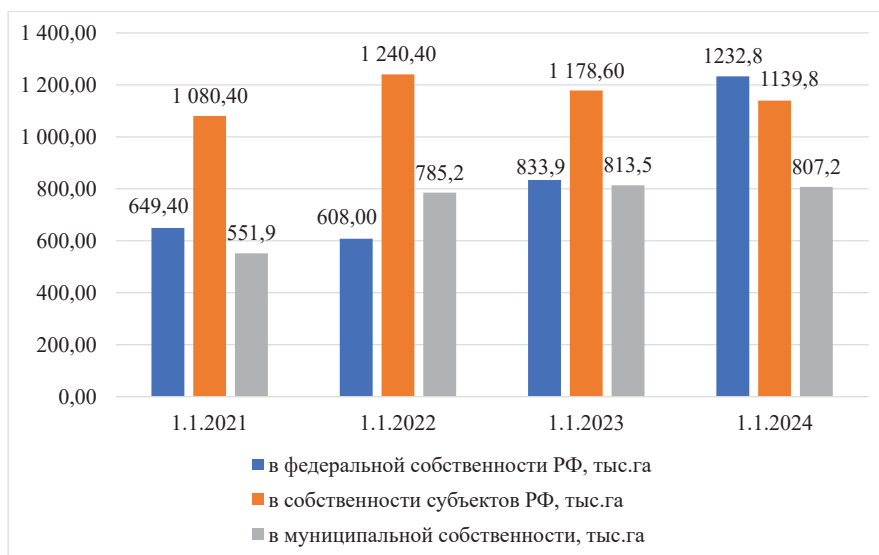


Рис. 2. Динамика площади сельскохозяйственных земель фонда, находящейся в государственной собственности с 01.01.2021 г. по 01.01.2024 г., тыс. га (составлено авторами на основе данных [9])

Figure 2. Dynamics of the area of agricultural land of the fund, which is in state ownership from 01.01.2021 to 01.01.2024, thousand hectares [compiled by the authors based on data from 9]

**Динамика площади сельскохозяйственных угодий
фонда перераспределения земель с 01.01.2021 г. по 01.01.2024 г., тыс. га
(составлено авторами на основе данных [9])**

Table

**Dynamics of the area of agricultural land of the Land Redistribution Fund
from January 1, 2021, to January 1, 2024, thousand hectares
[compiled by the authors based on data from 9]**

Виды земель	Годы			
	01.01.2021 г.	01.01.2022 г.	01.01.2023 г.	01.01.2024 г.
Сельскохозяйственные угодья:	11 195,90	11 240,00	11 011,00	10379,7
пашня	3 276,10	3 251,90	3 159,90	3025,6
сенокосы	1 948,80	1 927,90	1 900,50	1796,6
многолетние насаждения	20,80	20,30	20,40	20,1
пастбища	5 197,10	5 306,10	5 222,90	4878,4
залежь	753,10	733,80	707,30	659,0

Информация о землях сельскохозяйственного назначения фонда является общедоступной. Администрация муниципальных районов предоставляет следующие данные заинтересованным физическим и юридическим лицам о земельных участках фонда: местоположение; кадастровый номер; вид разрешенного использования земельного участка (ВРИ ЗУ); вид сельскохозяйственного угодья; площадь, га; вид права; обременение; дата включения земельного участка в фонд; дата исключения земельного участка из фонда; другие сведения о земельных участках фонда (по усмотрению органов местного самоуправления) [11].

Заинтересованные физические и юридические лица в приобретении сельскохозяйственных земель фонда из реестра получают минимальную информацию о земельном участке, что снижает эффективность функционирования фонда перераспределения земель.

Отсутствие в законодательстве регламентации целого ряда положений, связанных с функционированием фонда, на практике вызывает немало сложных вопросов [12].

1. Целью фонда является недопущение перетекания сельскохозяйственных земель в иные категории земель. На практике законодательство не препятствует их трансформации в иные категории земель – например, в земли лесного фонда. Необрабатываемая земля постепенно зарастает кустарниками, деревьями, и экономически нецелесообразно проводить мероприятия для ее сохранения в категории сельскохозяйственных земель. За 2020 г. в земли лесного фонда было переведено 76,7 тыс. га сельскохозяйственных земель фонда перераспределения земель. Масштаб систематических нарушений способствовал принятию закона (Федеральный закон № 52-ФЗ, 2025 г.), усложняющего процедуру перевода земель сельскохозяйственного назначения в земли иных категорий. Вводится обязательный механизм согласования с Минсельхозом России.

2. В фонде сельскохозяйственные земли имеют различный правовой режим с точки зрения собственности на них, что на практике вызывает юридические проблемы. Например, фермер заинтересован приобрести в собственность земельный участок из фонда. В фонде данный земельный участок состоит из двух участков, находящихся в собственности субъекта РФ и муниципальной собственности. Юридически уже сложно оформить данный земельный участок в собственность фермера. Для решения проблемы эксперты предлагают сельскохозяйственные земли фонда отнести к муниципальной собственности независимо от того, в какой форме собственности земельный участок поступил в фонд [12].

3. В фонд поступают сельскохозяйственные земли, принудительно изъятые у физических и юридических лиц, неиспользуемые земельные доли. Они характеризуются как некачественные участки земли («лимоны»). Каждый последующий покупатель занимает место продавца, чтобы избавиться от некачественного участка земли («лимона»). Таким образом, не решается задача фонда перераспределения земель – переход земельных ресурсов к более эффективному собственнику [13].

4. Деятельность фонда направлена на создание и расширение личных подсобных и фермерских хозяйств. При выборе земельного участка сельское население и фермеры учитывают состояние плодородия земельного участка, экономическую, социальную, экологическую ситуации на данной территории.

Для более эффективного функционирования фонда перераспределения земель предлагаем пользователям интерактивную информационную систему. На примере Пензенской области авторами была разработана информационная система, позволяющая выбрать район, где заинтересованные лица готовы приобрести сельскохозяйственные земли фонда. В информационной системе имеются вкладки: «Все показатели», «Показатели состояния сельскохозяйственных земель», «Экологический показатель», «Социальные показатели». По данным показателям есть возможность ранжировать районы области (рис. 3).

На рисунке 4 представлена карта Пензенской области по районам. По каждому району имеются агрохимические, экономические, экологические, социальные показатели. По имеющимся данным заинтересованные лица могут выбрать район для местонахождения их земельного участка.

При выборе района учитывается состояние плодородия земли, характеризующееся такими показателями, как средняя кадастровая стоимость земли сельскохозяйственного назначения; средняя урожайность

зерновых; средняя урожайность картофеля; средняя урожайность овощей открытого и закрытого грунта; средняя урожайность сахарной свеклы; средняя урожайность подсолнечника; содержание органического вещества (гумуса); кислотность почвы (Р_h солевой вытяжки); содержание подвижного фосфора; содержание обменного калия; градация по агрохимическим свойствам почв (рис. 5).

При ранжировании районов Пензенской области по состоянию плодородия земли мы учитывали содержание органического вещества, кислотность почвы, содержание подвижного фосфора, содержание обменного калия и принимали во внимание нормативы данных показателей для каждой культуры (зерновых и пропашных) с учетом типа почв области (рис. 6) [15].

ВЫБЕРИТЕ ГРУППУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ:

☒ Все показатели

☐ Показатели состояния с/х земель

☐ Экологический показатель

☐ Социальные показатели

ПОКАЗАТЬ РЕЙТИНГ РАЙОНОВ

Рис. 3. Показатели информационной системы (составлено авторами)

Figure 3. Information system indicators [compiled by the authors]

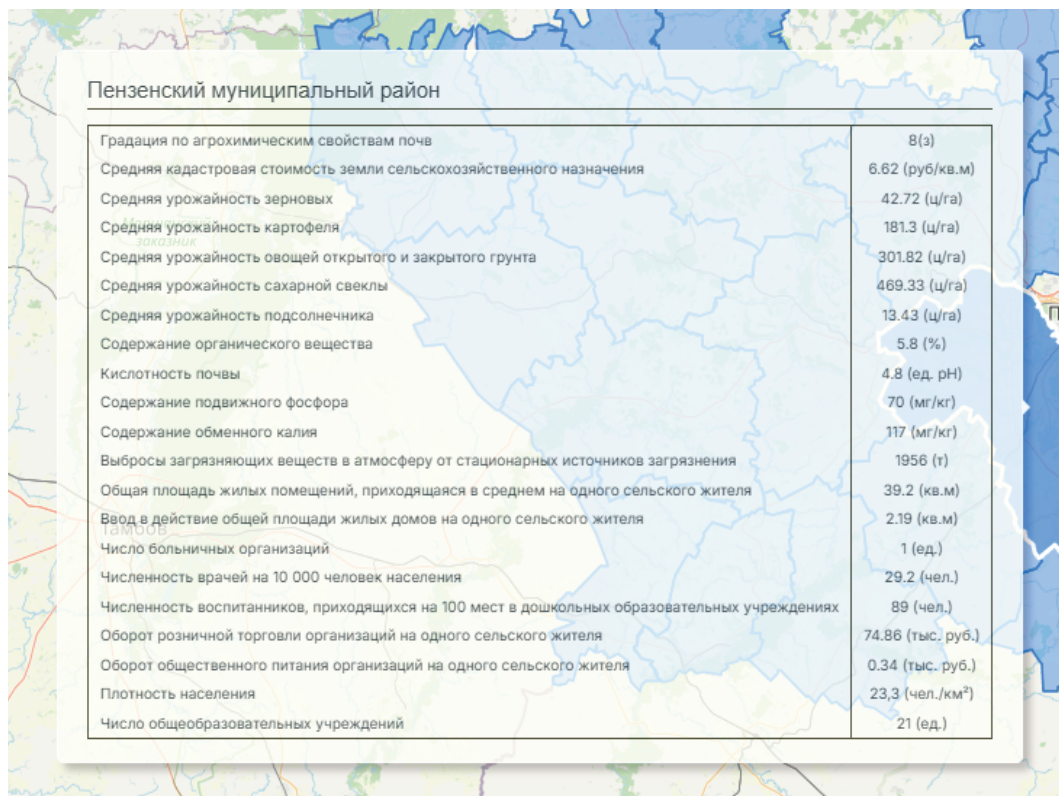


Рис. 4. Система показателей по районам Пензенской области на 01.01.2023 г.
(составлено авторами на основе данных [14])

Figure 4. System of indicators for the districts of the Penza Region as of January 1, 2023
[compiled by the authors based on data from 14]

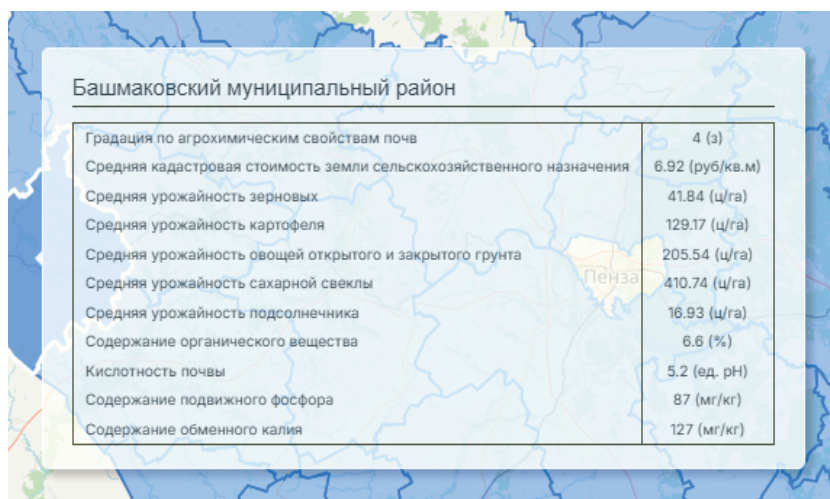


Рис. 5. Показатели состояния плодородия сельскохозяйственных земель по районам Пензенской области на 01.01.2023 г. (составлено авторами на основе данных [14])

Figure 5. Indicators of the fertility status of agricultural lands for the districts of the Penza Region as of January 1, 2023 [compiled by the authors based on data from 14]

РЕЙТИНГ РАЙОНОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ

Выберите режим отображения и ранжирования

- ☐ Ранжирование районов по любому показателю
- ☒ Ранжирование районов по агрохимическим свойствам почв
- ☐ Ранжирование районов по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения
- ☐ Ранжирование районов по уровню развития социальной инфраструктуры (по плотности населения)

Район	Градация по агрохимическим свойствам почв ▲	Средняя кадастровая стоимость земли сельскохозяйственного назначения руб/наим	Средняя урожайность зерновых ц/га	Средняя урожайность картофеля ц/га	Средняя урожайность овощей открытого и закрытого грунта ц/га	Средняя урожайность сахарной свеклы ц/га	Средняя урожайность подсолнечника ц/га	Содержание органического вещества %	Кислотность почвы pH ед. pH	Содержание подвижного фосфора мг/кг	Содержание обменного калия мг/кг
Лунинский	1 (n)	6.31	37.31	117.23	206.34	Нет данных	10.42	6.3	5.2	108	152
Тамалинский	1 (a)	8.56	40.15	120.15	207.58	505.74	17.63	7	5.5	99	127
Бессоновский	2 (n)	6.2	31.79	125.42	213.31	Нет данных	13.6	5.2	5	112	147
Иссинский	2 (a)	6.93	37.76	116.32	198.57	Нет данных	12.18	7	5.1	83	136
Бековский	3 (a)	6.86	45.48	116.19	208.42	544.79	8.77	6.9	5.2	93	136
Башмаковский	4 (a)	6.92	41.84	129.17	205.54	410.74	16.93	6.6	5.2	87	127
Каменский	5 (a)	6.66	43.52	124.06	214.66	417.35	10.69	6.8	5	85	144
Спасский	6 (a)	6.63	46.68	124.08	207.81	Нет данных	13.49	6.9	5	66	115

Рис. 6. Ранжирование районов Пензенской области по агрохимическим свойствам почв на 01.01.2023 г. (составлено авторами на основе данных [14])

Figure 6. Ranging of the districts of the Penza Region by soil agrochemical properties as of January 1, 2023 [compiled by the authors based on data from 14]

Важный показатель при выборе местности проживания и выращивания сельскохозяйственной продукции – экологическая ситуация (рис. 7).

Для ранжирования районов по экологической ситуации был доступен только один параметр – выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения (рис. 8).

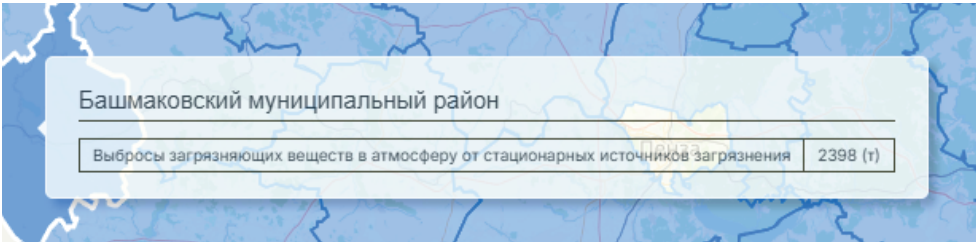


Рис. 7. Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения по районам Пензенской области на 01.01.2023 г. (составлено авторами на основе данных [14])

Figure 7. Volume of pollutant emissions into the atmosphere from stationary pollutant sources for the districts of the Penza Region as of January 1, 2023, tons [compiled by the authors based on data from 14]

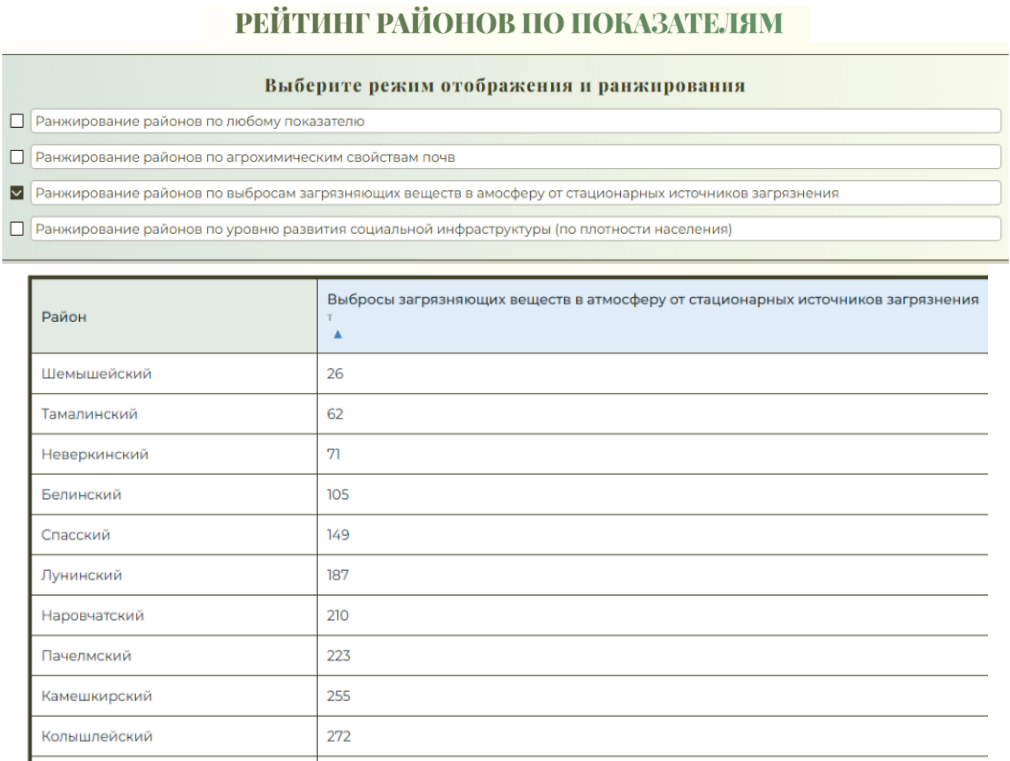


Рис. 8. Ранжирование районов Пензенской области по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения на 01.01.2023 г. (составлено авторами на основе данных [14])

Figure 8. Ranging of the districts of the Penza Region by the volume of pollutant emissions into the atmosphere from stationary pollution sources as of January 1, 2023 [compiled by the authors based on data from 14]

Для семей фермеров и граждан личных подсобных хозяйств при выборе района, где будет расположен земельный участок (участки) из фонда перераспределения земель, решающее значение имеет уровень развития социальной инфраструктуры, в том числе: количество больничных организаций; численность врачей на 10 000 чел. населения; численность воспитанников, приходящихся на 100 мест в дошкольных образовательных учреждениях; число общеобразовательных учреждений; общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного сельского жителя; ввод в действие общей площади жилых домов на одного сельского жителя; оборот розничной торговли организаций на одного сельского жителя; оборот общественного питания организаций на одного сельского жителя; плотность населения (рис. 9).

Для градации районов Пензенской области по уровню развития социальной инфраструктуры использовали показатель плотности населения района (рис. 10). Эксперты считают, что плотность населения может служить критерием социально-экономической оценки территории [16].

Информационная система позволяет ранжировать районы области по всем имеющимся показателям (вкладка «Ранжирование районов по любому показателю»). Данная система способствует заинтересованным лицам сделать правильный выбор района области, где они готовы жить и производить сельскохозяйственную продукцию. Информационная система позволяет визуально рассмотреть показатели области, по ним – рейтинг районов для быстрого и системного выбора. Интерактивная карта удобна, проста в использовании, отраженные в ней данные не требуют обработки и расчетов. При отсутствии указанной информационной системы заинтересованные лица могут получить данные о состоянии плодородия земель из одной информационной системы, социальные показатели – из другой, данные по экологической ситуации территории – из третьей. В этом случае нет возможности сравнить показатели в совокупности и по районам. Соответственно разработанная информационная система позволяет повысить скорость получения полной актуальной информации.

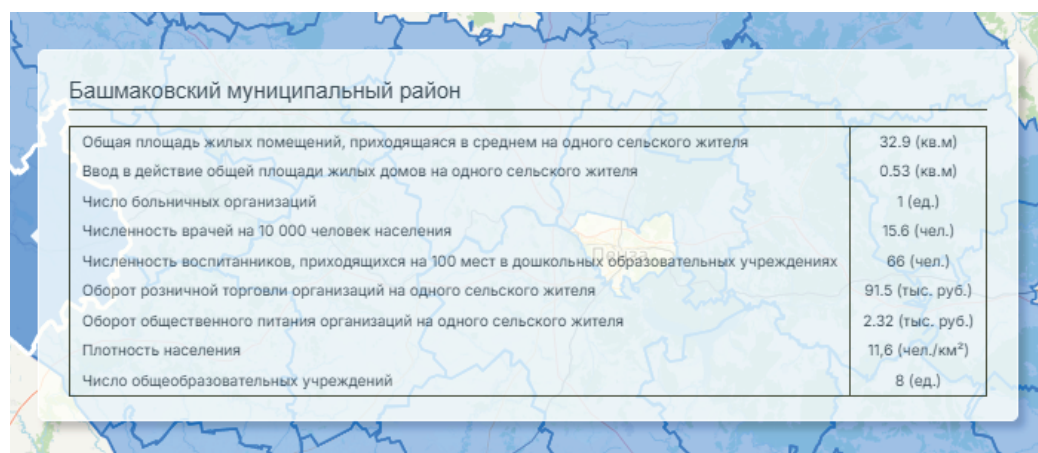


Рис. 9. Показатели развития социальной инфраструктуры по районам Пензенской области на 01.01.2023 г. (составлено авторами на основе данных [14])

Figure 9. Indicators of social infrastructure development for the districts of the Penza Region as of January 1, 2023 [compiled by the authors based on data from 14]

РЕЙТИНГ РАЙОНОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ

Выберите режим отображения и ранжирования

☐ Ранжирование районов по любому показателю

☐ Ранжирование районов по агрохимическим свойствам почв

☐ Ранжирование районов по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения

☒ Ранжирование районов по уровню развития социальной инфраструктуры (по плотности населения)

Район	Плотность населения чел./км²	Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного сельского жителя кв.м	Ввод в действие общей площади жилых домов на одного сельского жителя кв.м	Число больничных организаций ед.	Численность врачей на 10 000 человек населения чел.	Численность воспитанников, приходящихся на 100 мест в дошкольных образовательных учреждениях чел.	Оборот розничной торговли организаций на одного сельского жителя тыс. руб.	Оборот общественного питания организаций на одного сельского жителя тыс. руб.	Число общеобразовательных учреждений ед.
Бессоновский	36,6	35,2	1,41	1	17,4	98	66,85	0,46	16
Сердобский	25,4	32,4	0,32	1	24,3	68	212,65	0,38	14
Пензенский	23,3	39,2	2,19	1	29,2	89	74,86	0,34	21
Городищенский	22	30,5	0,4	1	15,4	84	76,36	2,45	2
Каменский	21,7	37	0,27	1	16,5	69	193,42	14,25	15
Нижнеломовский	19,9	40,1	0,38	1	17,8	81	205,23	3,06	10
Кузнецкий	15,9	27,8	0,52	0	4,1	74	80,63	0,73	19

Рис. 10. Ранжирование районов Пензенской области по уровню развития социальной инфраструктуры на 01.01.2023 г. (составлено авторами на основе данных [14])

Figure 10. Ranging of the districts of the Penza Region by the level of social infrastructure development as of January 1, 2023 [compiled by the authors based on data from 14]

Для фонда наличие данной информационной системы способствовало бы более эффективному распределению земель: увеличение скорости и количества сделок, снижение влияния эффекта «ухудшающего отбора», использование дифференцированного подхода к ценообразованию аренды и купли-продажи земельных участков.

В дальнейшей работе в целях совершенствования информационной системы следует выявить «долю» значимости каждого показателя (состояние плодородия земель, развитие социальной сферы, состояние окружающей среды) в выборе района для приобретения сельскохозяйственных земель фонда. Также необходимо увеличить количество данных по каждому показателю. При наличии информации о землях фонда целесообразно рассматривать только состояние их плодородия.

Выводы

Conclusions

Фонд перераспределения земель является одним из инструментов создания и расширения крестьянских (фермерских) хозяйств, личных подсобных хозяйств в Российской Федерации [17–19].

Динамика сокращения площади земли фонда с 01.01.2019 г. по 01.01.2024 г. показывает превышение площади выбытия земель над поступлением. Общая тенденция сокращения площади земель сельскохозяйственного назначения фонда характерна и для площади сельскохозяйственных угодий фонда, в том числе по всем видам сельскохозяйственных угодий. Основными причинами выбытия земель из фонда являются передача в собственность или в аренду земельных участков физическим и юридическим лицам, перевод сельскохозяйственных земель в земли иных категорий. Увеличение на 48% площади сельскохозяйственных земель фонда, находящейся в федеральной собственности, за 2023 г. произошло за счет постановки на государственный кадастровый учет земель новых регионов. Динамика увеличения площади земель в муниципальной собственности фонда на 46% за период с 01.01.2021 г. по 01.01.2024 г. связана с признанием невоस्तребованных земельных долей по решению суда муниципальной собственностью.

В работе выявлены следующие проблемы функционирования фонда в юридическом и экономическом направлениях:

1. Целью фонда является предотвращение трансформации земель сельскохозяйственного назначения в иные категории земель. В реальной экономике происходит процесс перевода главным образом муниципальных сельскохозяйственных земель фонда [20–22].

2. Разный правовой режим сельскохозяйственных земель фонда вызывает юридические сложности при передаче в собственность или в аренду земельных участков.

3. Минимальный объем информации о земельных участках в реестре фонда затрудняет его работу. Наличие полной актуальной информации о землях фонда у заинтересованных лиц способствует более эффективному функционированию фонда.

Авторами была разработана визуальная информационная система (на примере Пензенской области), учитывающая состояние плодородия земли, экологическую, социальную ситуации данной местности (района), что позволяет заинтересованным лицам сделать правильный выбор района области, где они готовы жить и производить сельхозпродукцию.

Список источников

1. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ, ред. от 20 марта 2025 г. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 10.05.2025)
2. О крестьянском (фермерском) хозяйстве: Закон РСФСР от 22 ноября 1990 г. № 348-1, ред. от 21 марта 2002 г. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_11050/ (дата обращения: 10.05.2025)
3. Мигунов Р.А. Институциональные преобразования сельского хозяйства РСФСР и их влияние на экономический рост отрасли (1950-1990 гг.) // *Проблемы современной экономики*. 2016. № 2 (58). С. 227–231. EDN: WOOFBX
4. О введении в действие Земельного кодекса Российской Федерации: Федеральный закон от 25 октября 2001 г. № 137-ФЗ, ред. от 20 марта 2025 г. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33764/ (дата обращения: 10.05.2025)
5. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования оборота земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 29 декабря 2010 г. № 435-ФЗ URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108807/ (дата обращения: 20.05.2025)
6. Зарук Н.Ф., Кагирова М.В., Харитонов А.Е. и др. Эффективное размещение производства органической продукции растениеводства по регионам России // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. № 3. С. 90–112. EDN: NUVNSG
7. Мигунов Р.А. Институциональные механизмы стабилизации агропродовольственной конъюнктуры на рынке зерна // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2017. № 10. С. 64–69. EDN: ZSUXZN
8. Мигунов Р.А., Сюткина А.А. Исследование вызовов агропромышленного комплекса – основа стратегического целеполагания развития аграрной сферы // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4. С. 135–145. EDN: THMQNO
9. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2023 году. Москва: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2024. 414 с.
10. Арзамасцева Н.В. Фонд перераспределения земель в РФ: проблемы и перспективы // *III Международная научно-практическая конференция «Инновационные направления интеграции науки, образования и производства»*. Керчь, 11-15 мая 2022 г. Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2022. С. 219–223. EDN: LYHFFO
11. Приложение к приказу Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 10 ноября 2020 г. № П/0412. URL: <https://base.garant.ru/75062082/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 10.05.2025)
12. Колиева А.Э., Глушко О.А. Основные задачи и правовые проблемы фонда перераспределения земель // *Право и государство: теория и практика*. 2020. № 4 (184). С. 88–89. EDN: BWZYND
13. Арзамасцева Н.В., Прохорова Н.В., Хамидова Л.Л. Проблема достоверности и полноты информации о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021. № 3. С. 119–128. EDN: HXZSEG
14. Пензенская область. Основные показатели развития с 2010 г. по 2022 г.: Статистический сборник. Пенза: Пензастат, 2023. 704 с.

15. Сычев В.Г. *Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования*. Москва: Российская академия наук, 2019. 349 с. EDN: ETPUNH
16. Швецов А.В., Бондарев Б.Е., Носов С.И. Оценка и зонирование пригородных территорий в целях их устойчивого развития // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2023. № 12-1. С. 175–186. EDN: NNSJLG
17. Гайсин Р.С. Особенности формирования спроса и предложения на агропродовольственном рынке развитых стран по долгосрочным циклам его развития // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2019. № 5. С. 26–35. EDN: DCOGQA
18. Капелюшников Р. Право собственности (очерк современной теории) // *Отчественные записки*. 2004. № 6. С. 65–81.
19. Babanskaya A.S., Kolomeeva E.S., Migunov R.A. et al. Directions and prospects of sustainable development of the national accounting and analytical system of agricultural formations. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022;949:012002. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012002>
20. Арзамасцева Н.В., Мигунов Р.А., Быстренина И.Е., Кагирова М.В. Создание необходимых условий для вовлечения в оборот неиспользуемых сельхозугодий // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 5. С. 126–139. EDN: PDVNJW
21. Светлов Н.М. Перспективы использования сельхозугодий, выведенных из оборота // *АПК: экономика, управление*. 2017. № 10. С. 45–53. EDN: ZMYTVD
22. Шагайда Н.И., Светлов Н.М., Узун В.Я., Логинова Д.А. и др. *Потенциал роста сельскохозяйственного производства России за счет вовлечения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных угодий*: Монография. Москва: РАНХ и ГС при Президенте Российской Федерации, 2018. 70 с. EDN: VMKUQA

References

1. Land Code of the Russian Federation, No. 136-FZ of October 25, 2001 (as amended on March 20, 2025). (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (accessed: May 10, 2025).
2. Law of the RSFSR No. 348-1 of November 22, 1990 (as amended on March 21, 2002) “On Peasant (Farm) Economy”. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_11050/ (accessed: May 10, 2025).
3. Migunov R.A. Institutional transformations of RSFSR agriculture and their impact upon the economic growth of the industry (1950-1990s) (Russia, Moscow). *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2016;(2(58)):227-231. (In Russ.)
4. Federal Law, No. 137-FZ of October 25, 2001 (as amended on March 20, 2025) “On the Entry into Force of the Land Code of the Russian Federation”. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33764/ (accessed: May 10, 2025).
5. Federal Law, No. 435-FZ of December 29, 2010 “On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Terms of Improving the Circulation of Agricultural Land”. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108807/ (accessed: May 20, 2025).
6. Zaruk N.F., Kagirowa M.V., Kharitonova A.E., Romantseva Yu.N. et al. Efficient location of organic crop production by regions of Russia.

- Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;(3):90-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-90-112>
7. Migunov R.A. The institutional mechanisms for stabilizing the agro-food conjuncture in the grain market. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2017;(10):64-69. (In Russ.)
8. 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*. 2022;(4):135-145. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-135-145>
9. Report on the status and use of agricultural land in the Russian Federation in 2023. Moscow, Russia: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2024:414. (In Russ.)
10. Arzamastseva N.V. Land Redistribution Fund in the Russian Federation: problems and prospects. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoye konferentsiya 'Innovatsionnye napravleniya integratsii nauki, obrazovaniya i proizvodstva'*. May 11-15, 2022. Kerch, Russia: Kerch State Maritime Technological University, 2022:219-223. (In Russ.)
11. Appendix to the Order of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography No. P/0412 of November 10, 2020. (In Russ.) URL: <https://base.garant.ru/75062082/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (accessed: May 10, 2025).
12. Koliyeva A.E., Glushko O.A. Main tasks and legal problems of the Land Redistribution Fund. *Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika*. 2020;(4(184)):88-89. (In Russ.)
13. Arzamastseva N.V., Prokhorova N.V., Khamidova L.L. Problem of the accuracy and completeness of information on the status and use of agricultural lands. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;(3):119-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-3-119-128>
14. *Penza Region. Key development indicators from 2010 to 2022: a statistical digest*. Penza, Russia: Penzastat, 2023:704. (In Russ.)
15. Sychev V.G. *The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation*. Moscow, Russia: Russian Academy of Sciences, 2019:349. (In Russ.)
16. Shvetsov A.V., Bondarev B.E., Nosov S.I. Assessment and zoning of suburban areas for their sustainable development. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2023;(12-1):175-186. (In Russ.)
17. Gaysin R.S. Features of formation of demand and supply in the agri-food market of developed countries in the long-term cycles of its development. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2019;(5):26-35. (In Russ.)
18. Kapelyushnikov R. Ownership rights (an essay on modern theory). *Otechestvennye zapiski: The Journal of Russian Thought*. 2004;(6):65-81. (In Russ.)
19. Babanskaya A.S., Kolomeeva E.S., Migunov R.A., Telegina Zh.A. et al. Directions and prospects of sustainable development of the national accounting and analytical system of agricultural formations. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2022;949:012002. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012002>
20. Arzamastseva N.V., Migunov R.A., Bystrenina I.E., Kagirowa M.V. Creating the necessary conditions for involving abandoned agricultural land in the turnover. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;(5):126-139. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-5-126-139>

21. Svetlov N. The prospects of using of unused agricultural farmlands. *AIC: Economics, Management*. 2017;(10):45-53. (In Russ.)

22. Shagaida N.I., Svetlov N.M., Uzun V.Y., Loginova D.A. et al. *The potential for growth in Russia's agricultural production due to the involvement of unused agricultural lands: a monograph*. Moscow, Russia: Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2018:70. (In Russ.)

Информация об авторах

Наталья Вениаминовна Арзамасцева, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры политической экономии и мировой экономики, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: <https://orcid.org/0000-0002-3775-0505>

Ришат Анатольевич Мигунов, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры политической экономии и мировой экономики, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: migunov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4893-4665>

Анастасия Алексеевна Бородина, специалист управления научной и инновационной деятельности, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: b.a.a.211@yandex.ru

Марина Владимировна Муравьева, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры политической экономии и мировой экономики, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: muravmar2007@yandex.ru

Эльдар Магомедович Келеметов, канд. экон. наук, доцент кафедры политической экономии и мировой экономики, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kelemetov@rgau-msha.ru

Наталья Федоровна Зарук, д-р экон. наук, профессор кафедры бухгалтерского учета, финансов и налогообложения, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: zaruk@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7884-0806>

Information about the authors

Natalia V. Arzamastseva, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: narzamasceva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3775-0505>

Rishat A. Migunov, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: migunov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4893-4665>

Anastasia A. Borodina, Specialist at the Department of Management of Scientific and Innovative Activities, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: b.a.a.211@yandex.ru

Marina V. Muravyova, DSc (Econ), Associate Professor, Professor at the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: muravmar2007@yandex.ru

Eldar M. Kelemetov, CSc (Econ), Associate Professor at the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: kelemetov@rgau-msha.ru

Natalia F. Zaruk, DSc (Econ), Professor of the Department of Accounting, Finance and Taxation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: zaruk@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7884-0806>

ЭКОНОМИКА

**Современные проблемы и пути обеспечения
глобальной продовольственной безопасности**

Луиза Аликовна Велибекова✉

Институт социально-экономических исследований ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** l.a._velibecova@mail.ru

Аннотация

Актуальность исследований обусловлена необходимостью повышения продовольственной безопасности в мире, поиска путей модернизации агропродовольственной системы в условиях усиления современных вызовов и угроз разной направленности. Цель исследований – выявление факторов нестабильности продовольственного обеспечения и определение направлений повышения глобальной продовольственной безопасности на текущем этапе развития. Отмечено, что как в развитых, так и в развивающихся странах сосуществуют две крупные продовольственные проблемы: ожирение и голод. Приведена международная статистика числа людей, заболевших ожирением. Исследуется понятие «голод» как крайне негативное проявление продовольственной проблемы, ликвидация которой представляется одной из сложных задач и требует не только инновационных подходов к развитию сельского хозяйства, но и дополнительных инвестиций в развитие инфраструктуры, повышение уровня образования, здравоохранения в сельской местности, оказание гуманитарной помощи развивающимся странам. Проанализированы факторы, в наибольшей степени влияющие на нестабильность глобальной продовольственной безопасности: рост численности населения, изменение климата, обеспечение физической и экономической доступности продовольствия. Проведенные исследования затрагивают наиболее значимые кризисные явления, связанные с пандемией, ростом цен на продукты питания, влиянием санкций, военных конфликтов, приведших к преобразованию глобальной продовольственной системы. На основании данных международной статистической базы приведены рейтинг стран мира по глобальному индексу продовольственной безопасности, динамика мировых продовольственных цен, подтверждающие снижение уровня продовольственной безопасности в мире. Результаты исследований показали, что основными направлениями обеспечения доступности продовольствия и продовольственной безопасности для каждой страны являются: повышение уровня самообеспеченности основными продуктами питания; поддержка социально уязвимых слоев населения; открытая международная торговля; регулирование экспортных и импортных ограничений; реализация совместных инвестиционных проектов.

Ключевые слова

Голод и ожирение, изменение климата, конфликт, обеспечение, проблема, продовольственная безопасность, продуктовая инфляция, развивающиеся и развитые страны, санкции

Для цитирования

Велибекова Л.А. Современные проблемы и пути обеспечения продовольственной безопасности в мире // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 166–190.

Contemporary challenges and strategies for ensuring global food security

Luiza A. Velibekova✉

Institute of Socioeconomic Studies of the Dagestan Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

✉Corresponding author: l.a._velibekova@mail.ru

Abstract

The relevance of this study is conditioned by the urgent need to enhance global food security and to explore pathways for modernizing the agro-food system in the context of escalating contemporary challenges and multifaceted threats. The aim of this article is to identify the factors contributing to instability in food supply and to determine strategies for strengthening global food security at the current stage of development. It is noted that both developed and developing countries face two major coexisting food-related problems: obesity and hunger. International statistics on the prevalence of obesity are presented. The concept of “hunger” is examined as an acute negative manifestation of food insecurity, the eradication of which remains a complex challenge requiring not only innovative approaches to agricultural development but also additional investments in infrastructure, improvements in education and healthcare in rural areas, and the provision of humanitarian aid to developing countries. The study analyzes key factors significantly impacting the instability of global food security, including population growth, climate change, and the physical and economic accessibility of food. It also addresses critical crisis phenomena associated with the pandemic, rising food prices, the effects of sanctions, and military conflicts, all of which have contributed to the transformation of the global food system. Using data from international statistical databases, the article presents a ranking of countries according to the Global Food Security Index and examines trends in global food prices, confirming a decline in the overall level of food security worldwide. The findings suggest that the primary directions for ensuring food availability and security at the national level include increasing self-sufficiency in staple food products, supporting socially vulnerable groups, maintaining open international trade, regulating export and import restrictions, and implementing joint investment projects.

Keywords

Hunger and obesity, climate change, conflict, supply, problem, food security, food inflation, developing and developed countries, sanctions

For citation

Velibekova L.A. Contemporary challenges and strategies for ensuring global food security. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 166–190.

Введение

Introduction

Для любого государства продовольственная безопасность – это экзистенциальный фундамент жизнедеятельности, важное условие, характеризующее его национальную безопасность, подлинную независимость и свободное существование на мировой арене. Французский философ Жан-Жак Руссо в свое время отметил: «...обладай вы хоть всеми богатствами мира, если вам нечем питаться – вы зависите от других». Это изречение сохраняет актуальность и сегодня, схожие позиции

наблюдаются и в современных исследованиях: «...если под угрозу поставлено продовольственное снабжение, то именно это будет преобладать на политической повестке дня, затмевая все и препятствуя прогрессу в других областях» [1, 2]. Таким образом, в любые времена важно достичь высокого уровня продовольственной безопасности. Именно это обеспечивает способность к саморазвитию, прогрессу в социально-экономическом, политическом развитии государства и общества как на данный момент, так и на отдаленную перспективу.

XXI век демонстрирует высокий прорыв во многих научных направлениях, особенно в селекции, генетике, биотехнологиях, цифровизации. Эти достижения, несомненно, позволяют наращивать объемы производства разнообразного продовольствия, но продовольственная проблема никуда не исчезла, и по различным причинам в разных масштабах она с новой остротой сопровождает человечество на любом этапе развития цивилизации. Всемирный банк включил продовольственную безопасность и безопасность в области питания в число 8 глобальных проблем, требующих всеобъемлющего подхода, и мобилизовал ресурсы для решения этой проблемы и защиты источников доходов людей во всем мире на сумму 45 млрд долл. США. Стоит отметить, что если у любой проблемы можно найти как отрицательную, так и положительную сторону, то продовольственная проблема – это всегда угроза страшного зла: голода как препятствия на пути дальнейшего развития человечества в целом.

Понятие «продовольственная безопасность» в мире трактуется как состояние экономики государства, обеспечивающее при любых внешних и внутренних угрозах, обусловленных негативными социально-экономическими, политическими и экологическими изменениями, наличие, физический и экономический доступ к безопасному сбалансированному продовольствию, необходимому для активного образа жизни. В рамках статьи мы будем придерживаться данного определения.

Продовольственная проблема представляет собой неспособность человечества гарантировать бесперебойное, устойчивое функционирование системы производства, распределения, обмена и потребления качественных продуктов питания в мире, регионе, стране. Она выражается в разных аспектах: дефиците продуктов питания, несоответствии объема и качества продуктов питания установленным медицинским нормативам, зависимостью от импортных поставок, продовольственной инфляцией, наличием людей, страдающих от ожирения, недоедания и голода, ростом бедности, углублением неравенства и миграцией населения, экологическим дисбалансом и т.д.

Прошло 10 лет с того времени, когда в 2015 г. мировое сообщество взяло на себя обязательство обеспечения полной продовольственной безопасности к 2030 г., но, как показывают отчеты Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (далее – ФАО) достижение поставленной цели по-прежнему остается невозможным. Более того, отмечается нарастание проблемы. В 2024 г. с проблемой голода столкнулись от 713 до 757 млн чел., а 2,4 млрд чел. не имели постоянного доступа к продовольствию [3].

Круг базовых вызовов, связанных с глобальной продовольственной безопасностью, включает в себя сложный комплекс физиологических, психологических, социальных и экологических факторов: рост численности населения, интенсивное нарастание природных катаклизмов, экстремальные погодные явления и стихийные бедствия, пандемия, финансовые и экономико-социальные потрясения, инновационные технологические решения, высокий уровень международной конкуренции на мировом продовольственном рынке, геополитические конфликты, в том числе военные.

Все перечисленные предикторы тесно переплетены и, усиливаясь, образуют цепочку негативных последствий, которая комплексно воздействует на продовольственную систему. К сожалению, признаков того, что негативное воздействие этих факторов в будущем уменьшится, отсутствует, поэтому важно их предвидеть и своевременно ослабить силу.

Мировая практика показывает, что ни одно государство не может игнорировать или ослабить внимание к анализируемой проблеме, так как в перспективе она трансформируется в сложнейший кризис. Решение вопросов продовольственной безопасности на современном этапе невозможно без усиления роли государства, которая сводится к реализации эффективной экономической, международной, агропродовольственной политики.

Оценкой состояния продовольственной безопасности занимаются ученые всего мира. Разные аспекты проблемы продовольственной безопасности и пути ее обеспечения раскрыты в исследованиях ведущих отечественных ученых: Л.В. Агарковой, А.И. Алтухова, Н.Д. Аварского, М.Л. Вартановой, А.В. Колесникова, А.А. Колесняк, А.В. Петрикова, В.И. Трухачева, В.Я. Узун, И.Г. Ушачева, Н.И. Шагайда и др. [4–10].

Понятие «продовольственная безопасность» по-разному определяется в работах отечественных ученых-экономистов. В большей части они строят свое видение, отмечая важность обеспечения продовольственной независимости государства, делая упор на практические способы ее достижения, подчеркивая сложный межотраслевой, и не столько аграрный, сколько глобальный национальный характер, связанный с устойчивым социальным, экологическим и макроэкономическим развитием государства. В целом можно выделить следующие составляющие продовольственной проблемы: производственная, социально-экономическая, экологическая, политическая.

Цель исследований: выявление причин нестабильности продовольственного обеспечения и определение направлений укрепления продовольственной безопасности в мире.

Методика исследований

Research method

Поставленная цель предопределила решение следующих задач:

- раскрыть современное состояние основных проблем продовольственной безопасности, связанных с ожирением, недоеданием и голодом;
- проанализировать факторы, влияющие на состояние продовольственной безопасности в мире на современном этапе;
- определить пути решения глобальной продовольственной проблемы в сложившихся экономических условиях и геополитической напряженности.

В исследованиях использованы открытые источники, публикуемые ФАО по вопросам продовольственной безопасности в мире (справочный материал по странам мира, ежегодная публикация «Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства», публикации о деятельности ФАО в чрезвычайных ситуациях, ежегодный доклад «Состояние продовольственной безопасности и питания в мире»), а также открытые статистические данные statbase.ru, информация сети Интернет и др.

В качестве методов исследований использован статистический анализ, применены методы синтеза, обобщений проблемных вопросов состояния продовольственной проблемы.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В экономическом словаре приводится следующее определение продовольствия: «...продукты питания и товары, из которых приготавливаются продукты питания» [11]. Продукты питания – первейшая потребность человека. Они необходимы организму для построения растущих и восстановления разрушающихся тканей тела в процессе жизнедеятельности, для поддержания этого процесса и восполнения расходуемой энергии. В книге Я. Раздобурдина приводится образное определение: «...Пища – это жизнь всех живых существ, и весь мир пребывает в поисках пищи. Мы все нуждаемся в пище, зависим от нее, благодаря ей выживаем» [12].

Можно выделить следующие аспекты продовольственной проблемы: с одной стороны, она обеспечивает витальность (жизнеспособность) и благополучие человечеству, а с другой – продовольствие, к тому же достаточно качественное, необходимо произвести, что актуализирует неразрывно связанные экологические, социо-экономико-политические процессы и выводит продовольственную проблему за рамки узкого понимания вопросов питания, придает многогранность, сложность путям решения.

Обобщение научных источников по анализируемой теме способствовало выявлению того, что в мире сосуществуют две продовольственные проблемы, связанные с неполноценным питанием: ожирение и голод, причем они распространены как в богатых, так и в бедных странах. Но если голодом страдают в определенных регионах, то ожирение распространено по всему миру. Как отмечает экс-глава ВОЗ М. Чан, «...в мире что-то не так, потому что около миллиарда землян недоедают и голодают, а многие сотни миллионов объедаются и страдают от избыточного веса» [13].

В настоящее время современное человечество питается в целом лучше, чем за весь известный людям исторический период. С ростом благосостояния люди начали потреблять больше калорий. На смену традиционному рациону питания человека, включающему в себя зерно и бобовые, пришла более калорийная (и более дорогая) белковая пища. По рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, для обеспечения ежедневного душевого потребления необходимо около 2500 калорий. Между тем на глобальном уровне с 2000 г. по настоящее время средняя энергетическая ценность дневного рациона увеличилась на 9% и достигла 2960 калорий, а для стран Европы и Северной Америки этот показатель достигает 3540 калорий.

В научной литературе уже давно исследуется парадокс проблемы ожирения и продовольственной безопасности, ситуации, когда в условиях продовольственной небезопасности человек получает доступ к некачественной еде с высоким содержанием сахара и жира. Основная причина заключается в том, что более здоровая пища стоит дороже, чем менее здоровая, а значительное количество домохозяйств больше не может позволить себе покупать органическую пищу. Это создает среду отсутствия продовольственной безопасности, связанную не с доступом к продовольствию как таковому, а конкретно с доступом к недорогой, более здоровой пище. Например, свежие фрукты и овощи – важная составляющая здорового питания, но в настоящее время только около 55% людей во всем мире живут в странах с их адекватной доступностью, достаточной для достижения минимальной цели Всемирной организации здравоохранения, – 400 г на 1 чел. в день. При этом имманентный для современного человека недостаток физической активности, постоянные стрессы, неправильный рацион, неполноценное питание с большим предпочтением высококалорийных продуктов приводят к такой социально-значимой проблеме, как переизбыток и ожирение.

В настоящее время общее число людей с ожирением во всем мире превысило 1 млрд и в этой связи ВОЗ объявила ожирение глобальной эпидемией. Например, в США ожирением страдают более 36% взрослого населения, в Саудовской Аравии – 35%, Египте – 35%, Турции – 32%, Канаде – 28%, Германии – 24,3%, России – 24,1% [14]. По оценкам ФАО, если ситуация будет развиваться так же, как сейчас, то к 2035 г. более 4 млрд чел. в мире будут иметь избыточный вес, у 2 млрд из них будет ожирение. Это подчеркивает необходимость радикального сдвига в продовольственной системе, направленного на стимулирование людей выбирать более питательные и полезные диеты, которые акцентируют внимание на качестве продуктов и здоровье. Поэтому крайне важно обеспечить население продуктами здорового питания, которые гарантируют здоровье нации и безопасность государства.

Вместе с тем более опасной является такая ситуация, как голод, при которой люди в каждый момент времени не имеют физического и экономического доступа к достаточной в количественном отношении пище, необходимой для здоровой жизни. Как показывает обзор публикуемых информационных отчетов ФАО, в мире достаточно продовольствия: ежегодно его производится свыше 10 млрд т, и этого хватило бы для питания всего населения планеты. Тем не менее голодающих и недоедающих все больше. В 2024 г. более 1/3 населения мира не смогли позволить себе здоровое питание [15]. Приведем такие цифры: около 1,7 млрд чел., живущих в странах с уровнем дохода ниже среднего, и 503 млн чел. в странах с низким уровнем дохода (в совокупности это 77% населения мира) не могут позволить себе здоровое питание, остаются без доступа к полезным продуктам.

Голод представляет собой самую большую угрозу здоровью человечества, социальной стабильности государства, ведет к сегрегации, усиливая экономические, социальные, политические конфликты. Дефицит или полное отсутствие продовольствия воспринимаются не только как мощнейший психологический эффект, но и как катастрофа, проявляющаяся в росте социальной напряженности, который может привести к массовым протестам и погрузить Землю в область хаоса. В фольклоре всегда упоминали такой персонаж, как «Царь-Голод», способный победить любую власть (да и народы), поэтому страх вполне объясним, и это подчеркивает хрупкость продовольственной системы, которая не выдерживает любых катаклизмов ни со стороны природы, ни со стороны некомпетентной политики: «...мир, свободный от страха голода, так и не удалось достичь, и предстоит постоянный поиск решения вечного вопроса» [16].

Исследование данного аспекта привлекает значительное внимание ученых, практиков. В научной литературе под голодом подразумевается следующее: «...как кратковременное дискомфортное или болезненное физическое ощущение, так и хроническое, которое появляется в результате регулярного недоедания» [17].

Наиболее полное определение понятия «голод», отражающее все аспекты проблемы продовольственной безопасности, дается организацией «Врачи без границ»: «...ситуация, в которой доступ к пище и ее наличие крайне ограничены. Население полностью обездолено и зависит от внешней помощи, часто вынуждено прибегать к таким стратегиям выживания, как миграция. Голод характеризуется исключительной ситуацией с высоким уровнем общего острого недоедания, сопровождающейся повышенным уровнем смертности» [17].

Мировая история развития человечества не раз сталкивалась с массовым голодом, который был следствием взаимно усугубляющих проблем (природные катаклизмы, финансовые, экономические кризисы и международные конфликты). Практически каждый населенный континент в мире на протяжении истории переживал периоды голода [18].

Статистические данные показывают, что в XX в. от голода погибли примерно 70 млн чел. В XXI в. несмотря на то, что ситуация в глобальном агропромышленном комплексе сильно изменилась, базовая проблема голода по-прежнему не решена. Конфликты и массовое перемещение населения продолжают приводить к глобальному голоду: по современным оценкам, каждую минуту в мире от голода и недоедания умирают 11 чел. Исполнительный директор Всемирной продовольственной программы ООН Д. Бизли в своем докладе на Генеральной ассамблее ООН отметил, что человечество ждет голод «библейских масштабов», если не будут приняты меры по обеспечению продовольственной безопасности. Всемирная продовольственная программа ООН назвала 2022 г. годом «беспрецедентного голода» [19]. Таким образом, развитие цивилизации, инновационная деятельность не обеспечивают достижения мировой продовольственной безопасности. Эта проблема по-прежнему особо чувствительна и связана с последствиями современных проблем, которые в свою очередь перерастают в глубокий международный кризис.

В докладе ФАО за 2023 г. указаны 18 «горячих точек» голода (в том числе 22 страны и территории), 14 стран с наибольшим отсутствием продовольственной безопасности находятся в Африке [20]. Наибольшую тревогу вызывает ситуация в таких странах, как Йемен, Нигерия, Эфиопия, Южный Судан, Афганистан и Сомали, где население живет в катастрофических условиях дефицита продовольствия.

Как показывает обзор научной литературы, относительно лучшее положение в решении проблемы голода в мире пришлось на период с 1990 по 2012 гг. Общая численность голодающих за эти годы сократилась на 132 млн чел., или с 18,6 до 12,5% от населения мира, что связано с увеличением мирового производства и распределения продуктов питания, особенно зерновых культур (пшеница, рис, кукуруза) в результате интенсификации сельского хозяйства. Новый виток роста голодающих людей приходится на 2020 г., когда их число составило около 782 млн чел. В 2024 г. количество голодающих по сравнению с 2020 г. снизилось до 757 млн чел. Однако по прогнозу Всемирного банка, краткосрочная тенденция улучшения ситуации с продовольственной безопасностью может не сохраниться, а в случае реализации пессимистичного варианта прогноза к 2028 г. число людей, испытывающих острую нехватку продовольствия, достигнет около 956 млн чел [21].

Отметим региональные различия в масштабах голода: численность голодающих сократилась в большинстве стран Азии и Латинской Америки, но продолжает расти в странах Западной Азии, Карибского бассейна и Африки. Сталкивается с голодом большая доля населения Африки – 20%, Азии – 8,5%, Латинской Америки и Карибского бассейна – 6,5%, Океании – 7,0%.

Реакция ведущих политиков подтверждает, что сегодня проблема голода является значимой и важной в мире. Так, генеральный секретарь ООН А. Гутерриш подчеркивает: «...более четверти миллиарда человек в настоящее время испытывают острую нехватку продовольствия, а некоторые находятся на грани голодной смерти. Ежегодно от голода умирают 30 млн человек, из которых 6 млн – дети» [22]. Глава московского офиса ФАО О. Кобяков приводит следующие факты: «...последние шесть лет число голодающих в мире увеличивается приблизительно на 10 млн человек в год. Каждый двенадцатый человек в мире, в основном в развивающихся, бедных странах, постоянно испытывал голод» [23].

В глобальном докладе ООН-2023 отмечается, что в вопросе количества продовольствия мир приблизился к «точке невозврата», и, если нынешняя тенденция сохранится, выполнить поставленную амбициозную задачу ЦУР: покончить с голодом

к 2030 г. – не удастся [24]. Как справедливо отметила А.В. Савельева, «...переход через такую точку повлечет гораздо высокую стоимость преодоления проблем, связанных с решением трудностей различных стран и континентов в сфере продовольствия, окажется на порядок более высокой» [25].

Общеизвестно, что в основе проблем ожирения и голода лежит одна главная причина – бедность, не позволяющая людям обеспечить здоровое питание. На наш взгляд, данные проблемы не только не могут быть разрешены, но и будут усугубляться вследствие новых, исключительно сложных для данного этапа развития экономических, политических, экологических вызовов и угроз, для решения которых необходимы политическая воля, сильная глобальная экономика, переход к новой политике по поддержке развивающихся стран.

О сложностях с обеспечением продовольственной безопасности в странах мира свидетельствует показатель – глобальный индекс продовольственной безопасности (GFSI), который позволяет оценить доступность и достаточность качественных продуктов питания для всех слоев населения (табл. 1).

Таблица 1

Рейтинг стран мира по глобальному индексу продовольственной безопасности в 2022 г. [26]

Table 1

Ranking of countries worldwide by the Global Food Security Index in 2022 [26]

Рейтинг	Страна	Общий индекс	Доступность по цене	Доступность	Качество и безопасность	Устойчивость и адаптация
Страны с индексом GFSI от 70 и выше 80 баллов						
1	Финляндия	83,7	91,9	70,5	88,4	82,6
2	Ирландия	81,7	92,6	70,5	86,1	75,1
3	Норвегия	80,5	87,2	60,4	86,8	87,4
4	Франция	80,2	91,3	69,0	87,7	70,3
5	Нидерланды	80,1	92,7	70,7	84,7	69,2
...	...	...				
Страны с индексом GFSI от 60–70 баллов						
40	Панама	70	84,4	63,3	69,7	58,3
41	Малайзия	69,9	87,0	59,5	74,7	53,7
42	Саудовская Аравия	69,9	83,2	67,2	71,6	53,7
43	Россия	69,1	77,8	61,4	78,7	56,6
44	Мексика	69,1	76,0	60,0	78,9	60,2
...	...	...				

Рейтинг	Страна	Общий индекс	Доступность по цене	Доступность	Качество и безопасность	Устойчивость и адаптация
Страны с индексом GFSI от 50–60 баллов						
66	Азербайджан	59,8	78,1	56,2	54,5	44,6
67	Филиппины	59,3	71,5	55,2	65,3	41,8
68	Алжир	58,9	66,8	57,3	54,7	54,2
69	Индия	58,9	59,3	62,3	62,1	51,2
70	Парагвай	58,6	74,3	47,0	76,3	32,8
...	...	...				
Страны с низким индексом GFSI до 50 баллов						
89	Буркина-Фасо	49,6	49,5	49,8	52,8	46,4
90	Танзания	49,1	45,8	58,7	50,2	41,7
91	Бенин	48,1	50,5	53,6	48,1	38,9
92	Малави	48,1	33,6	52,9	52,0	58,2
93	Уганда	47,7	48,3	41,0	45,1	57,0
...	...	...				
	В среднем в мире, балл	62,2				

Из данных таблицы 1 следует, что в пятерку лидеров входят Финляндия, Ирландия, Норвегия, Франция, Нидерланды. Их индексы распределились от 83,7 до 79,5, тогда как шкала имеет максимальный показатель «100». Эта группа стран также демонстрирует высокую экономическую доступность, качество продовольствия и устойчивость. Россия – с коэффициентом 69,1, что можно отнести к среднему значению. В группе стран с низким индексом GFSI до 50 баллов, то есть стран, где проблемы голода стоят наиболее остро, доминируют страны Африки. По прогнозу ФАО, к 2027–2029 гг. в странах с доходами выше среднего ожидается эффективное решение продовольственной проблемы, в странах с доходами ниже среднего уровня – краткосрочные улучшения, а в странах с низким уровнем дохода – рост численности населения, испытывающего нехватку продовольствия. Глобальная задача каждой развитой страны заключается в том, чтобы оказать поддержку развивающимся странам.

Право на достаточное питание – основополагающее право любого жителя планеты, но как в прошлом, так и на современном этапе, выявляются практические трудности в реализации этого права.

Такие факторы, как рост численности населения, экстремальные климатические явления, геополитические конфликты, финансовые потрясения, высокая волатильность цен, растущее экономическое неравенство, все более усложняют решение

проблем продовольственного обеспечения в современном мире. От того, как сегодня будут решены данные задачи, зависит, в каком направлении человечество будет развиваться завтра и что ждет следующее поколение.

На протяжении всей истории развития человеческой цивилизации важнейшей ее задачей был поиск путей достижения продовольственного изобилия. На этой стезе человечество существенно преобразило мир растений, животных, использование водных, земельных ресурсов. Благодаря развитию генетики, селекции вводятся новые сорта растений, породы животных. Мы научились предотвращать и нивелировать превратности климата, таким образом постоянно увеличивая урожайность и продуктивные качества нужных нам культур и животных. Как следствие, происходит постоянное безграничное расширение сферы обитания человека, рост численности населения, но возможности земной природной экосистемы для производства необходимого объема продукции ограничены, что увеличивает риск катастрофических и необратимых последствий для окружающей среды и ведет к обострению проблем доступа к продовольствию, изменению спроса и предложения, усилению урбанизации и миграции населения в поисках лучшей жизни.

Итак, рост населения планеты и обеспечение населения мира продуктами питания – это первый вызов, с которым сталкивается человечество при решении продовольственной проблемы. Отметим, что данный аспект глобальной продовольственной проблемы является одним из самых старых и обсуждается в экономической теории уже более двух веков. Число людей, живущих на Земле, увеличивалось на протяжении всей истории человечества, особенно в последние десятилетия. Все чаще звучит мнение о том, что нас уже критически много. Население Земли сейчас составляет 8,0 млрд чел., хотя есть данные, что наша планета может прокормить 13,4 млрд чел. По статистическим данным и прогнозам ООН, ежегодно численность населения в мире увеличивается на 70–80 млн чел. в год, к 2030 г. население земного шара увеличится до 8,6 млрд чел., а к 2050 г. достигнет 9,8 млрд чел. К регионам с наибольшим увеличением отнесены Азия и Африка. Соответственно вырастет глобальный спрос на диверсифицированное и высококачественное питание. Задача заключается в том, чтобы найти баланс между потребностями человечества и ограниченными возможностями нашей планеты, сохраняя ресурсы для будущих поколений.

Как показывают статистические данные, за последние 10 лет потребление всех видов продовольствия на душу населения возросло главным образом в результате роста численности населения и доходов в странах с низким и средним уровнем дохода (рис. 1).

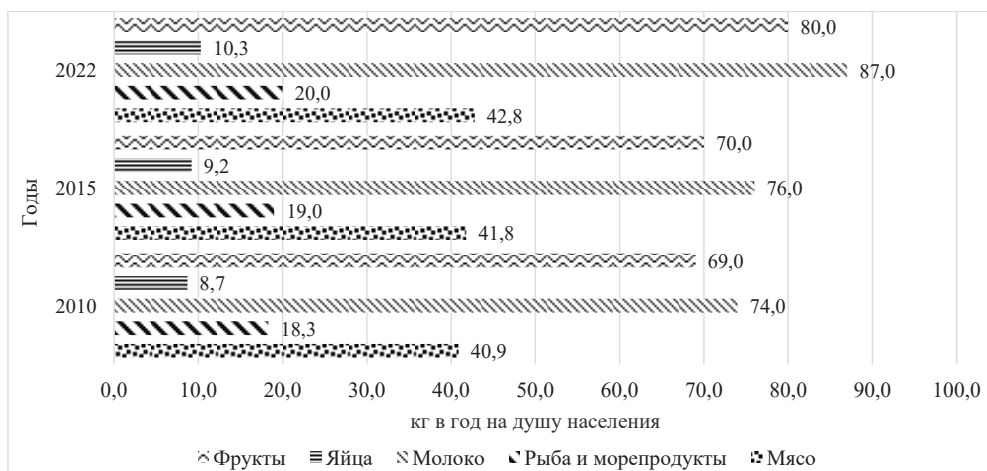


Рис. 1. Динамика потребления продуктов питания в мире, кг на душу населения [27]

Figure 1. Trends in global food consumption, kg per capita [27]

Согласно прогнозам ФАО в течение следующего десятилетия общий объем мирового потребления сельскохозяйственной и рыбной продукции будет расти на 1,2%, а к 2050 г. потребуются на 70–100% больше продовольствия. Так, потребление мяса на душу населения увеличится до 52 кг, водных продуктов – до 22,3 кг, молока – на 19%.

Базовой основой наличия и физического доступа продовольствия продовольственной безопасности является высокий потенциал агропродовольственного сектора. Однако важно учесть, что для каждого последующего этапа развития цивилизации потребуется большее количество продовольствия, которое нужно будет произвести на такой же или на меньшей площади земли (сельскохозяйственные угодья занимают 30% земли), увеличивая пропорционально использование воды, энергии, что в свою очередь усилит конкуренцию за ресурсы. Совершенно очевидно, что решение данного вопроса направлено на всемерную интенсификацию агропромышленного производства, внедрение инновационных агротехнологий, позволяющих увеличить объемы производства продовольствия, в том числе за счет эффективного применения минеральных удобрений. Это позволит повысить доходы сельхозпроизводителей, снизить цены на продукты питания, улучшить физический и экономический доступ.

Невозможно не отметить зависимость продовольственной проблемы от уровня экономического и технологического развития государства. Проблема кроется в том, что производство продовольствия не обеспечивается там, где в нем нуждаются особенно остро. Если развитые страны за счет новых технологий и инноваций могут добиться высоких темпов роста сельскохозяйственного производства, то в развивающихся странах этого добиться невозможно ввиду отсутствия ресурсов, низкого уровня инфраструктуры, отсутствия инвестиций. Именно бедность во многих странах мира является главным препятствием для производства достаточного количества продовольствия и способности справляться с препятствиями.

Решение вопросов интенсификации сельскохозяйственного производства тесно коррелирует с экологическими проблемами. Промышленный рывок, использование ГМО, химикатов, увеличение прямых выбросов ПГ, интенсивные агротехнологии повлекли за собой негативные экологические последствия для окружающей среды, которые являются серьезными рисками для обеспечения продовольственной безопасности, качества продовольствия и обуславливают необходимость поиска возможностей их скорейшего устранения. В настоящее время актуальным является использование методов биологизации интенсификационных процессов, способных нивелировать негативный прессинг на почву, воздух, повысить плодородие почв, улучшить питание растений, повысить продуктивность сельского хозяйства.

Существенное воздействие на продовольственную безопасность оказывает резкое изменение климата. К числу самых опасных проявлений относятся увеличение частоты сильной засухи, дефицит пресной воды и ее загрязнение, потеря сельскохозяйственных угодий по причине эрозии, и вполне вероятно, что экстремальные погодные условия станут более сильными и частыми. Последствия этих явлений затрагивают самые разные сферы жизни, приводят к разбалансировке всех природных систем, изменению режима выпадения осадков, температурным аномалиям, что, безусловно, сказывается на сельском хозяйстве. Ущерб, причиняемый сельскохозяйственному производству, приводит к дефициту продовольствия, что в свою очередь может вызвать повышение цен и потерю доходов, а это в значительной степени снижает доступ людей к продуктам питания, приводит к тому, что население планеты страдает от шоков продовольственной системы. Если не остановить этот сценарий, человечество

ждут рост смертности, миграционные потоки, падение экономики и возникновение конфликтов.

Главная угроза глобального потепления климата – это рост бедности, не позволяющий людям обеспечить здоровое питание. Сельское население развивающихся стран (самые уязвимые страны Глобального Юга) наиболее сильно страдает от изменения климата, поскольку не имеет ресурсов для адаптации, что еще раз подчеркивает реальность проблемы голода. Так, по оценкам ученых, потепление всего на 2°C сократит глобальный ВВП на душу населения на 16%, а при +4°C благосостояние среднестатистического человека рухнет на 40%, что эквивалентно масштабам многолетней экономической депрессии. Генеральный секретарь ООН А. Гутерриш отметил безучастность людей в борьбе с изменением климата: «...человечество открыло врата ада, если отношение людей к этой проблеме не поменяется, то температура воздуха повысится на 2,8 градуса, а это приведет к опасности и нестабильности в мире» [28]. В этой связи необходима продовольственная помощь бедным странам, которая рассматривается как инструмент сдерживания кризисных социальных явлений и драйвера экономического развития.

Мы согласовываем свою позицию с учеными, считающими, что обеспечить устойчивость сельского хозяйства можно путем перехода к ресурсоэнергоэкономным, экологически безопасным агротехнологиям, внедрения инноваций, адаптации к происходящим климатическим изменениям, повышения эффективности аграрного сектора.

Экономическая доступность продовольствия – это важнейший показатель продовольственной безопасности страны. Важнейшими составляющими данного индикатора являются цены на продукты питания, которые должны оставаться на приемлемом для населения уровне. Ключевыми факторами, снижающими экономическую доступность продовольствия, являются дифференциация доходов, экономический кризис, международные политические, военные конфликты. Как следствие, наблюдается резкий, до максимальных значений, рост цен на продукты питания и их высокая волатильность.

Проблемы голода и недоедания взаимосвязаны не потому, что не хватает запасов продовольствия, а потому что оно является весьма дорогим для населения. Следует подчеркнуть тот факт, что экономическая доступность продовольствия оценивается как значительно более тяжело достижимая по сравнению с физической доступностью продовольствия. Высокие цены на продовольствие провоцируют глобальный продовольственный кризис, который ввергает миллионы людей в крайнюю нищету, усугубляет голод и недоедание, сводит на нет годы достижений в области развития. Проблемы экономической доступности серьезно беспокоят население развивающихся стран, где люди вынужденно тратят на еду значительную часть своего дохода, в то время как развитым странам в этом случае абсолютный голод не грозит, трудности усилятся только у социально уязвимой части населения. Также экономические ограничения снижают инвестиционную привлекательность сельского хозяйства, что усугубляет продовольственные проблемы.

С начала XXI в. первый пиковый рост цен на продовольствие пришелся на 2008 г., что явилось последствием развернувшегося глобального финансового кризиса. По данным Всемирного банка, цены на продукты питания выросли больше чем на 80%. Экономисты инвестиционного банка Goldman Sachs впервые упомянули в своем отчете термин «агфляция», который обозначает резкий рост цен на аграрную продукцию, а в ведущем британском журнале «Экономист» отметили: «...эпоха дешевого продовольствия закончилась» [29, 30]. Разразившийся кризис обнажил проблемы глобальной продовольственной системы, оказал огромное влияние

на увеличение масштабов голода и недоедания в мире, население 37 стран мира находилось на грани голода.

Второй максимальный рост цен на продовольствие приходится на 2010–2012 гг., когда их уровень немного превысил уровень 2008 г. Высокие цены на продовольствие привели к беспорядкам и протестам в более чем 40 странах Ближнего Востока и Северной Африки. Цены стабилизировались к середине 2011 г., и утвердился долгосрочный тренд постоянства цен на продукты питания.

Столь резкий рост цен на продукты в эти пиковые периоды объясняется множеством взаимосвязанных факторов, среди которых можно выделить следующие: растущий спрос на продовольствие в результате роста численности населения планеты; снижение инвестиций в сельское хозяйство, развитие инфраструктуры в сельской местности; рост цен на нефть; развитие рынка биотоплива; накопление запасов продовольствия и спекулятивные операции на продовольственном рынке; возросший спрос на ресурсоемкие продукты питания и др. В 2010 г. к числу основных факторов была отнесена засуха, охватившая сразу несколько регионов планеты, которая заметно снизила урожаи зерновых, что привело к сокращению запасов продовольствия. Влияние любого фактора моментально сказывается на стоимости продуктов питания. Например, по оценкам Международного валютного фонда, сокращение объемов сбора урожая на 1% в мире ведет к росту цен на 8,5%, рост цен на удобрения на 1% способен повысить стоимость продуктов на 0,45%, а подорожание нефти на 1% – на 0,2%.

Пандемия COVID-19 выявила полную неспособность глобальной продовольственной системы устойчиво функционировать в условиях чрезвычайной ситуации и еще более усугубила прогнозируемое замедление темпов роста мировой экономики. Именно с этого периода наблюдается развитие целого комплекса кризисных тенденций по всему миру: разрушение традиционных логистических цепочек поставок продовольствия, сельхозтехники, удобрений и энергоносителей; подорожание услуг по транспортировке продуктов питания, рост цен на сельскохозяйственное сырье и продовольствие; ажиотажный спрос; сокращение посевных площадей, снижение урожайности сельскохозяйственных культур; обозначился тренд на регионализацию.

Вводимые странами меры государственной поддержки АПК – ответ на беспрецедентный кризис – подтолкнули рост спроса на продовольственные товары. Все это привело к тому, что в 2020–2021 гг. мир еще раз столкнулся с резким ростом цен на продовольствие и увеличением их волатильности. За этот период, по данным ФАО, ценовой индекс стоимости продовольствия вырос до 141 пункта, или на 53% [31].

В 2022 г. к традиционным причинам обострения продовольственной проблемы добавился новый фактор – максимально высокий уровень геополитической напряженности в современном мире. За счет этого фактора число голодающих жителей Земли увеличилось почти на 1,5 млн чел. (70% голодающих живут на территориях, где происходят военные столкновения). В такой ситуации доступность продовольствия будет определяться решениями, которые лежат в области глобальной политики. Влияние на рост цен продовольствия оказывает политика экономически развитых стран, крупных корпораций, производителей и дистрибьюторов продуктов питания. В кризисных условиях они диктуют свои условия, изменяют продовольственные потоки в свою пользу, образуя высокий уровень запасов, который используется в спекулятивных целях. При этом ухудшается и без того непростое положение развивающихся стран, зависимых от импорта продуктов.

Как видим, подтверждается тезис о том, что продовольствие можно использовать в качестве политического («тихого») оружия для искусственного создания

и нагнетания мирового продовольственного кризиса. Так, в 1970-е гг. продовольствие стало важным товаром для национальной безопасности США, и министр сельского хозяйства Э. Батц отразил политику страны, заявив: «...голодные люди слушают только тех, у кого есть кусок хлеба. Пища – это инструмент. Это оружие в переговорном арсенале США» [32]. Как отмечает А.И. Алтухов, «...с одной стороны, продовольственная безопасность стала геополитическим фактором, а достаточность, полноценность и доступность питания населения – своеобразным мерилom благополучия любой нации, с другой стороны, в мире все чаще продовольствие используется в политическом и экономическом противостоянии стран и их отдельных групп» [33]. От этого больше всего пострадают развивающиеся страны, а голод ударит по самым беднейшим странам.

Новый политический конфликт Украины и России заметным образом сказался на нарастании угрозы продовольственной безопасности в мире. Напряженная геополитическая обстановка и выдвинутые странами Северной Америки, Европы и Азии санкции против России, экспортные ограничения деформировали сложившуюся мировую торговлю продовольствием, способствовали трансформации глобальной логистики, разрыву связей в агропродовольственной сфере, транспортной инфраструктуре, сбоем и несбалансированным поставкам агропродовольственного сырья и продовольствия. Это привело к резкому росту цен на энергоносители, минеральные удобрения. На этом фоне большая часть фермеров начала сокращать объемы производства, что привело, соответственно, к повышению себестоимости производства продовольствия. В итоге как в развивающихся, так и в развитых странах цены на продукты питания стремительно возросли и превысили уровень общей инфляции, что в свою очередь ослабило продовольственную безопасность. Ситуация в разных странах является неоднородной, но беднейшие регионы мира страдают больше других (страны Африки, Северной и Латинской Америки, Южной Азии, Европы и Центральной Азии). В 166 странах инфляция цен на продукты питания превысила общую инфляцию на 76%. Продуктовая инфляция стала одной из основных проблем мировой экономики. Как следует из данных таблицы 2, рост индекса цен на продовольствие наблюдается с 2020 г. Индекс цен на продовольствие в 2022 г. ознаменовался историческим скачком и составил 144,5 балла.

Многие международные эксперты считают, что первопричины такой продовольственной инфляции – это в первую очередь системные ошибки и просчеты в макроэкономической и энергетической политике крупнейших западных стран.

Ситуация с ценами на энергоносители и удобрения стабилизировалась только к первой половине 2023 г., поэтому динамика цен на продукты питания стала более благоприятной, значение индекса продовольственных цен составило 124 пункта, что на 19,7 пункта (13,7%) ниже среднего показателя за 2022 г. В 2024 г. значение общего индекса оставалось на 2,1% ниже показателя 2023 г., в том числе на зерновые (–13,3%), растительные масла (+9,4%), молочную продукцию (+4,7%), мясо (+2,7%), сахар (–13,2%). Это говорит о налаживании на мировых рынках продовольственного снабжения, но проблема обеспечения экономической доступности продовольствия для всех граждан далека от решения. Представляется, что нынешний цикл изменений цен на продовольствие будет скорее всего более продолжительным по причине действующих санкций, продолжающихся военных конфликтов, и это будет сказываться на экономической стабильности.

Таким образом, ряд усугубляющихся проблем – таких, как экономические потрясения, финансовая нестабильность, рост цен на продовольствие, неуверенность потребителей в завтрашнем дне, является наиболее значимым фактором новой глобальной рецессии и продовольственного кризиса, распространения голода в мире.

Динамика индекса продовольственных цен ФАО [34]

Table 2

Trends in the FAO Food Price Index [34]

Год	Индекс цен на продовольствие	Виды продовольствия				
		мясо	молочные	зерновые	растительные масла	сахар
2007	94,6	77,8	122,4	100,9	107,3	62,4
2008	117,7	90,8	132,3	137,6	141,1	79,2
2010	106,9	91,4	111,9	107,5	122,0	131,7
2015	93,1	96,8	87,1	95,9	89,9	83,2
2018	95,8	94,4	107,3	100,8	87,8	77,4
2019	94,9	99,5	102,8	96,6	83,2	78,6
2020	98,1	95,3	101,8	103,1	99,4	79,5
2021	125,7	107,5	119,6	131,2	164,9	109,3
2022	144,5	118,3	149,5	154,7	187,8	114,5
2023	124,5	114,1	123,7	130,9	126,3	145,0
2024	122,0	117,2	129,6	113,5	138,2	125,8

Современная глобальная продовольственная система проходит очередной этап своей эволюции. Наблюдаемый политический, экономический коллапс, связанный с внешними факторами (пандемии, войны, санкции), социальное неравенство, резкие экологические изменения приводят к новым ее трансформациям, структурным сдвигам всех ее составляющих. Меняются стандарты и правила международной торговли, логистики, ритейла, возникают новые предпочтения в потреблении пищевых продуктов. Поэтому продовольственная безопасность – это непрерывный процесс, предполагающий постоянное укрепление, поддержание, развитие всех компонентов: наличия, доступности, использования продовольствия. Это еще раз подтверждает необходимость глубокой проработки и стратегического подхода к формированию новой системы продовольственного обеспечения. Мы разделяем позицию ученых, считающих, что проблема продовольственной безопасности связана не только с демографическими, климатическими, экологическими факторами, но в большей степени это явление политическое [35–38].

На рисунке 2 представлена цепочка процессов, которые привели к утрате, а затем к постепенному восстановлению глобальной продовольственной безопасности.

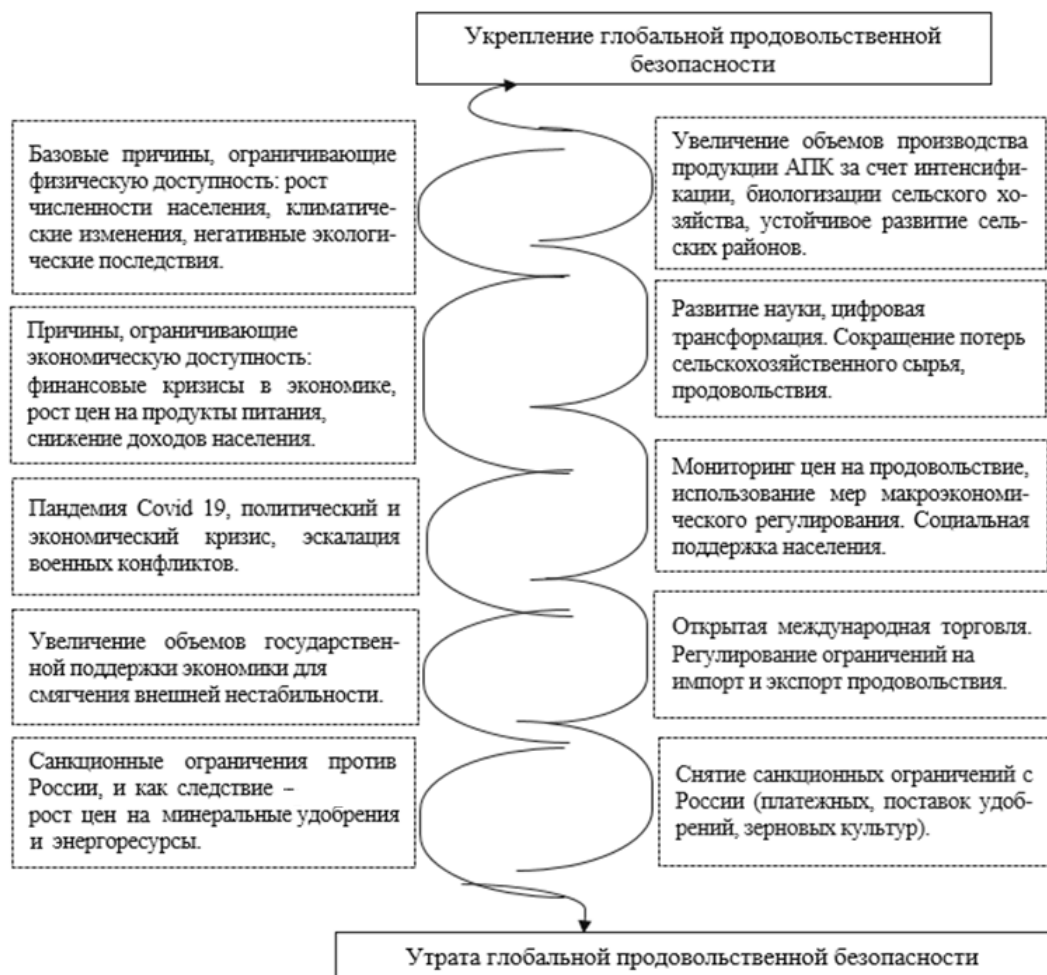


Рис. 2. Цепочка процессов, которые привели к утрате, а затем к постепенному восстановлению глобальной продовольственной безопасности на современном этапе

Figure 2. Sequence of processes that led to the loss and subsequent gradual recovery of global food security at the current stage

На наш взгляд, грамотная внешняя и внутренняя международная политика в области продовольствия могла бы своевременно нивелировать ослабление продовольственной системы и определить пути ее укрепления.

На протяжении разных временных периодов понимание сущности продовольственной безопасности претерпело определенные изменения, проходя соответствующие этапы от наращивания объемов производства продовольствия на основе развития сельского хозяйства к необходимости потребления достаточного количества питательных веществ, затем – к обеспечению физического и экономического доступа. Позднее сюда были включены вопросы обеспечения безопасности и качества продуктов питания, устойчивого развития агропродовольственной системы. На наш взгляд, на текущем этапе в понятие «продовольственная безопасность» необходимо добавить понятия инструментов государственного и межгосударственного регулирования продовольственного рынка. В современных условиях геополитической напряженности это является особенно актуальным.

Изложенное выше подтверждает подписанный 10 марта 2025 г. Указ Президента России В.В. Путина, вносящий изменения в Доктрину продовольственной безопасности страны [39]. В документ был добавлен раздел «Стратегическая цель и основные задачи обеспечения глобальной продовольственной безопасности». К основным задачам, обозначенным в Указе, отнесены: развитие внутреннего производства сельхозпродукции, сырья и продовольствия для наращивания экспортного потенциала; создание благоприятных внешних условий для развития международных торгово-экономических, транспортно-логистических и финансовых связей; оказание гуманитарной помощи (в первую очередь – продовольственной) нуждающимся странам; укрепление взаимодействия с иностранными государствами и международными организациями для реализации совместных проектов.

Таким образом, понятие «продовольственная безопасность» охватывает новые стороны, соответствующие новым вызовам времени, и включает в себя вопросы уже не только самообеспечения, но и поддержания стабильности продовольственных рынков.

Нет легких путей в обеспечении продовольственной безопасности, но тем не менее проблема вполне разрешаема при ответственном и комплексном подходе. В этом нас убеждают яркие примеры восстановления и развития глобальной продовольственной системы после каждого серьезного кризиса в мире. Проведенные исследования позволили выделить следующие ключевые направления усиления глобальной продовольственной безопасности в условиях современной политической, социально-экономической, экологической нестабильности:

1. С учетом высокой остроты проблемы обеспечения продовольственной безопасности государства в новых политико-экономических условиях вновь актуализируется необходимость концентрации усилий на реализации концепции самообеспечения населения продовольствием через использование всех возможных рычагов и инструментов. Зависимость системы продовольственного снабжения страны от импорта продуктов питания становится препятствием на пути достижения продовольственной безопасности. Например, в основе современной модели продовольственной безопасности Канады лежит концепция продовольственного суверенитета. Это обеспечивает доступ населения к достаточному количеству безопасной, питательной и разнообразной пищи с учетом культурных особенностей разных территорий. В странах ЕС действуют жесткие ограничения в отношении импорта продовольственных товаров из стран, не входящих в ЕС, как в части таможенно-тарифного регулирования, так и с точки зрения систем технического контроля за безопасностью ввозимых продуктов питания. В Доктрине продовольственной безопасности России отмечается: «... продовольственная независимость – самообеспечение страны основными видами отечественной сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». Китай всегда придерживался ответственного подхода к вопросу обеспечения глобальной продовольственной безопасности, реализации политики самообеспеченности продовольствием. Согласно текущим тенденциям к концу века только 14% стран будут обеспечивать себя продовольствием. Безусловно, ни одна страна не стремится к автаркии, но обоснованное и разумное использование своих конкурентных преимуществ, взвешенных протекционистских мер, поиск новых взаимовыгодных взаимодействий позволят обеспечить рост и эффективность экономики, необходимый уровень продовольственной обеспеченности.

Для развивающихся стран решение задачи продовольственного обеспечения представляет особые сложности. Такие государства имеют крайне ограниченные внутренние ресурсы и практически не могут самообеспечить себя продовольствием, что требует от более развитых стран активного участия. В этой связи ключевым фактором устойчивого развития становится предоставление гуманитарной помощи,

наращивание торгово-инвестиционного сотрудничества с развитыми государствами, которые могут оказать содействие в привлечении финансирования для решения ключевых инвестиционных задач, обеспечить импорт необходимого продовольствия.

2. Агропромышленный комплекс играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности. Проблемы повышения объемов сельскохозяйственного производства невозможно решить без развития наукоемких биотехнологий, цифровизации, рационального использования ресурсов, охраны окружающей среды. Правительствам государств необходимо проводить аграрную политику, направленную на повышение своего потенциала и скорейшее приспособление к новым реалиям на мировом рынке, разработку и внедрение мер поддержки сельхозтоваропроизводителей, социального развития сельских территорий, развитие транспортной инфраструктуры, оптово-распределительных центров, объектов агрологистики.

3. Одним из важных факторов, способствующих обеспечению физической и экономической доступности продовольствия, является развитие открытой международной торговли, расширение сотрудничества между странами. Для обеспечения продовольственной безопасности в отдельно взятой стране внутреннее производство всех видов продовольствия является необязательным. В зависимости от климатических и прочих условий производство некоторых видов продовольствия в необходимых объемах может быть нерентабельным или невозможным. Эффективные механизмы внешней торговли позволяют как получать выручку за счет экспорта излишков продовольствия, имеющих наибольшую рентабельность, так и взамен импортировать недостающие объемы по ценам ниже, чем сложились бы в условиях собственного производства. Так, Ц. Дунъюй подчеркнул: «...важнейший способ накормить всех нуждающихся – это сосредоточиться на улучшении производства и в то же время обеспечении устойчивых поставок в рамках международной торговли при наличии бесперебойных логистических цепочек и самих продовольственных товаров, доступных по цене» [40]. Тарифы, санкции, торговые ограничения, субсидии существенно влияют на наличие продовольствия и цены в конкретном регионе мира. Поэтому необходимо снизить торговые барьеры, гарантировать бесперебойность международных сельскохозяйственных поставок, взять ответственность за поддержание глобальной продовольственной безопасности. Сегодня крайне важно пересмотреть или вообще отказаться от санкций, выдвинутых против России. С учетом их экономической невыгодности и еще урона от климатических изменений важность российских поставок для обеспечения глобальной продовольственной безопасности будет возрастать [41–43].

4. В современном мире продовольственная безопасность связана с экономической доступностью. Для ее достижения необходимо выполнение комплекса мер, направленных на выявление и устранение причин повышения стоимости продовольствия, управление ценовой конъюнктурой, повышение уровня доходов населения. В этой связи целесообразно усилить государственный контроль в области ценовой политики на продовольственные товары. В целях сдерживания роста цен на продовольствие можно выделить следующие макроэкономические меры: проведение действенной кредитно-денежной политики, мобилизация внешней помощи для финансирования дополнительного импорта продовольствия, поддержание достаточных валютных резервов, меры налоговой политики.

5. Инфляция, высокие цены на продовольствие, энергоресурсы, дефицит бюджета способствуют снижению покупательной способности населения, увеличению числа бедных, усиливают риск возникновения социальных волнений и миграционных кризисов. Важно активизировать международную политику, направленную на поддержку не только производителей продовольственных товаров, но и граждан особенно уязвимых малообеспеченных групп населения. Правительства должны расширить

социальные гарантии, повышать потенциал социальных программ, то есть повышение цен ложится бременем на государственный бюджет, что свидетельствует о важности эффективной денежно-кредитной и налогово-бюджетной политики для восстановления стабильности

6. Повысить продовольственную безопасность позволит и реализация совместных международных научных, производственных проектов в различных направлениях развития агропродовольственной сферы, климатически устойчивого сельского хозяйства.

Таким образом, представленные направления позволят построить новую, устойчивую продовольственную систему, обеспечивающую население страны полноценным и доступным питанием, окажут значительное влияние на укрепление продовольственной безопасности в мире, от которой зависит будущее.

Выводы

Conclusions

Вышеизложенное позволило сформулировать выводы по результатам проведенных исследований.

1. Продовольственная безопасность остается одной из критических мировых проблем на протяжении всей истории развития человеческой цивилизации, ее обеспечение является объективной необходимостью и одной из ключевых задач для любого государства. Мир движется в новую эру нестабильности и перемен, сталкиваясь с базовыми и новыми вызовами – такими, как рост населения в мире, резкие климатические изменения, экономическая нестабильность, высокая продуктовая инфляция, геополитическая напряженность, которые негативно сказываются на физической и экономической доступности продовольствия. Это существенно обостряет проблему нехватки продовольствия, усиления глобального голода. Особенно остро последствия сказываются на странах-импортерах продовольствия.

2. Проблемы продовольственной безопасности характерны для всех стран мира, но если развитые страны – страны с доходами выше среднего уровня – могут успешно обеспечивать физическую и экономическую доступность продовольствия, то в странах с доходами ниже среднего уровня сохраняются нерешенные базовые проблемы, а в странах с низким уровнем дохода население по-прежнему испытывает острую нехватку продовольствия.

3. Агропромышленный комплекс проходит через серьезные изменения: интенсификацию производства, адаптацию к резким изменениям климата, сохранение окружающей среды. Повышение агропродовольственного потенциала позволит увеличить объем производства продовольствия.

4. Экономическая недоступность продовольствия выступает ключевым риском снижения уровня продовольственной безопасности и роста числа голодающих в мире. Особенностью современного кризиса является продуктовая инфляция. В целях сдерживания роста цен на продовольствие необходимо государственное регулирование макроэкономических параметров экономики, а также принятие объективных мер, направленных на смягчение последствий волатильности цен для особо уязвимой категории населения.

5. На современном этапе важнейшим вопросом для всех участников мирового продовольственного рынка является построение эффективных и надежных национальных и региональных продовольственных систем, основанных на разумном протекционизме, динамичном процессе производства, логистике распределения продукции, адаптации к внешним и внутренним изменениям, а также на взаимовыгодном международном сотрудничестве.

Список источников

1. Будущее продовольствия и сельского хозяйства: Цели и альтернативы глобального устойчивого развития // *ФАО*. URL: [https:// assets.publishing.service.gov.uk/government](https://assets.publishing.service.gov.uk/government) (дата обращения: 02.02.2025)
2. Алтухов А.И., Долушин Н.К., Попцов А.Г. и др. *Продовольственная безопасность России: современные угрозы и вызовы*: Монография. Москва: ООО «Сам полиграфист», 2021. 304 с. EDN: CVYSVE
3. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире: Доклад ФАО // *ФАО*. URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/food> (дата обращения: 05.01.2025)
4. Алтухов А.И. Основные мировые тенденции в обеспечении продовольственной безопасности // *Вестник Национального Института Бизнеса*. 2022. № 1 (45). С. 9–19. EDN: URIYKY
5. Аварский Н.Д., Богачев А.И., Таран В.В. Российский экспорт аграрной продукции и сдерживающие развитие товародвижения логистические факторы // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2025. № 2 (120). С. 6–18. <https://doi.org/10.33938/252-6>
6. Вартанова М.Л. Влияние глобализационных процессов на продовольственные кризисы // *Островские чтения*. 2024. № 1. С. 21–25. EDN: BEZGOC
7. Колесняк А.А., Полозова Т.В. Продовольственная стратегия развитых стран мира // *Вестник КрасГАУ*. 2009. № 2 (29). С. 3–7. EDN: KZZRLV
8. Петриков А.В. Стратегические направления совершенствования аграрной политики России в условиях санкционного давления // *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2022. Т. 235, № 3. С. 122–133. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2022-235-3-122-133>
9. Ушачев И.Г., Колесников А.В. Научные подходы к оценке обеспечения продовольственной безопасности и продовольственной независимости Российской Федерации // *АПК: экономика, управление*. 2022. № 3. С. 3–18. <https://doi.org/10.33305/223-3>
10. Шагайда Н.И., Узун В.Я., Гатаулина Е.А., Шишкина Е.А. *Оценка состояния продовольственной безопасности России*. Москва: Институт прикладных экономических исследований РАНХ и ГС, 2020. EDN: UVTTWN
11. Азрилиян А.Н. *Экономический словарь*. Москва: Институт новой экономики, 2008. 1152 с.
12. Раздобурдин Я. *Аюрведа. Философия и травы*. Москва: Центрполиграф, 2019. 256 с.
13. Человечество страдает от голода и ожирения одновременно // *Новые известия*. URL: <https://newizv.ru/news/2014-11-21/chelovechestvo-stradaet-ot-goloda-i-ozhireniya-odnovremenno-200001?ysclid=m8zlpuij0844682894> (дата обращения: 21.01.2025)
14. Самые толстые страны 2023 года // *Национальная бариатрическая практика*. URL: <https://bariatriarf.ru/the-thickest-2023/?ysclid=m8zlxnvkyf516626215> (дата обращения: 21.01.2025)
15. Здоровое питание остается недоступным для трети населения мира // *Организация объединенных наций*. URL: <https://www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2024/08/95962/zdorovoe-pitanie-ostaetsya-nedostupnym-dlya-treti-naseleniya-mira> (дата обращения: 01.02.2025)
16. Как продовольственная безопасность приведет нас к миру без голода // *Агромент*. URL: <https://agrovent.ru/blog/novosti-kompanii/kak-prodovolstvennaya>

- bezopasnost-privedet-nas-k-mirubezgoloda/?ysclid=m8zm84hwke125050562 (дата обращения: 01.02.2025)
17. Проблема голода // *Евразийский центр по продовольственной безопасности*. URL: <https://ecfs.msu.ru/napravleniya-raboty/ekonomicheskie-osnovyi-pishhevoj-bezopasnosti-rossijskoj-federaczii/problema-goloda> (дата обращения: 01.02.2025)
18. Мировой голод. URL: https://rabkor.ru/columns/analysis/2023/09/30/world_hunger/?ysclid=m8si3cefgn256369740 (дата обращения: 01.02.2025)
19. Глобальная продовольственная безопасность: взгляд Всемирного банка // *Свое фермерство*. URL: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/articles/global-naja-prodovol-stvennaja-bezopasnost-vzgljad-vsemirnogo-banka?ysclid=m8zmhbiah7653420636> (дата обращения: 15.04.2025)
20. Сарханянц К. ООН: число голодающих в мире составляет 735 млн человек // *Коммерсантъ*. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6097782> (дата обращения: 12.04.2025)
21. Тенденции в области продовольственной безопасности в 2024 году и в дальнейшем // *Блог всемирного банка*. URL: <https://blogs.worldbank.org/ru/europeandcentralasia/food-security-trends-2024-and-beyond> (дата обращения: 12.04.2025)
22. Гутерриш назвал доклад ФАО «резким обвинением человечества в неспособности покончить с голодом» // *Forbes*. URL: https://forbes.kz/news/newsid_300384?ysclid=m8zmkwcoe12698338238 (дата обращения: 04.05.2025)
23. Мировой продовольственный кризис: угроза или факт? Обзор // *Interfax*. URL: <https://www.interfax.ru/business/845827> (дата обращения: 10.04.2025)
24. Цель 2: Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства. Доклад ООН-2023: «...мир не в состоянии достичь цели «Нулевой голод» к 2030 году» // *ООН. Цели в области устойчивого развития*. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/hunger/> (дата обращения: 12.04.2025)
25. Савельева А.В. Роль продовольственной проблемы в современной мировой экономике // *Экономический журнал высшей школы экономики*. 2013. № 3. С. 563–580. EDN: RNLYOF
26. Индекс продовольственной безопасности, баллов. Страны – статистика по годам. URL: <https://statbase.ru/datasets/indexes-and-ratings/global-food-security-index/> (дата обращения: 12.04.2025)
27. Статистические данные // *Our World in Data*. URL: <https://ourworldindata.org/> (дата обращения: 12.04.2025)
28. Генсек ООН раскритиковал безучастность людей в борьбе с изменением климата. Новости мира // *Известия*. URL: <https://iz.ru/1577361/2023-09-21/gensek-oon-raskritikoval-bezuchastnost-liudei-v-borbe-s-izmeneniem-klimata> (дата обращения: 21.04.2025)
29. Голод – главная проблема XXI века // *ИА Финмаркет*. URL: <https://www.finmarket.ru/main/article/819976?ysclid=m8zpdqmqkw97180080> (дата обращения: 15.04.2025)
30. Бельчук А. Дешевых продуктов больше не будет. Общество // *Столетие*. URL: https://www.stoletie.ru/obschestvo/deshevih_produkto_v_bolshe_ne_budet.htm (дата обращения 25.03.2025)
31. Расстригин М. Нерассказанные причины продовольственного кризиса // *Ведомости*. URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2022/06/22/927998-prichini-prodovolstvennogo> (дата обращения: 23.05.2025)

32. Генетически модифицированные продукты – биологическое оружие массового поражения и инструмент глобальной диктатуры нового типа. URL: <https://narodsobor.ru/2014/10/17/23375-geneticheski-modificirovannye-produkty-biologicheskoe-oruzhie-massovogo-porazheniya-i-instrument-globalnoj-diktatury-novogo-tipa/> (дата обращения: 25.05.2025)
33. Алтухов А.И. Концептуальные подходы к обеспечению продовольственной безопасности Союзного государства // *Экономика сельского хозяйства России*. 2024. № 3. С. 2–11. <https://doi.org/10.32651/243-2>
34. FAO Food Price Index // *FAO*. URL: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/> (дата обращения: 25.04. 2025)
35. Хейфец Б.А., Чернова В.Ю. Новые подходы развитых стран в обеспечении продовольственной безопасности // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. 2022. Т. 15, № 1. С. 151–166. <https://doi.org/10.31249/kgt/2022.01.07>
36. Полунина Н.Ю., Попова Е.А., Зайцева Е.А. Взаимосвязи между военным конфликтом и продовольственной безопасностью // *Экономические и социальные проблемы России*. 2023. № 2 (54). С. 15–30. <https://doi.org/10.31249/espr/2023.02.01>
37. Яковенко А.В. Доклад Национального координатора России по продовольственным системам и реализации решений Саммита ООН по продовольственным системам. URL: dipacademy.ru/documents/7705/doklad-2023.pdf. (дата обращения: 25.04.2025)
38. Наумов С.Н., Гумеров Р.Р., Гусева Н.В. Стратегическое планирование – ключевой инструмент обеспечения экономической безопасности России в условиях больших вызовов // *Экономическая безопасность*. 2023. Т. 6, № 2. С. 497–508. <https://doi.org/10.18334/ecsec.6.2.117952>
39. О внесении изменений в Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20: Указ Президента Российской Федерации от 10.03.2025 г. № 141 // *Президент России*. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/51703> (дата обращения: 10.03.2025)
40. ФАО вновь призывает к преобразованию агропродовольственных систем // *FAO*. URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-international-conference-food-security-uzbekistan-2023/ru> (дата обращения: 25.04. 2025)
41. Джанчарова Г.К., Мухаметзянов Р.Р., Чекмарева Н.В. и др. Обеспечение продовольственной безопасности государства и развитие экспортного потенциала аграрного сектора России // *Московский экономический журнал*. 2022. Т. 7, № 6. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_6_387
42. Агаркова Л.В., Гурнович Т.Г., Русецкий М.Г., Подколзина И.М. Глобальные тренды и вызовы мировой экономики // *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2021. Т. 3, № 9 (117). С. 112–117. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2021.09.03.019>
43. Трухачев В.И., Агаркова Л.В. Стратегия укрепления продовольственной безопасности регионального АПК // *Экономика сельского хозяйства России*. 2015. № 4. С. 55–61. EDN: TQCDRC

References

1. Future of food and agriculture: Goals and alternatives for global sustainable development. *FAO*. (In Russ.) URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government> (accessed: February 02, 2025).
2. Altukhov A.I., Dolgushkin N.K., Paptsov A.G., Semenov E.I. et al. *Russia's food security: Modern threats and challenges: a monograph*. Moscow, Russia: Onebook.ru, 2021:304. (In Russ.)

3. The FAO Report "The State of Food Security and Nutrition in the World". *FAO*. (In Russ.) URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/food> (accessed: January 05, 2025).
4. Altukhov A.I. The main global trends in the provision of food security. *Bulletin of the National Institute of Business*. 2022;1(45):9-19. (In Russ.)
5. Avarskii N.D., Bogachev A.I., Taran V.V. Russian export of agricultural products and logistic factors hindering the development of sales. *Ekonomika, trud, upravleniye v selskom khozyaystve*. 2025;(2(120)): 6-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.33938/252-6>
6. Vartanova M.L. Impact of globalization processes on food crises. *Ostrovskie chteniya*. 2024;(1):21-25. (In Russ.)
7. Kolesnyak A.A., Polozova T.V. The food strategy of the world developed countries. *Bulletin of KSAU*. 2009;(2(29)):3-7. (In Russ.)
8. Petrikov A.V. Strategic directions for improving russian agricultural policy under sanction pressure. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2022;235(3):122-133. (In Russ.) <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2022-235-3-122-133>
9. Ushachev I.G., Kolesnikov A.V. Scientific approaches to assessing food security and food independence of the Russian Federation. *AIC: Economics, Management*. 2022;(3):3-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.33305/223-3>
10. Shagayda N.I., Uzun V.Ya., Gataulina E.A., Shishkina E.A. *Assessment of the state of Russian food security*. Moscow, Russia: Institute of Applied Economic Research of the Russian Academy of Sciences and GS, 2020. (In Russ.)
11. Azriliyan A.N. *Economic dictionary*. Moscow, Russia: Institut novoy ekonomiki. 2008:1152. (In Russ.)
12. Razdoburdin Ya. *Ayurveda. Philosophy and herbs*. Moscow, Russia: Tsentrpoligraf, 2019:256. (In Russ.)
13. Humanity is suffering from hunger and obesity at the same time. *Novye izvestia*. (In Russ.) URL: <https://newizv.ru/news/2014-11-21/chelovechestvo-stradaet-ot-goloda-i-ozhireniya-odnovremenno-200001?ysclid=m8zlpmuij0844682894> (accessed: January 21, 2025).
14. The fattest countries in 2023. *Natsional'naya bariatricheskaya praktika*. (In Russ.) URL: <https://bariatriarf.ru/the-thickest-2023/?ysclid=m8zlxnvkyf516626215> (accessed: January 21, 2025).
15. Healthy nutrition remains inaccessible to a third of the world's population. *Organizatsiya ob"edinennykh natsiy*. (In Russ.) URL: <https://www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2024/08/95962/zdorovoe-pitanie-ostaetsya-nedostupnym-dlya-treti-naseleniya-mira> (accessed: February 01, 2025).
16. How food security will lead us to the world without hunger. *Agrovent*. (In Russ.) URL: <https://agrovent.ru/blog/novosti-kompanii/kak-prodovolstvennaya-bezopasnost-privedet-nas-k-mirubezgoloda/?ysclid=m8zm84hwke125050562> (accessed: February 01, 2025).
17. The problem of hunger. *Evraziyskiy tsentr po prodovolstvennoy bezopasnosti*. (In Russ.) URL: <https://ecfs.msu.ru/napravleniya-raboty/ekonomicheskiesnovyi-pishhevoj-bezopasnosti-rossijskoj-federaczii/problema-goloda> (accessed: February 01, 2025).
18. *World hunger*. (In Russ.) URL: https://rabkor.ru/columns/analysis/2023/09/30/world_hunger/?ysclid=m8si3cefgn256369740 (accessed: February 01, 2025).
19. Global food security: the World Bank's view. *Svoe fermerstvo*. (In Russ.) URL: <https://svoefarmerstvo.ru/svoemedia/articles/global-naja-prodovolstvennaya-bezopasnost-vzgljad-vsemirnogo-banka?ysclid=m8zmhbiah7653420636> (accessed: April 15, 2025).
20. Sarkhanyants K. UNO: the number of hungry people in the world is 735 million people. *Kommersant*. (In Russ.) URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6097782> (accessed: April 15, 2025).

21. Trends in food security in 2024 and beyond. *Blog vseirnogo banka*. (In Russ.) URL: <https://blogs.worldbank.org/ru/europeandcentralasia/food-security-trends-2024-and-beyond> d (accessed: April 12, 2025).
22. Guterres called the FAO report a “Sharp accusation” of humanity’s inability to end hunger. *Forbes*. (In Russ.) URL: https://forbes.kz/news/newsid_300384?ysclid=m8zmkwke12698338238 (accessed: May 04, 2025).
23. The global food crisis: threat or fact? Review. *Interfax*. (In Russ.) URL: <https://www.interfax.ru/business/845827> (accessed: April 10, 2025).
24. Goal 2: Eliminating hunger, ensuring food security and improving nutrition, and promoting sustainable agricultural development. The UN-2023 Report “... the world is unable to achieve the goal of Zero hunger by 2030”. *ООН. Tseli v oblasti ustoychivogo razvitiya*. (In Russ.) URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/hunger/> (accessed: April 12, 2025).
25. Savelyeva A.V. The role of global food problem in the modern world economy. *Higher School of Economics Economic Journal*. 2013;17(3):563-580. (In Russ.)
26. *Food security index, points. Countries – statistics by year*. (In Russ.) URL: <https://statbase.ru/datasets/indexes-and-ratings/global-food-security-index/> (accessed: April 12, 2025).
27. Statistical data. *Our World in Data*. (In Russ.) URL: <https://ourworldindata.org/> (accessed: April 12, 2025).
28. The UNO Secretary General criticized the indifference of people in the fight against climate change. News of the world. *Izvestia*. (In Russ.) URL: <https://iz.ru/1577361/2023-09-21/gensek-oon-raskritikoval-bezuchastnost-liudei-v-borbe-s-izmeneniem-klimata> (accessed: April 12, 2025).
29. Hunger is the main problem of the 21st century. *IA Finmarket*. (In Russ.) URL: <https://www.finmarket.ru/main/article/819976?ysclid=m8zpdeqmkw9710080> (accessed: April 21, 2025).
30. Belchuk A. There will be no more cheap products. *Stoletie*. (In Russ.) URL: https://www.stoletie.ru/obshchestvo/desheviy_produkty_bolshe_ne_budet.htm (accessed: April 15, 2025).
31. Rasstrigin M. The untold causes of the food crisis. *Vedomosti*. (In Russ.) URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2022/06/22/927998-prichini-prodovolstvennogo> o (accessed: March 25, 2025).
32. *Genetically modified foods are biological weapons of mass destruction and an instrument of a new type of global dictatorship*. (In Russ.) URL: <https://www.warandpeace.ru/ru/exclusive/view/25170/> (accessed: May 25, 2025).
33. Altukhov A.I. Conceptual approaches to ensuring food security of the Union State. *Economics of Agriculture of Russia*. 2024;(3):2-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.32651/243-2>
34. FAO Food Price Index. *FAO*. (In Russ.) URL: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/> (accessed: April 25, 2025).
35. Kheifets B.A., Chernova V.Y. Changing food security strategies in the developed countries. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law Kontury global'nykh transformatsiy: politika, ekonomika, pravo*. 2022;15(1):151-166. (In Russ.) <https://doi.org/10.31249/kgi/2022.01.07>
36. Polunina N.Y., Popova E.A., Zaitseva E.A. The relationship between military conflict and food security. *Economic and social problems of Russia*. 2023; 2(54): 15-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.31249/espr/2023.02.01>
37. Yakovenko A.V. Report of the Russian National Coordinator for Food Systems and the implementation of the decisions of the UN Summit on Food Systems. (In Russ.) URL: <https://www.dipacademy.ru/documents/7705/doklad-2023.pdf> (accessed: April 25, 2025).

38. Naumov S.N., Gumerov R.R., Guseva N.V. Strategic planning is a key tool for ensuring Russia's economic security in the face of grand challenges. *Economic security*. 2023;6(2):497-508. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/ecsec.6.2.117952>
39. Decree of the President of the Russian Federation, No. 141 of March 10, 2025 "On Amendments to the Food Security Doctrine of the Russian Federation, approved by Decree of the President of the Russian Federation, No. 20 of January 21, 2020". *President Rossii*. (In Russ). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/51703> (accessed: March 03, 2025).
40. FAO reiterates its call for the transformation of agri-food systems. *FAO*. (In Russ.) URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-international-conference-food-security-uzbekistan-2023/ru> (accessed: April 25, 2025).
41. Dzhancharova G.K., Mukhametzyanov R.R., Chekmareva N.V., Platonovskiy N.G. et al. Ensuring food security of the state and developing the export potential of the agricultural sector of Russian. *Moscow Economic Journal*. 2022; 7(6). (In Russ.) https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_6_387
42. Agarkova L.V., Gurnovich T.G., Rusetsky M.G., Podkolzina I.M. Global trends and challenges world economy. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2021;3(117):112-117. (In Russ.) <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2021.09.03.019>
43. Trukhachev V.I., Agarkova L.V. Strategy of strengthening of food security of regional agrarian and industrial complex. *Economics of Agriculture of Russia*. 2015;(4):55-61. (In Russ.)

Сведения об авторе

Луиза Аликовна Велибекова, канд. экон. наук, доцент, старший научный сотрудник отдела региональной и отраслевой экономики, Институт социально-экономических исследований ДФИЦ РАН; 367000, Российская Федерация, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75; e-mail: l.a._velibecova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2104-3424>

Information about the author

Luiza A. Velibekova, CSc (Econ), Associate Professor, Senior Research Associate at the Department of Regional and Sectoral Economics, Institute of Socioeconomic Studies of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 75 M. Yaragskogo St., Makhachkala, 367000, Russian Federation; e-mail: l.a._velibecova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2104-3424>

ЭКОНОМИКА

Африка в мировом производстве кукурузы

Нина Германовна Гаврилова✉

Институт Африки РАН, Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** ninagavrilova1976@gmail.com

Аннотация

Исследования посвящены анализу глобальной динамики производства кукурузы. Особое внимание уделено африканскому континенту, где замедленное колониальным режимом развитие сельского хозяйства сопровождалось демографическим взрывом и технологическим отставанием. Производство кукурузы рассматривается в контексте продовольственной безопасности, технологических и экологических вызовов. Актуальность работы обусловлена тем, что кукуруза является одной из трех основных продовольственных культур, а также используется как сырье во множестве видов промышленности, и спрос на нее постоянно растет. Цель исследований – определить роль Африки в мировом производстве кукурузы. В основе работы лежит анализ данных ФАО ООН по валовому производству, площадям возделывания и урожайности кукурузы за период с 1961 по 2023 гг. Методология включает в себя сравнительный анализ макрорегионов, где кукуруза выращивается в значительных объемах с выделением экстенсивных (расширение площадей) и интенсивных (рост урожайности) факторов. Результаты исследований позволили определить роль Африки в мировом производстве кукурузы, и было выяснено, что доля континента в нем осталась неизменной, а урожайность как была, так и осталась самой низкой в мире. Увеличение валового объема производства было достигнуто в основном за счет расширения площадей, практически не были использованы современные научные достижения. Провал «Зеленой революции» на континенте связан с неразвитой инфраструктурой, политической нестабильностью и малой доступностью технологий для производителей. Однако у аграрного сектора Африки есть потенциал, который континент может реализовать, следуя Комплексной программе развития сельского хозяйства и пользуясь поддержкой мирового сообщества.

Ключевые слова

Сельское хозяйство, кукуруза, Африка, Европа, Северная Америка, Азия, валовый сбор, урожайность, площадь выращивания, эффективность, производительность

Для цитирования

Гаврилова Н.Г. Африка в мировом производстве кукурузы // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 191–207.

Africa in world corn production

Nina G. Gavrilova✉

¹Institute of African Studies of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉Corresponding author: ninagavrilova1976@gmail.com

Abstract

This study analyzes global trends in corn production, with a specific focus on the African continent. Characterized by a history of colonial agricultural suppression, rapid population growth, and technological limitations, Africa's corn production is examined in relation to food security, technological innovation, and environmental challenges. The study's relevance stems from corn's status as one of three critical food crops and a vital industrial raw material with continuously increasing global demand. The research aims to assess Africa's role in global corn production dynamics. Employing a comparative analysis of FAO data on gross production, cultivated areas, and corn yields from 1961 to 2023, the methodology differentiates between extensive (area expansion) and intensive (yield improvement) growth factors. The findings indicate that Africa's share of global corn output has remained static, while its yields remain the lowest globally. Gross production increases have been primarily driven by cultivated area expansion, with limited adoption of modern agricultural technologies. The study attributes the limited success of the Green Revolution in Africa to underdeveloped infrastructure, political instability, and restricted access to technology for producers. However, the African agricultural sector possesses significant unrealized potential, which can be leveraged through adherence to the Comprehensive Africa Agriculture Development Programme (CAADP) and sustained support from the international community.

Keywords

Agriculture, corn, Africa, Europe, North America, Asia, gross production, yield, cultivated area, efficiency, productivity

For citation

Gavrilova N.G. Africa in World corn production. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 191–207.

Введение

Introduction

Кукуруза является одной из трех важнейших зерновых культур и вместе с рисом и пшеницей обеспечивает «не менее 30% калорий в пище для более чем 4,5 млрд человек в 94 развивающихся странах» [1]. Кукуруза (маис) – лидер среди всех зерновых культур по объему производства, и по данным ФАО ООН, ее валовый сбор в 2023 г. составил 1,2 млрд т, когда как пшеницы во всем мире собрали 799 млн т, а риса – 800 млн т. Она занимает второе место в мире по площади выращивания – 208 млн га (пшеница – 220 млн га, рис – 168 млн га) в 2023 г. Эти зерновые культуры являются основой для многих продуктов питания людей и животных. Популярность кукурузы в качестве пищи обуславливается многими ее полезными свойствами и уникальными характеристиками. Так, в кукурузе содержится меньше жира и больше клетчатки, чем в других злаковых. Она является безглютеновым продуктом, что очень важно для людей с целиакией или иными формами непереносимости глютена. Низкий

гликемический индекс позволяет использовать кукурузу в питании диабетиков. Кукуруза содержит антиоксиданты, витамины, минералы, благотворно влияющие на организм человека. Однако применение зерновых уже давно выходит за «пищевые» рамки: все три культуры являются сырьем для химической, медицинской, текстильной, строительной и других отраслей промышленности. Кукуруза наиболее часто используется как сырье для биоэтанола. Обладая уникальной генетической пластичностью, она легко поддается селективным изменениям и служит «образцовой» культурой в агрономии. С помощью генетических модификаций уже выведены сотни адаптированных к вредителям или плохим погодным условиям сортов.

Поскольку в исследованиях мы выделяем Африку, целесообразно рассмотреть показатели, относящиеся к постколониальному периоду – большинство стран континента получили независимость в 1960-е гг. Отток «колониального» капитала из экономики негативно повлиял на все сферы деятельности новых суверенных государств. Это отразилось и на состоянии сельскохозяйственного производства как основного сектора экономики и гаранта продовольственной безопасности. Проиллюстрируем состояние аграрного производства в начале самостоятельного пути африканских стран и изменения в нем на протяжении последующих 60 лет на примере производства пространственного и известного злака – кукурузы.

Главным изучаемым показателем в статье выступает валовое производство кукурузы как в мире в целом, так и в разрезе макрорегионов. Сначала проведем простейший статистический анализ и исследуем его относительные и абсолютные изменения, далее перейдем к оценке составляющих – площадей, занятых культурой, и ее урожайности. Полученные результаты позволят сделать выводы об экстенсивном или интенсивном характере производства кукурузы на различных территориях. Далее мы проведем case study-анализ по каждой из них, уделив внимание уникальным, присущим только этим территориям факторам, повлиявшим на итоговые показатели выращивания кукурузы. На каждом этапе исследований мы будем сравнивать Африку с другими макрорегионами, и цель исследований будет заключаться в определении роли континента в мировом производстве кукурузы. Задачи исследований – выявление факторов, определяющих увеличение производства кукурузы и географические сдвиги в ее выращивании, и оценка перспектив дальнейшего производства культуры.

Цель исследований: определение экономической роли африканского континента в мировом производстве кукурузы.

Методика исследований

Research method

В исследованиях нашли применение количественные и качественные методы – такие, как сравнительный анализ на примере макрорегионов, статистический анализ данных, включающий в себя расчет относительных и абсолютных показателей, Case study региональных моделей, качественный анализ факторов влияния и др. В качестве источников послужили базы данных международных организаций (ФАО ООН, Всемирный банк), международные отчеты и прогнозы (доклады OECD-FAO Agricultural Outlook, и др.), научные публикации по теме работы, документы и стратегии («Европейский зеленый курс», «От фермы до вилки»), некоторые медиа и экспертные аналитические материалы. В работе применены инструменты визуализации данных – рисунки и таблицы. Сочетание нескольких методов и разнообразие изученных источников позволили провести комплексный анализ и добиться поставленной цели исследований.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Кукуруза в истории и современности: от пищи до промышленности. Считается, что одомашнивание кукурузы началось около 9 тыс. лет назад на юге Мексики; сначала она использовалась только как продовольственная культура. Кукуруза «прижилась» на столе каждого континента, стала основой огромного разнообразия национальных блюд. Наиболее частое использование кукурузы – лепешки и хлеб, супы, каши, напитки и самая распространенная «закуска кинотеатров» – попкорн. Универсальность применения, питательность и полезность сделали кукурузу неотъемлемой частью гастрономической индивидуальности многих стран, где пользуются спросом такие национальные блюда, как тортильи, томалес, мамалыга, полента, кукурузный хлеб, угали и др. К сегодняшнему дню сфера ее применения расширилась. Кукуруза является одной из самых популярных пищевых и кормовых культур, выступает как основа для производства биотоплива и имеет множество других видов использования (рис. 1).

Мировые объемы производства кукурузы: динамика роста и трансформация географических центров. Современное применение кукурузы уже давно вышло за рамки пищевой культуры, и она как популярное сырье способствует функционированию многих отраслей промышленности, которые обеспечивают запросы современной жизни. Широта применения культуры отразилась на объемах ее производства в мире (табл. 1).



Рис. 1. Основные сферы применения кукурузы (составлено автором)

Figure 1. Main applications of corn [compiled by the author]

Таблица 1

**Валовое производство кукурузы в разрезе макрорегионов
(расчеты автора по данным ФАО СТАТ)**

Table 1

**Gross corn production by macroregion
[author's calculations based on FAOSTAT data]**

Регионы	Годы					
	1961 г., тыс. т	2001 г., тыс. т	2023 г. к 2001 г.,		2023 г. к 1961 г.	
			тыс. т	%	тыс. т	%
Всего в мире	205027	615075	1241558	201,9	1036531	605,6
Африка	16147	41440	95004	229,3	78857	588,4
Северная Америка	92130	249766	404770	162,1	312640	439,3
Южная Америка	16314	64635	186275	288,2	169961	1141,8
Азия	31601	159080	403726	253,8	372125	1277,6
Европа	40795	76104	119027	156,4	78232	291,8
Прочие*	8039	24050	32755	136,2	24716	407,4

*Здесь и далее к прочим причислены территории с небольшими объемами производства кукурузы. Это страны Центральной Америки, Карибского бассейна и Океании.

Каждый рассматриваемый макрорегион показал рост производства кукурузы за обозначенный период, но при этом произошло смещение районов возделывания. Эти изменения обусловлены несколькими факторами. В первую очередь это увеличение населения в определенных регионах. Так, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной Организации ООН (ФАО ООН), с 1950 по 2023 гг. мировое население увеличилось в 3,3 раза (с 2493 до 8092 млн чел.), вызвав значительное повышение спроса на продовольствие и продукцию других видов промышленности, что отразилось на выращивании кукурузы. По данным ФАО, мировое валовое производство кукурузы за рассматриваемый в статье период с 1961 по 2023 гг. увеличилось более чем в 6 раз.

В Азии население за указанный период выросло в 3,6 раза (с 1342 до 4778 млн чел.), и возросшие потребности отразились на самом высоком абсолютном и относительном приросте, который показал регион: валовое производство кукурузы увеличилось более чем в 12 раз, или на 372 млн т. По выращенным объемам Азия практически догнала бессменного лидера – Северную Америку – и в 2023 г. стала вторым крупнейшим производителем кукурузы в мире, оставив позади Европу.

Еще один рывок в производстве кукурузы – в 11,4 раза – показала Южная Америка: валовый сбор вырос с 16,3 млн т в 1961 г. до 186,3 млн т в 2023 г. Отметим, что рост населения также был очень высок – в 3,8 раза (с 113 до 433 млн чел.).

Наибольший относительный прирост населения произошел в Африке – в 6,5 раза (с 228 до 1481 млн чел.), однако производство продовольственных культур (на примере кукурузы) характеризуется умеренным по сравнению с другими территориями темпом роста – в 5,9 раза, или с 16,1 до 95 млн т. Рост темпов производства

продовольствия не соответствует темпам роста населения, поэтому в Африке наблюдается наибольший процент недоедающего населения в мире [2]. По определению ФАО, недоедание заключается в том, что человек потребляет недостаточное количество калорий, которое не дает вести ему активную и здоровую жизнь. Так, по данным ФАО, в 2023 г. в Африке недоедал каждый пятый житель (20,4% населения), в Азии – каждый двенадцатый (8%), в Южной Америке – каждый двадцатый (5%). В Европе и Северной Америке данный показатель не имеет точных значений и составляет менее 2,5% населения. В абсолютных значениях количество недоедающих в Африке составило 298 млн чел., в Азии – 384 млн чел., в Южной Америке – 22,8 млн чел.

Северная Америка продемонстрировала стабильный, но замедляющийся рост (с 2001 по 2023 гг. всего 162% по сравнению с 440% за весь период), Европа – наименьший рост, и здесь опять проявилась корреляция с населением. В Северной Америке за 73 года численность увеличилась на 228% (с 168 до 383 млн чел.), в Европе – на 130% (с 574 до 746 млн чел.).

Динамика производства в более мелких временных единицах представлена на рисунке 2. Из данных рисунка следует, что Европа стала терять позиции практически с самого начала рассматриваемого периода. В течение некоторого времени Европа и Азия делили между собой второе место после Северной Америки, но после 1973 г. Азия стала стремительно и с большим отрывом увеличивать производство кукурузы.

Итак, за прошедший период произошли значительные географические трансформации, изменившие структуру мирового производства кукурузы (рис. 3).

Исторический лидер – Северная Америка (–13% в структуре мирового производства) – постепенно уступает позиции Южной Америке (+7%) и Азии (+17%), Европа (–10%) полностью потеряла вторую позицию в выращивании кукурузы. Не изменилось значение Африки, которая и в 1961 г. и в 2023 г. обеспечивала 8% мирового производства. Небольшое изменение произошло за счет прочих территорий, которые потеряли 1%. Такой сдвиг центров производства обусловлен не только разными темпами увеличения численности населения в макрорегионах, но и другими причинами, которые предстоит выяснить далее.

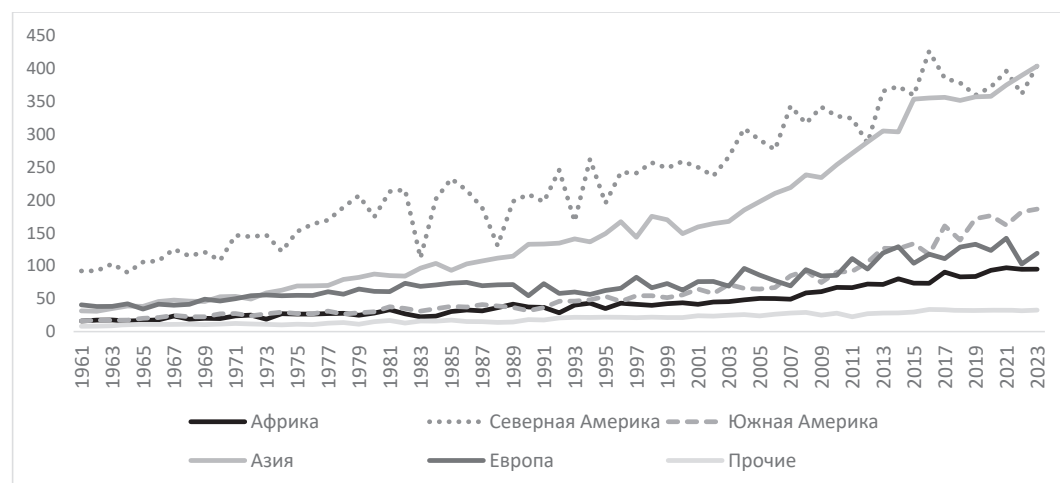


Рис. 2. Динамика производства кукурузы по макрорегионам, млн т (составлено автором по данным ФАО СТАТ: «Продукты животноводства и сельскохозяйственных культур»)

Figure 2. Trends in corn production by macroregions, million tons [author's calculations based on FAOSTAT data, Crops and livestock products]

Площади возделывания кукурузы: рост, географические сдвиги и факторы влияния. Используя данные ФАО ООН, проверим, насколько изменились размеры производства кукурузы в разрезе тех же территориальных единиц (табл. 2).

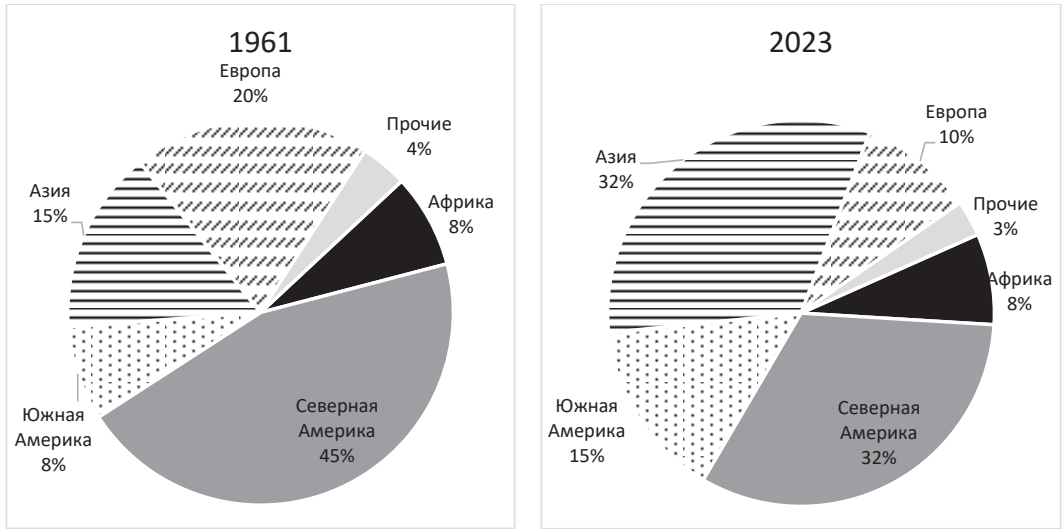


Рис. 3. Изменение структуры производства кукурузы по макрорегионам, %
(составлено автором по данным ФАО СТАТ: «Продукты животноводства и сельскохозяйственных культур»)
Figure 3. Changes in corn production structure by macroregions, %
[author’s calculations based on FAOSTAT data, Crops and livestock products]

Таблица 2

Площади возделывания кукурузы в разрезе макрорегионов
(расчеты автора по данным ФАО СТАТ)
Table 2
Corn cultivated areas by macroregion [author’s calculations based on FAOSTAT data]

Регионы	Годы					
	1961 г., млн га	2001 г., млн га	2023 г. к 2001 г.,		2023 г. к 1961 г.	
			млн га	%	млн га	%
Всего в мире	105,6	137,4	208,2	151,6	103	197,3
Африка	15,5	24,0	44,1	183,9	29	285,2
Северная Америка	23,5	29,1	36,5	125,5	13	155,5
Южная Америка	11,9	18,0	33,6	186,0	22	282,6
Азия	27,8	42,8	68,5	160,0	41	246,6
Европа	18,8	13,5	16,5	122,2	−2	87,5
Прочие	8,1	9,9	9,0	90,9	1	111,2

Мировая площадь под кукурузой увеличилась почти вдвое, со 105 до 208 млн га. Причины уже были названы: расширение сфер применения кукурузы и быстрый рост численности населения, повышающий спрос на нее как на незаменимую продовольственную культуру. Вторым фактором, повлиявшим на географические сдвиги производства продовольственных культур (на примере кукурузы), является наличие свободных земель, пригодных для сельскохозяйственного производства. ФАО и ОЭСР в отчете «OECD-FAO Agricultural Outlook 2016–2025» прогнозировали, что именно в Африке и Южной Америке «...есть некоторые возможности для устойчивого увеличения сельскохозяйственных площадей, в основном в некоторых частях Латинской Америки и стран Африки к югу от Сахары», и в приведенном исследовании была выдвинута гипотеза о том, что «...большая часть новых посевных площадей в Африке будет отведена под зерновые». При этом ученые отмечают, что потенциально доступные для аграрного производства земли уже применяются по этому назначению: 54% в Европе, 48% в Азии и России, 40% в Северной Америке, тогда как в Южной Америке и Африке в настоящее время используется только около 23% (5 млн км²) и 20% (10 млн км²), соответственно, а 7 млн км² (Азия и Россия) остаются потенциальными для преобразования в пахотные земли [3].

Южная Америка за рассматриваемый период увеличила площадь возделывания кукурузы в 2,8 раза. В основном этот прирост был обеспечен освоением саванны Серрадо, которая раньше считалась непригодной для ведения сельхозпроизводства. После применения новейших разработок в агрохимии и генетике растений и современных методов обработки почв эта природная зона стала центром бразильского сельского хозяйства, и исследователи отмечают, что увеличение посевных площадей в 1,6 раза обеспечило увеличение производства зерновых в 6 раз [4].

В Азии территории, занятые кукурузой, увеличились почти в 2,5 раза (+246,6%) – в основном за счет Китая. В Китае активно осваивались новые земли, ранее не использовавшиеся для производства сельскохозяйственной продукции ввиду низкого плодородия. Внедрение новых схем земледелия на этих землях сделало выращивание кукурузы возможным и рентабельным. Например, расширилось использование маргинальных земель провинции Ганьсу и Нинся-Хуэйского автономного района. Кукуруза стала выращиваться и в регионах, где ранее этому мешал засушливый климат. Применение технологий орошения и засухоустойчивых сортов расширило производство кукурузы в Синьцзян-Уйгурском автономном районе и Внутренней Монголии. Для расширения производства осваивались дополнительные земли: осушались болота, расчищались лесистые территории, стали использоваться склоны холмов и долины в провинциях Хэйлунцзян, Цилинь, Ляонин и др. [5]. В других азиатских странах также можно наблюдать увеличение посевных площадей под кукурузой. В основном дополнительного производства потребовал рост спроса на продовольствие для людей и животных. В меньших, чем в Китае, масштабах расширение сельскохозяйственных земель произошло в Индии, Индонезии, Филиппинах, Вьетнаме, Таиланде, Мьянме и др.

Уверенный рост площадей под кукурузу продемонстрировала и Африка (+285%) за счет активного преобразования новых территорий в Восточном, Центральном, Южном регионах, освоения маргинальных земель в Сахеле, замены традиционных, но менее прибыльных культур (сорго, просо, маниок), сокращения пастбищ [1, 6].

Можно отметить, что более быстрые темпы увеличения площадей во всех регионах (кроме Европы) наблюдались с 2001 по 2023 гг. По данным ФАО, Европа уменьшила свой удельный вес в структуре мировых площадей под выращивание кукурузы на 9,9%. В Европе на уменьшение культивирования кукурузы повлияло

много различных факторов. Приведем некоторые из них. Еще в начале 2000-х гг. «... процессы сокращения площадей под сельхозкультурами ускорились после либерализации аграрного сектора Европы» [7]. Оптимизация производства была связана с плодородием земель: где оно было признано низким, там произошел отказ от возделывания сельскохозяйственных культур, где условия были более благоприятными, выращивание стало интенсивнее. Другими причинами сокращения земель ученые называют «дробление собственности, нехватку капитала, старение сельского населения, низкие доходы фермеров и процессы индустриализации в сельском хозяйстве» [7]. Ими же оговаривается перемена в производстве культур: «...большая часть сельскохозяйственных земель используется для производства биотоплива», и они же отмечают «растущее бремя урбанизации» [7].

Одним из важных факторов, влияющих на производство, стало следование программе «Европейский зеленый курс» (European Green Deal), разработанной Европейской комиссией и представляющей собой совокупность программ для достижения углеродной нейтральности к 2050 г. В ее рамках осуществляется стратегия «От фермы до вилки» («Farm to Fork»), которая предполагает сокращение использования химических пестицидов, удобрений, продаж противомикробных препаратов для сельскохозяйственных животных и антибиотиков для аквакультуры. При этом оговариваются недопущение ухудшения плодородия почвы и преобразование части земель в области органического земледелия. Сокращение использования химических средств для производства кукурузы повлечет за собой снижение урожайности и рентабельности, что приведет к уменьшению посевных площадей культур, в том числе кукурузы. Можно ожидать снижения финансовой поддержки отрасли и перенаправления ее на поддержание экологических инициатив.

К будущим угрозам производства зерна относится изменение пищевых привычек населения. Человечество укрепляется во мнении о том, что животноводство оказывает негативное влияние на окружающую среду [8] и его продукты вредны для здоровья человека [9]. Это влияет на предпочтения в еде современных людей, которые значительно уменьшают потребление мяса или вовсе отказываются от него, и вызывает сокращение масштабов разведения скота [10]. Поскольку «в странах с высоким уровнем дохода 70% кукурузы используется в качестве корма» [1], нужно предполагать, что снижение поголовья животных отразится и на потреблении фуражного зерна, и это опять же вызовет уменьшение площадей возделывания кукурузы. Процесс изменения пищевых пристрастий достаточно длительный, поэтому моментального эффекта на производство вышеозначенной продукции сельского хозяйства не окажет.

Нельзя не отметить, что на снижение размеров выращивания кукурузы оказали влияние кризиса COVID-19 и колебание цен на мировом рынке. Повлиял на это и конфликт России и Украины, который прервал поставки дешевого газа на территорию ЕС. Рост цен на замещаемое сырье многократно увеличил себестоимость сельскохозяйственной продукции. Также прошла целая волна протестов со стороны европейских фермеров ввиду резкого роста импорта дешевой кукурузы из Украины, и если интересы местных производителей не будут защищены, то объемы производства значительно сократятся.

Исследователи National Corn Growers Association отмечают, что повышение урожайности позволило Северной Америке уменьшить свой удельный вес в структуре мировых площадей под выращивание кукурузы на 4,7%, но при этом увеличить ее валовое производство.

Данные рисунка 4 позволяют увидеть, когда начался период резкого увеличения площадей под выращивание кукурузы.

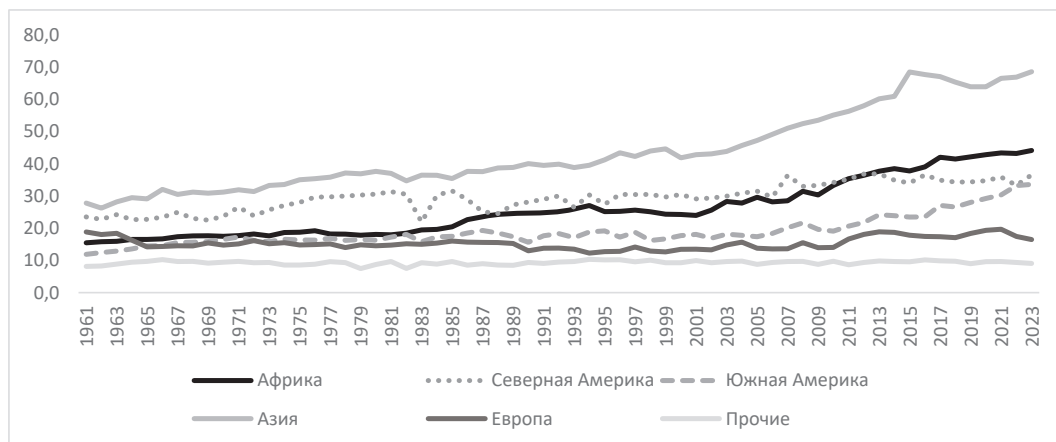


Рис. 4. Динамика площадей возделывания кукурузы по макрорегионам, млн га (составлено автором по данным ФАО СТАТ: «Продукты животноводства и сельскохозяйственных культур»)

Figure 4. Trends in corn cultivated areas by macroregions, million hectares [author's calculations based on FAOSTAT data, Crops and livestock products]

Интенсивное расширение площадей под выращивание кукурузы началось примерно с 2000 г. Если во второй половине XX в. лидерами производства являлись развитые территории (Северная Америка и Европа), то в первой четверти XXI в. инициатива стала принадлежать развивающимся регионам: Азии, Африке и Южной Америке. Нужно отметить, что в Северной Америке и Европе технический прогресс и борьба за экологию потребовали разработок особых решений, и с 2000 гг. они начали производить возобновляемое топливо из растений. По мнению National Corn Growers Association, это «подстегнуло первоначальное увеличение площадей под кукурузой, которые быстро выровнялись и с тех пор оставались постоянными».

В проведенных исследованиях мы определили, что большинство макрорегионов добивалось увеличения объемов производства кукурузы за счет роста урожайности, но в странах Африки к югу от Сахары увеличение объемов было достигнуто за счет расширения земель. Нельзя не упомянуть, что экстенсивное наращивание валового сбора любой культуры, в том числе кукурузы, имеет целый ряд экологических и социальных последствий. В первую очередь это обеднение почв по причине интенсивного выращивания одной и той же культуры без севооборота, приводящее к деградации почвенных покровов. Во-вторых, это насильственное преобразование природных экосистем. Естественные ландшафты становятся новыми полями, причем самым распространенным методом введения в оборот новых земель в Африке является метод выжигания, и это приводит к сокращению биоразнообразия и деградации почв [11]. В Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) обозначено, что в тропической и субтропической зонах под угрозой находятся тропические леса, которые страдают от добычи полезных ископаемых, лесозаготовок, расширения населенных пунктов, но основной причиной обезлесения является именно расширение сельскохозяйственных угодий. По данным ФАО, по сравнению с 1990 г. леса сократились в Нигерии на 18%, в Гане на 20%, в Индонезии на 22%, в Кот-Д'Ивуаре на 63%. Расширение полей иногда происходит за счет захвата земель, на которых были расположены пастбища или пути перегона скота. Это вызывает

кровапролитные конфликты между фермерами и скотоводами [12, 13]. Увеличение площадей под продовольственные культуры, в том числе кукурузу, в Африке является сложным и многогранным процессом, который должен найти баланс между экономическими потребностями, продовольственной безопасностью и экологическими вызовами [14].

Урожайность кукурузы: технологические прорывы и региональные контрасты. Мы выяснили, что отчасти на увеличение производства кукурузы повлияло расширение площадей выращивания, то есть экстенсивный фактор. Далее следует рассмотреть изменение эффективности производства культуры, то есть интенсивный фактор (табл. 3).

Среднемировая урожайность кукурузы выросла почти в 3 раза – с 19,4 до 59,6 ц/га. Надо отметить, что за указанный период во всех рассматриваемых регионах урожайность повысилась, но происходило это разными темпами и с разной интенсивностью. Рекордный скачок в повышении мировой урожайности обеспечила Северная Америка, где урожайность кукурузы с достаточно высокой (39,2 ц/га) взлетела до гигантской (110,8 ц/га). Такие цифры в современном мире редко достигаются вне экспериментальных участков или узкоспециализированных ферм, а в Северной Америке это средняя урожайность. Исследователями National Corn Growers Association отмечается, что на ее повышение повлияли достижения в генетике и селекции растений, использование современных разработок в выращивании сельхозкультур, оптимизация использования природных и иных ресурсов для производства. Американские специалисты ожидают, что рост урожайности кукурузы продолжится.

Таблица 3

**Урожайность кукурузы в разных макрорегионах, ц/га
(расчеты автора по данным ФАО СТАТ)**

Table 3

**Corn yield in different macroregions, centner/hectare
[author’s calculations based on FAOSTAT data]**

Регионы	Годы							
	1961 г. ц/га	1971 г. ц/га	1981 г. ц/га	1991 г. ц/га.	2001 г. ц/га	2011 г. ц/га	2023 г. ц/га	2023 г. к 1961 г., %
Всего в мире	19,4	26,5	34,9	37,0	44,8	51,4	59,6	307,0
Африка	10,4	13,5	18,5	14,9	17,3	18,9	21,5	206,3
Северная Америка	39,2	55,2	68,0	68,1	85,8	92,0	110,8	282,5
Южная Америка	13,7	15,9	21,9	20,7	35,8	44,4	55,5	404,0
Азия	11,4	16,8	23,0	33,7	37,1	48,2	58,9	518,2
Европа	21,7	33,1	41,2	52,9	56,5	66,7	72,3	333,3
Прочие	9,9	12,7	17,6	19,4	24,2	26,2	36,2	366,3

Еще две значительные территории показали большой относительный рост – Южная Америка (в 4 раза) и Азия (в 5,2 раза), но в меньших итоговых значениях: урожайность повысилась с низких цифр (13,7 и 11,4 ц/га соответственно) до 55,5 и 58,9 ц/га, что в современных условиях уже не является особым достижением. Таким итогом, по мнению ученых, эти территории обязаны последствиям «Зеленой революции», начавшейся в 1940-е гг. в Мексике [15] и в 1960-е гг. в Азии [16]. С 1940-х по 1970-е гг. по миру стремительно распространялись новейшие разработки в области сельского хозяйства, сочетающие в себе внесение ударных доз удобрений, использование орошения и улучшенных гибридных семян при участии государства, оказывающего фермерам поддержку в виде субсидирования и кредитования. Такой подход вызвал взлет урожайности сельскохозяйственных культур и рекордные валовые сборы во многих странах. В те годы и позднее производство продовольствия практически на всех территориях, кроме Африки, опережало рост населения [17].

Урожайность кукурузы в Африке как была, так и осталась на самом низком уровне. Более чем 60 лет понадобилось континенту, чтобы увеличить урожайность только в 2 раза. В исследовании Всемирного Банка «Fertilizer use in African agriculture» отмечается, что со стороны правительств были попытки следования принципам такой успешной на других континентах «Зеленой революции», фермеров пытались поддержать субсидиями на удобрения и семена, но слишком высокие административные расходы, слабое управление программами, недальновидность в распределении средств и учете потребностей производителей не принесли повсеместного успеха. Кое-где прогресс все же имел место: в Кении, Зимбабве, Замбии, Эфиопии [16]. Но эти единичные достижения почти не отразились положительно на продовольственной безопасности континента в целом. На протяжении всего постколониального периода в Африке присутствовал и присутствует голод [18].

Помимо неэффективной государственной поддержки, называется еще целый ряд причин, повлиявших на низкий рост производительности: «...слабая инфраструктура и связанные с ней высокие транспортные расходы, ... политическая нестабильность, разнообразные агроэкологические сложности, низкое использование удобрений и ограниченная доступность подходящих высокоурожайных сортов» [16]. Но самой главной причиной неуспеха является недофинансирование сектора со стороны государства [14].

Современные положительные сдвиги в производстве кукурузы во всем мире, и в Африке в том числе, часто связаны с реализацией различных государственных программ поддержки фермеров, основанных на основных столпах «Зеленой революции». В целом все они направлены на укрепление продовольственной безопасности в регионах путем повышения эффективности ведения сельскохозяйственного производства с учетом климатических изменений и помощи мелким фермерам-производителям. Основные направления этих программ можно подразделить на следующие:

- оказание финансовой поддержки в виде субсидий на семена, удобрения, технику, топливо и др.;
- кредитование на льготных условиях;
- улучшение инфраструктуры (строительство дорог, хранилищ, ирригационных систем;
- страхование от потерь урожая ввиду засухи, наводнений или других природных катаклизмов;
- организация обучения новым методам ведения сельхозпроизводства и технологиям;
- закупка продукции по фиксированным ценам и др.

В Африке особого внимания заслуживает «Комплексная программа развития сельского хозяйства в Африке» (Comprehensive Africa Agriculture Development Programme, CAADP), которой еще в 2014 г. был установлен минимальный 10%-ный

порог финансирования аграрного сектора за счет государственного бюджета. Из стран-участниц Африканского Союза, которые взяли на себя обязательства Программы, к 2022 г. только одна страна – Руанда – ближе всех находится к поставленной задаче. Отстают, тем не менее двигаются к цели Кения, Уганда, Эфиопия, Зимбабве, Буркина-Фасо, Нигерия, Танзания, Гана, Мали и некоторые другие страны. Остальные страны континента показали низкую эффективность в достижении цели, и их сельское хозяйство продолжает нуждаться в увеличении финансирования. Однако у аграрного сектора Африки есть большой потенциал. Страны пытаются исполнить взятые на себя обязательства по финансированию сельского хозяйства, разрабатывают и поддерживают инициативы и программы, направленные на его развитие.

Итак, по результатам проведенных исследований можно выделить факторы, способствовавшие росту валового производства кукурузы. Во-первых, этот рост практически во всех макрорегионах связан с внедрением в сельское хозяйство достижений современной науки: использованием гибридных сортов, улучшением ирригационных систем, современных методов земледелия, цифровизацией значительной части процессов производства. Во-вторых, важную роль сыграли разработанные и профинансированные государствами программы развития сельского хозяйства в целом и продовольственных культур, в том числе, в частности, кукурузы. Большой отклик получила стимуляция фермеров посредством субсидий на удобрения, семена и средства производства. В-третьих, рост обусловлен расширением площадей под выращивание кукурузы.

Таким образом, на мировое увеличение производства кукурузы повлияли как экстенсивные, так и интенсивные факторы. В Африке увеличение объемов производства в основном было вызвано расширением пахотных земель.

Тенденции и перспективы производства кукурузы. Рассмотрев цифровые характеристики урожайности, валового сбора и площадей выращивания культуры, следует сделать некоторые выводы. На протяжении последних 20 лет Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) совместно с ФАО ООН выпускали сельскохозяйственные прогнозы «OECD-FAO Agricultural Outlook», определяющие основные тенденции развития сектора во всем мире. Так, прогнозировались сдвиги в местах производства основных сельскохозяйственных культур. На примере кукурузы мы видим географические трансформации весьма четко. За последние 60 лет производство кукурузы «сдвинулось» из развитых регионов (Северная Америка и Европа) в развивающиеся: Южную Америку, Азию и Африку. В последнем из отчетов ОЭСР-ФАО выделено предположение того, что изменения в географии производства продолжатся, но уже не на континентальном, а на страновом уровне: «...заметным изменением, ожидаемым в течение ближайшего десятилетия, является возрастающая роль Индии, Юго-Восточной Азии и стран Африки к югу от Сахары и снижение роли Китая». Можно ожидать и дальнейшего смещения выращивания кукурузы в регионы, богатые ресурсами – неосвоенными землями и людьми. В течение некоторого времени рост производства в развивающихся регионах будет обусловлен расширением площадей под выращивание кукурузы, в развитых регионах – за счет дальнейшего повышения урожайности [19]. Когда Африка и Азия придут к дефициту земли, рост производства в этих регионах будет также основан на повышении производительности.

Что касается мировых объемов производства кукурузы, то в статье рассмотрены некоторые факторы, которые могут на них повлиять. Это изменение пищевых привычек, которое может привести к увеличению спроса на кукурузу в качестве пищевой культуры (например, переход населения на специальное питание – веганское или вегетарианское, где основой рациона являются растительные культуры). Но это же изменение может повлечь за собой сокращение выращивания кукурузы на фураж, так как снизившийся спрос на мясную продукцию приведет к сокращению поголовья животных.

В свете ухудшающейся экологической обстановки весьма важным становится вопрос экологичности сельского хозяйства. Необходимо найти баланс между продовольственной безопасностью, потребностями промышленности и экологическими вызовами. Важными шагами к этому могут стать оптимально работающие сельскохозяйственные рынки, снижение потерь и отходов продовольствия, а также использование оптимальных технологий производства – более производительных и менее загрязняющих [20].

Выводы

Conclusions

За последние 6 десятилетий кукуруза укрепила свои позиции как одна из важнейших сельскохозяйственных культур. Она играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, выступает сырьем для промышленности и для биотоплива. Мировое производство кукурузы выросло более чем в 6 раз, и произошла радикальная трансформация географических центров ее производства. Лидерство развитых Северной Америки и Европы перешло к развивающимся странам Азии, Южной Америки, и в меньшей степени – Африки. Эти перемены стали результатом взаимодействия множества факторов: от демографических и технологических до экономических, и их сочетание по-разному проявилось в каждом из рассматриваемых макрорегионов.

Успехи развитых территорий основаны на интенсивной модели: используя генетические инновации, технологии точного земледелия и другие новейшие разработки, они добились повышения урожайности кукурузы на уже обрабатываемых землях. Азия и Южная Америка, нарастившие производство в 12 и 11 раз соответственно, сочетали экстенсивные и интенсивные методы: расширение пахотных земель и внедрение технологий «Зеленой революции».

Африка, с одной стороны, увеличила производство кукурузы почти в 6 раз, но при этом ее доля в мировом объеме осталась неизменной. Африканский путь развития сельского хозяйства оказался основан на экстенсивной модели, и прирост производства тут был обеспечен расширением посевных площадей, а не повышением урожайности, которая так и осталась самой низкой в мире. Африка является единственным регионом в мире, где «Зеленая революция» почти не принесла результатов. Попытки использования продвинутых технологий разбились о неразвитую инфраструктуру, политическую нестабильность и недофинансирование отрасли. Результатом стал самый высокий в мире показатель голода населения.

Темпы роста производства кукурузы за последние десятилетия указывают на то, что период экстенсивного роста подходит к концу. Потенциал дальнейшего расширения мировых посевных площадей под кукурузу ограничен и пока имеется в странах Азии, Южной Америки и Африки. Производство кукурузы на развивающихся территориях должно сосредоточиться на повышении эффективности за счет повышения урожайности культуры. Достигаться это должно с использованием современных разработок. Однако и развивающиеся страны стали принимать во внимание экологические последствия неконтролируемого введения в оборот ранее неиспользуемых земель. Поэтому следует использовать технологии, снижающие экологические риски. Развитые страны столкнулись с тем, что интенсивный путь тоже ограничен – невозможно повышать урожайность бесконечно. Оптимизация аграрных рынков, снижение потерь и отходов и использование экологичных технологий должны стать следующим этапом повышения эффективности выращивания и использования кукурузы. Развивающиеся страны, пройдя экстенсивный путь, повторяют за развитыми путь интенсивный.

Для Африки вопрос выращивания одной из важнейших культур является особенно острым. Континент сталкивается с необходимостью обеспечить продовольственную

безопасность быстро растущему населению, но при этом не ухудшить экологическую ситуацию. Программа развития сельского хозяйства в Африке СААДР видит выход в увеличении государственного финансирования, которое позволит эффективно субсидировать мелких фермеров, содействовать развитию ирригации, внедрять цифровые технологии, создавать инфраструктуру и др. Преодоление всех вызовов, определенных в статье, невозможно лишь за счет следования программе развития аграрного производства на континенте. Африке не обойтись без поддержки международного сообщества. При совместных усилиях, с соблюдением баланса между продуктивностью и экологичностью, можно решить сложную задачу избавления континента от голода.

Список источников

1. Shiferaw B., Prasanna B.M., Hellin J., Bänziger M. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*. 2011;3:307-327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
2. Морозенская Е.В., Гаврилова Н.Г., Калиниченко Л.Н. Экономическая безопасность в странах Африки к Югу от Сахары: возможные пути преодоления новых вызовов // *Ученые записки Института Африки РАН*. 2024. № 2 (67). С. 82–101. <https://doi.org/10.31132/2412-5717-2024-67-2-82-101>
3. Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C. et al. Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century. *Nature Food*. 2022;3:19-28. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00429-z>
4. Salatino A. AgrCerrado-MOJFPT-2023. *MOJ Food Processing & Technology*. 2023;11(2):111-114. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2023.11.00288>
5. Li S., Zhao J., Dong S. et al. Advances and prospects of maize cultivation in China. *Scientia Agricultura Sinica*. 2017;50(11):1941-1959. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2017.11.001>
6. Santpoort R. The Drivers of Maize Area Expansion in Sub-Saharan Africa. How Policies to Boost Maize Production Overlook the Interests of Smallholder Farmers. *Land*. 2020;9(3):68. <https://doi.org/10.3390/land9030068>
7. Giuliani A., Baron H. The CAP (Common Agricultural Policy): A Short History of Crises and Major Transformations of European Agriculture. *Forum for Social Economics*. 2023;54(1):68-94. <https://doi.org/10.1080/07360932.2023.2259618>
8. Leip A., Billen G., Garnier J. et al. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*. 2015;10:115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
9. Farvid M.S., Sidahmed E., Spence N.D. et al. Consumption of red meat and processed meat and cancer incidence: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *European Journal of Epidemiology*. 2021;36:937-951. <https://doi.org/10.1007/s10654-021-00741-9>
10. Salliou N. Quitting livestock farming: transformation pathways and factors of change from post-livestock farmers' accounts. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023;7:1122992. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1122992>
11. Grégoire J.-M., Eva H.D., Belward A.S. et al. Effect of land-cover change on Africa's burnt area. *International Journal of Wildland Fire*. 2013;22:107-120. <https://doi.org/10.1071/WF11142>
12. Денисова Т.С., Костелянец С.В. Политический кризис в Буркина-Фасо: внутренние и внешние факторы дестабилизации // *Пути к миру и безопасности*. 2023. № 2 (65). С. 73–90. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-73-90>

13. Гаврилова Н.Г. Социальные и экономические аспекты миграции мобильных скотоводов Африки // *International Agricultural Journal*. 2021. Т. 64, № 1. С. 33. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10302>
14. Гаврилова Н.Г. 60 лет независимого развития: состояние сельского хозяйства в Африке // *International Agricultural Journal*. 2020. Т. 64, № 5. С. 12. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10218>
15. Patel R. The Long Green Revolution. *The Journal of Peasant Studies*. 2013;40(1):1-63. <https://doi.org/10.1080/03066150.2012.719224>
16. Denning G., Kabambe P., Sanchez P. et al. Input Subsidies to Improve Smallholder Maize Productivity in Malawi: Toward an African Green Revolution. *PLoS Biology*. 2009;7(1): e1000023. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000023>
17. Otero G., Pechlaner G. Latin American agriculture, food, and biotechnology: Temperate dietary pattern adoption and unsustainability. In: Otero G. (ed.). *Food for the Few: Neoliberal Globalism and Biotechnology in Latin America*. Austin, TX, USA: University of Texas Press. 2008:31-56
18. Гаврилова Н.Г. Продовольственная безопасность стран Западной Африки на современном этапе: тенденции, проблемы и решения // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. 2022. № 4 (15). С. 159–180. <https://doi.org/10.31249/kgf/2022.04.09>
19. Schils R., Olesen J.E., Kersebaum K.-C. et al. Cereal yield gaps across Europe. *European Journal of Agronomy*. 2018;101:109-120. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.09.003>
20. Калиниченко Л.Н., Новикова З.С. Африка на пути инновационного развития // *Азия и Африка сегодня*. 2017. № 9 (722). С. 48–55. EDN: ZFBXDH

References

1. Shiferaw B., Prasanna B.M., Hellin J., Bänziger M. Crops that Feed the World 6. Past Successes and Future Challenges to the Role Played by Maize in Global Food Security. *Food Security*. 2011;3:307-327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
2. Morozenskaya E.V., Gavrilova N.G., Kalinichenko L.N. Economic security in Sub-Saharan Africa: possible ways to address new challenges. *Journal of the Institute for African Studies*. 2024;(2(67)):82-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.31132/2412-5717-2024-67-2-82-101>
3. Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C., Tyukavina A. et al. Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century. *Nature Food*. 2022;3:19-28. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00429-z>
4. Salatino A., Faria Salatino M.L. AgrCerrado-MOJFPT-2023. *MOJ Food Processing & Technology*. 2023;11(2):111-114. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2023.11.00288>
5. Li S., Zhao J., Dong S., Zhao M. et al. Advances and Prospects of Maize Cultivation in China. *Scientia Agricultura Sinica*. 2017;50(11):1941-1959. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2017.11.001>
6. Santpoort R. The Drivers of Maize Area Expansion in Sub-Saharan Africa. How Policies to Boost Maize Production Overlook the Interests of Smallholder Farmers. *Land*. 2020;9(3):68. <https://doi.org/10.3390/land9030068>
7. Giuliani A., Baron H. The CAP (Common Agricultural Policy): A Short History of Crises and Major Transformations of European Agriculture. *Forum for Social Economics*. 2023;54(1):68-94. <https://doi.org/10.1080/07360932.2023.2259618>
8. Leip A., Billen G., Garnier J., Grizzetti B. et al. Impacts of European Livestock Production: Nitrogen, Sulphur, Phosphorus and Greenhouse Gas Emissions, Land-Use, Water Eutrophication and Biodiversity. *Environmental Research Letters*. 2015;10:115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>

9. Farvid M.S., Sidahmed E., Spence N.D., Mante Angua K. et al. Consumption of Red Meat and Processed Meat and Cancer Incidence: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Studies. *European Journal of Epidemiology*. 2021;36:937-951. <https://doi.org/10.1007/s10654-021-00741-9>
10. Salliou N. Quitting Livestock Farming: Transformation Pathways and Factors of Change from Post-Livestock Farmers' Accounts. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023;7:1122992. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1122992>
11. Grégoire J.-M., Eva H.D., Belward A.S., Palumbo I. et al. Effect of Land-Cover Change on Africa's Burnt Area. *International Journal of Wildland Fire*. 2013;22:107-120. <https://doi.org/10.1071/WF11142>
12. Denisova T.S., Kostelyanets S.V. Political crisis in Burkina Faso: internal and external factors of destabilization. *Pathways to Peace and Security*. 2023;(2(65)):73-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-73-90>
13. Gavrilova N.G. Social and economic aspects of the migration of Africa's mobile pastoralists. *International Agricultural Journal*. 2021;64(1):33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10302>
14. Gavrilova N.G. 60 years of independent development: the state of agriculture in Africa. *International Agricultural Journal*. 2020;63(5):12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10218>
15. Patel R. The Long Green Revolution. *The Journal of Peasant Studies*. 2013;40(1):1-63. <https://doi.org/10.1080/03066150.2012.719224>
16. Denning G., Kabambe P., Sanchez P., Malik A. et al. Input Subsidies to Improve Smallholder Maize Productivity in Malawi: Toward an African Green Revolution. *PLoS Biology*. 2009;7(1): e1000023. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000023>
17. Otero G., Pechlaner G. Latin American agriculture, food, and biotechnology: Temperate dietary pattern adoption and unsustainability. In: G. Otero (Ed.). *Food for the Few: Neoliberal Globalism and Biotechnology in Latin America*. Austin, TX, USA: University of Texas Press. 2008:31-56.
18. Gavrilova N.G. Food security of West African countries at the present stage: trends, problems and solutions. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law Kontury global'nyh transformacij: politika, ekonomika, pravo*. 2022;15(4):159-180. (In Russ.) <https://doi.org/10.31249/kgf/2022.04.09>
19. Schils R., Olesen J.E., Kersebaum K.-C., Rijk B. et al. Cereal Yield Gaps Across Europe. *European Journal of Agronomy*. 2018;101:109-120. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.09.003>
20. Kalinichenko L.N., Novikova Z.S. Modern Africa on the way to innovation technology development. *Asia and Africa Today*. 2017;(9(722)):48-55. (In Russ.)

Сведения об авторе

Нина Германовна Гаврилова, младший научный сотрудник Центра изучения проблем переходной экономики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт Африки Российской академии наук» (Институт Африки РАН); 123001, Российская Федерация, г. Москва, ул. Спиридоновка, 30/1; e-mail: Ninagavrilova1976@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0176-7804>

Information about the author:

Nina G. Gavrilova, Junior Research Associate at the Center for Transition Economy Studies, Institute of African Studies of the Russian Academy of Sciences; 30/1 Spiridonovka St., Moscow, 123001, Russian Federation; e-mail: Ninagavrilova1976@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0176-7804>

ЭКОНОМИКА

**Методика расчета диверсификации нетрадиционных видов
сельскохозяйственной и альтернативной деятельности в сельской местности**

Людмила Владимировна Евграфова[✉], Наталья Анатольевна Сергеева

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉] **Автор, ответственный за переписку:** lyudmilaevgrafova@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье идентифицированы ключевые детерминанты, влияющие на успешность диверсификационных процессов в аграрной экономике России, среди которых выделяются институциональные условия, доступ к инфраструктуре и уровень человеческого капитала. Сравнительный анализ методологических подходов к классификации сельских территорий позволил выделить параметры, формирующие их социально-экономический профиль. На основе синтеза экономических, экологических и демографических индикаторов разработана оригинальная типология субъектов Федерации, учитывающая специфику межотраслевых взаимодействий. Применение методов межотраслевого баланса, в частности, статистических таблиц «Затраты-выпуск», обеспечило количественную оценку технологических коэффициентов промежуточного потребления для 33 регионов страны. Методический аппарат, представленный в статье, базируется на расчете доли каждого вида продукции в структуре промежуточного потребления, что позволяет определить косвенное влияние смежных отраслей на развитие туристического кластера в конкретной местности. Апробация подхода на данных заявочной документации гранта «Агротуризм» Республики Бурятия за 2022 год продемонстрировала возможность прогнозирования мультипликативного эффекта с горизонтом планирования до 2030 года. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что каждый рубль государственных инвестиций в инфраструктуру сельского туризма генерирует 2,3 рубля добавленной стоимости в сопряженных секторах экономики. Интеграция полученных данных в авторскую типологизацию сельских территорий выявила 4 кластера, различающихся по потенциалу диверсификации: от агроиндустриальных хабов с высоким мультипликативным эффектом до депрессивных зон, требующих целевой поддержки. Предложенная классификация служит основой для формирования дифференцированных мер государственной политики, направленных на сокращение межрегиональных диспропорций и активизацию эндогенных факторов роста. Применение кросс-регионального анализа подтвердило гипотезу о положительной корреляции между уровнем диверсификации и динамикой внутреннего регионального продукта. В перспективе разработанный методический инструментарий может быть адаптирован для проектирования цифровых моделей, прогнозирующих долгосрочные эффекты от внедрения инновационных практик в аграрном секторе.

Ключевые слова

Поступательный рост уровня благосостояния, аграрное население, многоотраслевая трансформация сельскохозяйственной деятельности, полисекторное развитие сельских территорий, типологическая классификация сельской местности, мультипликативный эффект аграрного туризма

Для цитирования

Евграфова Л.В., Сергеева Н.А. Методика расчета диверсификации нетрадиционных видов сельскохозяйственной и альтернативной деятельности в сельской местности // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 208–230.

ECONOMICS

Methodology for calculating the diversification of non-traditional agricultural and alternative activities in rural areas

Lyudmila V. Evgrafova[✉], Natalia A. Sergeeva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]Corresponding author: lyudmilaevgrafova@yandex.ru

Abstract

This study identifies key determinants of successful diversification processes within the Russian agrarian economy, emphasizing the significance of institutional frameworks, infrastructure access, and human capital levels. A comparative analysis of methodological approaches to the classification of rural territories facilitates the delineation of parameters shaping their socio-economic profiles. Leveraging a synthesis of economic, environmental, and demographic indicators, we develop an original typology of Federation subjects, accounting for the nuances of inter-industry linkages. Applying input-output analysis, specifically utilizing statistical “Input-Output” tables, enables a quantitative assessment of technological coefficients for intermediate consumption across 33 regions. The methodological framework presented herein is predicated on calculating the proportion of each product type within the structure of intermediate consumption, enabling the quantification of indirect impacts from related industries on the development of tourism clusters within specific localities. Empirical validation of this approach, utilizing application documentation from the “Agritourism” grant program in the Republic of Buryatia for 2022, demonstrates the capacity to forecast multiplicative effects with a planning horizon extending to 2030. Results from the calculations indicate that each ruble of public investment in rural tourism infrastructure generates 2.3 rubles of value added within associated economic sectors. Integrating these findings into the authors’ typology of rural territories reveals four distinct clusters, characterized by differing diversification potential: ranging from agro-industrial hubs with high multiplicative effects to economically depressed zones necessitating targeted interventions. The proposed classification underpins the formulation of differentiated state policy measures designed to mitigate interregional disparities and stimulate endogenous growth drivers. Cross-regional analysis supports the hypothesis of a positive correlation between the degree of diversification and the dynamics of regional gross domestic product. The developed methodological toolkit holds potential for future adaptation in the design of digital models, facilitating the prediction of long-term impacts resulting from the adoption of innovative practices within the agricultural sector.

Keywords

Progressive growth in the standard of living, agrarian population, multi-sectoral transformation of agricultural activities, multi-sectoral rural development, typological classification of rural areas, multiplicative effect of agritourism

For citation

Evgrafova L.V., Sergeeva N.A. Methodology for calculating the diversification of non-traditional agricultural and alternative activities in rural areas. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 208–230.

Введение Introduction

Приоритетной задачей социально-экономической политики становится достижение устойчивой динамики повышения уровня жизни сельского населения при одновременном сокращении межрегиональных диспропорций в развитии аграрных территорий. Устранение факторов, порождающих структурное неравенство между сельскими районами, требует внедрения комплексных мер пространственного регулирования.

Диверсификация экономических практик в аграрном секторе предусматривает поиск альтернативных форм хозяйствования включая переработку сельхозпродукции, возобновляемую энергетику и агротуристические кластеры. Данное направление трансформации способствует формированию устойчивой модели развития, снижающей зависимость от основного вида производства. Для количественной оценки уровня территориальной дифференциации в настоящее время используется комплекс таких методов, как анализ структурных сдвигов, расчет коэффициентов концентрации Херфиндаля-Хиршмана.

Современные подходы к типологизации сельских территорий напрямую связаны с попытками определения уровня диверсификации нетрадиционных видов сельскохозяйственной и альтернативной деятельности. К альтернативной деятельности можно отнести такие виды, как развитие местных ремесел, агротуризма, торгово-ярмочной деятельности, энергосберегающих производств, открытие информационных центров и т.д. Все эти альтернативные виды деятельности влияют на общий мультипликативный эффект инвестиций в различные проекты и гранты. В свою очередь, именно уровень мультипликативного эффекта может являться базисом для группировки и типологизации сельских территорий, что крайне необходимо с целью выработки общих подходов и инструментов, направленных на социально-экономическое развитие той или иной сельской территории.

Цель исследований: анализ существующих систем классификации сельских территорий с целью их группировки и поиска способов диверсификации сельского производства однородных субъектов РФ.

Методика исследований Research method

Диверсификация экономических моделей в сельской местности (табл. 1) определяется ресурсным потенциалом и производственными возможностями конкретных территорий. Существующие диспропорции в уровне социально-экономического развития регионов обуславливают необходимость дифференцированного подхода к планированию. Методология формирования стратегий должна базироваться на классификации сельских районов через призму их уникальных характеристик включая природно-климатические условия и инфраструктурную обеспеченность. Классификация сельских территорий по социально-экономическим параметрам позволяет разрабатывать целевые программы развития, учитывающие специфику конкретных сельских территорий. Представленная в статье методика исследований была апробирована в течение трех лет – с 2022 по 2025 гг.

Подходы к типологизации сельских территорий. Критерии типологизации сельских территорий включают в себя широкий спектр признаков: природно-агрономические зоны, историко-экономические особенности, структуру расселения, уровень урбанизации, степень освоенности, отраслевую специализацию, баланс трудовых ресурсов, инвестиционный потенциал, демографическую динамику, половозрастной состав населения, состояние инфраструктуры и уровень экономического развития муниципальных образований.

Направления диверсификации на сельских территориях

Table 1

Diversification trends in rural areas

Направления диверсификации	
Сельскохозяйственная деятельность	Несельскохозяйственная деятельность
– производство традиционных видов сельскохозяйственной продукции (расширение ассортимента за счет традиционных видов и сортов культур, видов и пород животных); – производство нетрадиционных видов сельскохозяйственной продукции (расширение ассортимента за счет новых видов и сортов культур, видов и пород животных, органическая продукция, функциональная продукция); – производство новых видов продовольственной продукции за счет углубленной переработки сельскохозяйственной продукции, переработки отходов производства; – производство продукции (ее частей) с дополнительными выгодами для потребителей за счет упаковки, заковки, специфических условий хранения с более длительным сроком потребления, в определенных объемах специальных технологий хранения и доработки.	– развитие вспомогательных производств (автотранспортные, ремонтные услуги); – развитие подсобных производств и промыслов (ремесла, швейные цеха, производство строительных материалов, рыболовство, охота, сбор дикоросов и лекарственных трав, производство торфа и т.д.); – развитие агротуризма (рекреационного, санаторно-курортного, гастрономического и т.д.); – развитие торгово-ярмарочной деятельности (создание фирменных магазинов, реализация продукции через сеть Интернет); – развитие энергосберегающих производств (альтернативная энергетика, биотопливо); – развитие промышленных, логистических, информационных производств и центров.

Социологический подход дополняет классификацию анализом социокультурных характеристик включая этнические традиции, ментальные установки и модели потребления. Административная методология базируется на нормах Федерального закона от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Согласно данному документу (ст. 11, п. 5–7) муниципальные районы могут включать в себя городские поселения, тогда как городские округа содержат сельские населенные пункты. Установлены следующие нормативы численности: сельское поселение объединяет населенные пункты с количеством жителей свыше 1000 чел., а меньшие поселения интегрируются в состав муниципалитетов [1].

Демографический подход фокусируется на показателях плотности населения, миграционного баланса и возрастной структуры. Экономико-территориальный анализ учитывает удаленность от промышленных центров, транспортную доступность, миграцию и потенциал диверсификации экономики. Статистическая методология опирается на расчет агрегированных индексов, объединяющих частные показатели. Функциональный подход объединяет параметры производственной структуры, состояние инфраструктуры и характеристики воспроизводства трудовых ресурсов.

Сложность административной системы, регламентированной законом № 131-ФЗ, часто не соответствует современным реалиям сельского развития. Это обусловлено диссонансом между формальными критериями и актуальными социально-экономическими процессами, требующими гибких адаптивных механизмов.

А. Мерзлов и О. Пантелеева предлагают применять модифицированную методику Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР)

для классификации сельских территорий России. Ключевыми критериями в данном подходе выступают плотность населения (менее 150 чел/км²) и доля жителей, проживающих в сельских сообществах (свыше 50%) [3].

Согласно типологии ОЭСР выделяются три категории сельских территорий:

1. Экономически интегрированные районы – территории с развитой инфраструктурой, расположенные вблизи городских центров, где доля занятых в аграрном секторе минимальна, а уровень доходов населения сравнительно высок.

2. Переходные зоны – территории, специализирующиеся на товарном сельхозпроизводстве благодаря транспортной доступности и связям с городскими рынками. Для России минимальная плотность населения в таких зонах оценивается в 5 чел/км².

3. Периферийные территории – зоны с низкой плотностью населения, депопуляцией и ограниченным доступом к рынкам сбыта, что препятствует развитию коммерческого сельского хозяйства [4].

Исследователи отмечают ограничения по применению методики ОЭСР в российских условиях в связи с явными различиями между международными стандартами плотности населения и российской спецификой сельских территорий. Например, в традиционных аграрных регионах страны плотность населения часто не превышает 1–2 чел/км², что существенно ниже пороговых значений ОЭСР.

В научном сообществе набирает популярность концепция комплексного показателя плотности, объединяющего, помимо демографических параметров, такие факторы, как развитость транспортной сети, расстояние между населенными пунктами и уровень землепользования. Данный подход позволяет учитывать региональные особенности пространственной организации и более эффективно прогнозировать потенциал развития территорий.

О.М. Рой из Омского государственного университета разработал методологию классификации сельских территорий, основанную на социально-бытовых факторах [5]. В качестве ключевых критериев выделены доминирование сельскохозяйственных видов деятельности, степень автономности инфраструктуры, параметры личных подсобных хозяйств, особенности застройки и роль межличностных коммуникаций в экономических процессах. Однако субъективность оценки по указанным параметрам ограничивает их применение в качестве базовых индикаторов.

Метод Т.И. Заславской предполагает трехуровневую классификацию сельских территорий. К первой категории отнесены развивающиеся муниципалитеты с развитой инфраструктурой, расположенные вблизи транспортных артерий [6]. Вторая группа включает в себя стагнирующие территории с высоким уровнем безработицы и деградацией социальной инфраструктуры. Третью категорию составляют выморочные зоны, лишенные перспектив развития ввиду экстремальных природных условий или демографического коллапса.

А.Я. Троцкий предложил классификацию, основанную на удаленности от урбанизированных центров [7]. Система включает в себя ближнюю периферию трех порядков (в пределах агломераций), среднюю периферию двух порядков (за пределами зоны непосредственного влияния городов) и дальнюю периферию (изолированные территории). Эксперты отмечают, что данный подход сокращает функции сельских территорий до роли пригородных зон, игнорируя их производственный и культурный потенциал.

Специалисты Северо-Западного НИИ экономики и организации сельского хозяйства разработали «поселенчески-миграционную» типологию, учитывающую модели пространственной мобильности населения [8]. В классификацию включены территории с доминированием маятниковой миграции, сезонного проживания горожан, корпоративных форм сельхозпроизводства, а также заброшенные зоны. Данный

подход акцентирует внимание на взаимосвязях городских и сельских поселений, однако не учитывает экологические и культурные аспекты развития.

Сравнительный анализ представленных методик выявил тенденцию преобладания экономико-географических критериев над социокультурными факторами. Это ограничивает возможности комплексной оценки потенциала сельских территорий, требующей интеграции междисциплинарных подходов.

Академик РАН А.И. Костяев в своих работах обосновывает целесообразность применения принципа «Центр-периферия» при типологизации сельских территорий. На примере Ленинградской, Новгородской, Псковской и Вологодской областей им разработана таксономическая модель экономического пространства, выделяющая три группы районов: пригородные, средней и дальней периферии. Критерием группировки выступает удаленность от региональных центров.

Дополнением к данной методике служит теория ситуационного подхода, предполагающая анализ состояния подсистем муниципальных районов (производственной, финансовой, демографической и др.) с последующей классификацией территорий по типам ситуаций: благоприятный, нормальный, неблагоприятный, критический [9]. Такой подход позволяет учитывать комплекс факторов, влияющих на устойчивость развития.

Профессор Ю.Т. Фаринюк и научная школа Тверской ГСХА развивают «производственную» типологию, фокусируясь на индикаторах аграрного сектора: доле сельского хозяйства в ВРП (валовый региональный продукт), удельном весе сельского населения и посевных площадях [10]. Однако в современных условиях подобная методология рассматривается как вспомогательный инструмент в рамках комплексных систем оценки.

Г.Н. Никонова и Е.Н. Криулина на материалах 26 муниципалитетов Ставропольского края предложили трехуровневую систему критериев [11]:

1. Территория и население (демографические показатели, транспортная доступность, удаленность от городов).
2. Правовой статус (компетенции органов местного самоуправления, структура бюджетных доходов).
3. Хозяйственная организация (формы экономической активности).

Результатом анализа стало выделение трех типов территорий: аграрных, аграрно-индустриальных и индустриально-аграрных. Данная классификация коррелирует с положениями Стратегии устойчивого развития сельских территорий РФ до 2030 года, однако слабо учитывает динамику социально-экономических показателей, что ограничивает ее прогностический потенциал.

Критический анализ представленных подходов выявил тенденцию преобладания статических экономико-географических критериев над динамическими социально-демографическими факторами. Это актуализирует задачу разработки интегративных методик, сочетающих количественные и качественные параметры оценки.

Современные исследования акцентируют внимание на необходимости интеграции социальных стандартов в систему классификации сельских территорий. К базовым критериям таких стандартов относят модернизацию инфраструктурного комплекса, улучшение жилищно-коммунальных условий, благоустройство поселений, расширение транспортной сети, повышение доступности образования и здравоохранения, развитие культурно-досуговой и спортивной инфраструктуры, сохранение традиционных культурных практик, оптимизацию бытового обслуживания, внедрение цифровых технологий.

Т.В. Вострецова предлагает проблемно-ориентированный подход к типологии, рассматривая сельские территории как комплексные системы, объединяющие

производственные, социальные и инфраструктурные функции [12]. Невозможность реализации этих функций трактуется как ключевой вызов для устойчивого развития.

Методический аппарат исследования включает в себя факторный анализ 8 индикаторов, отражающих основные аспекты развития:

- объемы и интенсивность сельхозпроизводства;
- роль личных подсобных хозяйств в экономике;
- демографические тенденции;
- состояние рынка труда;
- структура землепользования;
- обеспеченность социальными учреждениями;
- уровень социальной освоенности территории [13].

Данные показатели позволяют выявить дисбалансы в функционировании сельских территорий и разработать адресные меры поддержки. Применение такого подхода способствует переходу от унифицированных программ к дифференцированным стратегиям, учитывающим специфику локальных условий.

Существенные различия в уровне и динамике развития сельских территорий между регионами создают системные барьеры для оптимизации территориально-отраслевого разделения труда. Это приводит к снижению эффективности социально-экономического взаимодействия, недоиспользованию природно-ресурсного потенциала (земельных, лесных, водных ресурсов) и угрозам продовольственной безопасности. Дополнительными рисками выступают социальная дестабилизация, рост миграционного оттока и сокращение сети сельских поселений.

В контексте обозначенных вызовов актуализируется задача совершенствования агротерриториальной политики через разработку комплексной типологии, основанной на сравнительном анализе показателей состояния сельских территорий. Ученые Ульяновской области выделяют три ключевых компонента экономического потенциала, определяющих региональную дифференциацию:

- Трудовой потенциал, оцениваемый через показатели нагрузки сельхозугодий на работника, энерговооруженность труда и уровень заработной платы.
- Ресурсный потенциал, рассчитываемый на 100 га угодий и включающий в себя объем основных средств, энергомощности, объемы целевого финансирования и стоимость валовой продукции.
- Инвестиционный потенциал, отражающий доступность капитала для модернизации производственных систем.

Проведенный анализ позволил авторам обосновать необходимость приоритетной поддержки депрессивных сельских территорий, где наблюдается критическое снижение всех компонентов экономического потенциала. Данный вывод согласуется с положениями Стратегии развития сельских территорий, акцентирующей важность сокращения межрегиональных диспропорций.

Объединение предложенных индикаторов в систему мониторинга позволит корректировать государственные программы поддержки с учетом специфики территориальных кластеров. Особое значение приобретает разработка механизмов перераспределения ресурсов между регионами с высоким и низким потенциалом развития, что способно обеспечить синергетический эффект для национальной аграрной системы в целом.

Систематизация критериев для комплексной типологизации сельских территорий находит отражение в работах А.Ю. Павлова и А.А. Кудрявцева, предлагающих пятиуровневую систему оценки. Первая группа показателей охватывает экономические аспекты: кадастровую стоимость земель, объемы инвестиций в основной капитал, бюджетную обеспеченность, динамику сельхозпроизводства, уровень заработной

платы и безработицы. Вторая группа фокусируется на социальной инфраструктуре, включая в себя доступность спортивных сооружений, жилищного фонда, дошкольных и школьных учреждений, медицинских услуг [14].

Третья группа объединяет параметры инженерной инфраструктуры: протяженность дорожной сети, тепловых, водопроводных и канализационных коммуникаций, количество объектов бытового обслуживания. Четвертый блок анализирует сферу торговли и общепита через показатели площади торговых залов, числа розничных точек, мест на рынках и в заведениях общественного питания, объемов товарооборота. Пятая группа оценивает экологическое благополучие, учитывая затраты на охрану окружающей среды и уровень антропогенной нагрузки на территорию и население.

Гибкость предложенной системы позволяет адаптировать набор индикаторов в зависимости от масштаба исследования: от национального уровня до отдельных муниципалитетов. Это обеспечивает универсальность методологии при сохранении возможности фокусировки на специфических региональных особенностях. Интеграция экологических параметров отличает данный подход от традиционных экономико-географических моделей, расширяя аналитический охват.

Критический анализ методики выявил ее потенциал для разработки адресных программ развития, однако возник вопрос об оценке коэффициентов и показателей. Дальнейшие исследования могут быть направлены на поиск алгоритма расчета индексов с учетом региональной специфики ресурсного потенциала и институциональных условий.

М.С. Газизов из Красноярского государственного аграрного университета разработал методику классификации сельских территорий, основанную на расчете интегрального показателя уровня развития. Апробация метода проведена на примере муниципальных образований Красноярского края, что позволило выделить типические группы с учетом региональных особенностей [15]. Интегральный индикатор объединяет три составляющие: социальную, экономическую и экологическую, каждая из которых структурируется в иерархию отраслевых индикаторов и ключевых показателей. Оценка дифференциации осуществляется через расчет показателей, отражающих отклонение текущего состояния развития территории от предполагаемого оптимального.

Н.В. Логанцова предложила альтернативный подход, основанный на оценке социально-экономической безопасности сельских территорий [16]. В основе методологии лежит анализ 46 статистических показателей, охватывающих демографические тенденции, объемы сельхозпроизводства, обеспеченность ресурсами и состояние инфраструктуры. Исследование охватило динамику Вологодской области за 1991–2011 гг., выявив корреляцию между уровнем безопасности и такими параметрами, как миграционный баланс, поголовье скота и доступность медицинских услуг.

Ключевые группы показателей включают в себя: демографические данные (численность населения, возрастная структура, миграционные потоки); экономические индикаторы (производство сельхозпродукции на душу населения, площадь сельхозугодий); социальные параметры (уровень безработицы, обеспеченность медучреждениями). Интеграция этих данных позволила авторам выделить территории с критическим уровнем безопасности, требующие адресной государственной поддержки.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Представленная выше типология схожа с методическими разработками ФГНУ ФНЦ ВНИИЭСХ, где на протяжении десятилетий совершенствуется система

типологизации сельских территорий по уровню социально-экономического развития. Методология сочетает сравнительно-статистический анализ, что позволяет учитывать как текущее, так и прогнозное состояние.

Ключевой особенностью подхода выступает дифференциация территорий на основе оценки их текущего состояния и выявления факторов развития. Группировка осуществляется в соответствии с административно-территориальным делением РФ, что обеспечивает сопоставимость данных на межрегиональном уровне. Признаком однородности субъектов может служить как социальное, экономическое, так и экологическое состояние сельской территории. Результатом применения методики становится ранжирование субъектов Федерации по интегральному индексу развития, позволяющее выделить типы территорий с учетом их позиции в общероссийском рейтинге (табл. 2).

К категории относительно благополучных были отнесены 29 регионов, что составляет 35,8% от общего числа субъектов Российской Федерации (за исключением Республики Крым). Аналогичное количество регионов входит в группу наиболее неблагополучных субъектов.

Методика расчета уровня диверсификации нетрадиционных видов сельскохозяйственной и альтернативной деятельности в сельской местности. В предыдущих работах была доказана эффективность применения метода международных статистических таблиц «Затраты-выпуск» для расчета мультипликативных эффектов сельского туризма на смежные отрасли [17]. В текущих условиях агротуризм выступает ключевым направлением диверсификации экономики сельских территорий, способствуя развитию альтернативных видов деятельности.

Таблица 2

**Типология субъектов Федерации по уровню
социо-экономико-экологического развития сельских территорий**

Table 2

**Typology of Federation subjects by the level
of socio-economic-ecological development of rural areas**

Субъекты Российской Федерации	Типы территорий
Курская область	Высокоразвитые прогрессирующие (9 регионов / 11,1%)
Калужская область	
Орловская область	
Республика Адыгея	
Республика Башкортостан	
Ростовская область	
Воронежская область	
Тамбовская область	
Самарская область	

Субъекты Российской Федерации	Типы территорий
Ленинградская область	Высокоразвитые стагнирующие (2 региона / 2,5%)
Липецкая область	
Белгородская область	Высокоразвитые регрессирующие (3 региона / 3,7%)
Брянская область	
Республика Татарстан	
Камчатский край	Среднеразвитые прогрессирующие (15 регионов / 18,5%)
Сахалинская область	
Архангельская область	
Рязанская область	
Чувашская Республика	
Хабаровский край	
Волгоградская область	
Нижегородская область	
Амурская область	
Ямало-Ненецкий АО	
Иркутская область	
Удмуртская Республика	
Республика Мордовия	
Пензенская область	
Омская область	
Мурманская область	Среднеразвитые стагнирующие (5 регионов / 6,2%)
Тульская область	
Челябинская область	
Республика Алтай	
Оренбургская область	

Субъекты Российской Федерации	Типы территорий
Ставропольский край	Среднеразвитые регрессирующие (5 регионов / 6,2%)
Московская область	
Краснодарский край	
Тюменская область	
Республика Крым	
Республика Дагестан	Низкоразвитые прогрессирующие (12 регионов / 14,8%)
Чеченская Республика	
Пермский край	
Саратовская область	
Смоленская область	
Республика Хакасия	
Кировская область	
Тверская область	
Владимирская область	
Кабардино-Балкарская Республика	
Алтайский край	
Республика Карелия	
Ивановская область	Низкоразвитые стагнирующие (5 регионов / 6,2%)
Приморский край	
Еврейская АО	
Вологодская область	
Республика Коми	
Ярославская область	Низкоразвитые регрессирующие (18 регионов / 22,2%)
Новосибирская область	

Субъекты Российской Федерации	Типы территорий
Свердловская область	
Карачаево-Черкесская Республика	
Томская область	
Курганская область	
Кемеровская область	
Калининградская область	
Астраханская область	
Республика Северная Осетия	
Республика Саха (Якутия)	
Республика Калмыкия	
Ненецкий АО	
Чукотский АО	
Республика Тыва	
Красноярский край	
Республика Марий Эл	
Ханты-Мансийский АО – Югра	
Ульяновская область	Депрессивные прогрессирующие (2 региона / 2,5%)
Республика Бурятия	
Псковская область	Депрессивные стагнирующие (2 региона / 2,5%)
Магаданская область	
Костромская область	Депрессивные регрессирующие (4 региона / 4,9%)
Забайкальский край	
Республика Ингушетия	
Новгородская область	

Анализ существующих подходов к типологизации сельских территорий выявил преобладание методов, сфокусированных на оценке социально-экономических последствий внедрения нетрадиционных практик. В противовес этому предлагается использование таблиц «Затраты-выпуск», позволяющих количественно оценить инвестиционную привлекательность туристической инфраструктуры и оптимизировать распределение бюджетных средств.

Методика базируется на анализе статистических данных о потреблении домохозяйств и структуре расходов в региональном разрезе. Это обеспечивает оценку трех компонентов воздействия:

- прямого эффекта – непосредственного вклада туристической деятельности в ВРП;
- косвенного эффекта – влияния на смежные отрасли через цепочки промежуточного потребления;
- вынужденного эффекта – изменений в потребительских расходах занятого в секторе населения.

Модель «Затраты-выпуск» не учитывает финансовые потоки между экономическими агентами включая налоговые отчисления и страховые платежи. Совокупный вклад сельского туризма в региональную экономику определяется как сумма прямого, косвенного и вынужденного эффектов, каждый из которых структурирован по четырем группам показателей: экономическим, социальным, бюджетным и натуральным.

Косвенный эффект рассчитывается на основе таблиц «Затраты-выпуск» (последняя версия Росстата – январь 2020 г.). Алгоритм включает в себя:

1. Идентификацию подкласса отрасли «Сельский туризм» в классификаторе видов экономической деятельности.
2. Определение перечня товаров и услуг, связанных с данным подклассом.
3. Расчет структуры промежуточного потребления и технологических коэффициентов по субъектам Федерации.

Доля каждого вида продукции в объеме промежуточного потребления позволяет количественно оценить вклад поставщиков туристической отрасли в конкретной местности. Например, в Республике Бурятия апробация данной методики показала, что 1 рубль инвестиций в агротуризм генерирует 2,3 рубля добавленной стоимости в сопряженных секторах.

Преимущество подхода заключается в возможности прогнозирования долгосрочных эффектов при изменении параметров инвестиционной политики. Это создает основу для разработки адресных программ поддержки, минимизирующих риски недофинансирования ключевых инфраструктурных проектов.

Расчет совокупного воздействия агротуристической деятельности на социально-экономические показатели региона выполнен для горизонта планирования до 2030 года. Методика предполагает учет трех компонентов: прямого, косвенного и вынужденного эффектов. В качестве объекта анализа выбран субъект Российской Федерации – Республика Бурятия (табл. 3), где реализуются проекты в рамках грантовой программы «Агротуризм».

Прямой эффект включает в себя экономические индикаторы: объем выпуска товаров и услуг на целевой территории (млн руб.) и созданную добавленную стоимость (млн руб.). Социальная составляющая выражена численностью занятых в туристическом секторе (чел/год).

Косвенный эффект оценивается через выпуск поставщиков, обеспечивающих функционирование туристических проектов, и объем инвестиций

в инфраструктуру (млн руб.). Социальный аспект представлен количеством косвенно занятых в смежных отраслях (чел/год).

Вынужденный эффект рассчитан как объем потребления занятого населения за вычетом межрегионального импорта (млн руб.). Данный показатель отражает рост внутреннего спроса, стимулируемый доходами работников туристической сферы.

Для апробации методики использованы данные заявочной документации 2022 г. по проектам этноагрофермы «Алтан» (специализация – птицеводство, туристические маршруты к буддийским центрам) и КФХ Баргузинской долины (мясное скотоводство, экскурсии к историческим памятникам) (табл. 3–5).

Предложенную выше методику расчета социально-экономического эффекта сельского туризма далее мы применили для расчета окупаемости государственных затрат в части внутреннего регионального продукта. Для анализа использовали 33 субъекта РФ. На основе полученных данных предлагаем авторскую типологизацию сельских территорий с учетом мультипликативного эффекта диверсификации отраслей АПК на сельских территориях (табл. 6).

Таблица 3

**Плановые инвестиции в проекты гранта «Агротуризм»
в Республике Бурятия**

Table 3

**Planned investments in Agrotourism grant projects
in the Republic of Buryatia**

Инвестиции	Итого за весь период	Период												
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Государственные инвестиции в проект, тыс. руб.	5100	1700			1700			1700						
Частные инвестиции в проект, тыс. руб.	5100		1700			1700								1700
В том числе: – здания и сооружения	75%	1275	1275	0	1275	1275	0	1275	0	0	0	0	0	1275
– машины и оборудование	15%	255	255	0	255	255	0	255	0	0	0	0	0	255
– инженерные и прочие профессиональные услуги	10%	170	170	0	170	170	0	170	0	0	0	0	0	170

Таблица 4

Плановые инвестиции в проекты гранта «Агротуризм» в Республике Бурятия

Table 4

Planned investments in Agrotourism grant projects in the Republic of Buryatia

Показатели	Ед. изм.	Период											
		Итого за весь период	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Операционные показатели проекта													
Выручка проекта без НДС и акцизов с учетом субсидий на текущую деятельность	тыс. руб.	138 000			4200	4200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200
Субсидии на текущую деятельность	тыс. руб.	120			20	20	20	20	20	20			
Оплата труда постоянного персонала за вычетом налогов и обязательных отчислений	тыс. руб.	20 700			630	630	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
Оплата труда временного персонала за вычетом налогов и обязательных отчислений	тыс. руб.	20 700			630	630	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
Операционная прибыль проекта	тыс. руб.	41 400			1 260	1260	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160
Расходы на ремонт основных средств	тыс. руб.	4 140			126	126	126	126	126	126	126	126	126
Показатели занятости													
Количество постоянного персонала	чел.				2	3	3	3	3	3	3	3	3

Показатели	Ед. изм.	Период													
		Итого за весь период	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Средняя ставка временного персонала	тыс. руб. в месяц на 1 чел.				25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Полная занятость					2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	
Уплаченные налоги и обязательные платежи															
Налог на прибыль (если проект на ОСНО)	тыс. руб.	1 380			42	42	72	72	72	72	72	72	72	72	
Единый налог (если проект на УСН, ЕНВД, Патент)	тыс. руб.														
Отчисления на обязательное социальное страхование	тыс. руб.	20 589			627	627	1074	1074	1074	1074	1074	1074	1074	1074	
Отчисления налога на само-занятых	тыс. руб.														
Уплата налога на доходы физических лиц	тыс. руб.	6 186			188	188	323	323	323	323	323	323	323	323	
Налог на имущество	тыс. руб.	2 244			112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	
Налог на землю	тыс. руб.														
НДС и акцизы, уплаченные в бюджет (если проект на ОСНО)	тыс. руб.	15 732			479	479	821	821	821	821	821	821	821	821	

Оценка социально-экономических эффектов от реализации нетрадиционных видов сельскохозяйственной и альтернативной деятельности на сельской территории

Table 5

Assessment of socio-economic effects resulting from the implementation of non-traditional agricultural and alternative activities in rural areas

[illegible]

Прямые социально-экономические эффекты		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Вынужденные социально-экономические эффекты		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Потребление прямо и косвенно трудоустроенного населения, очищенное от импорта и ввоза из прочих регионов	млн руб.	0,03	0,03	0,06	0,07	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Итоговый расчет вклада в ВРП (метод использования)		0,78	0,78	2,84	3,20	5,23	4,87	5,23	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87
Прямой вклад	млн руб.	0,00	0,00	2,39	2,39	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
Косвенный вклад	млн руб.	0,75	0,75	0,39	0,73	1,01	0,67	1,01	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Вынужденный эффект	млн руб.	0,03	0,03	0,06	0,07	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Итоговый вклад в занятость региона		2,00	2,00	5,00	5,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Прямое трудоустройство	чел.	0,00	0,00	4,00	4,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Косвенно трудоустроенное население	чел.	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**Типологизация сельских территорий на основе
мультипликативного эффекта диверсификации отраслей АПК**

Table 6

**Typologization of rural areas based on the multiplicative effect
of diversification of agribusiness industries**

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Рублей итогового вклада в ВРП на 1 руб. государственных затрат
<i>Высокий уровень диверсификации</i>		
1	Московская область	1,3
2	Краснодарский край	1,3
3	Ленинградская область	1,2
4	Республика Татарстан	1,2
5	Хабаровский край	1,2
<i>Средний уровень диверсификации</i>		
6	Волгоградская область	1,1
7	Калужская область	1,1
8	Республика Башкортостан	1,1
9	Воронежская область	1,1
10	Волгоградская область	1,1
11	Республика Карелия	1,1
12	Приморский край	1,1
13	Ярославская область	1,1
14	Свердловская область	1,1
<i>Низкий уровень диверсификации</i>		
15	Самарская область	1,0
16	Камчатский край	1,0
17	Сахалинская область	1,0
18	Рязанская область	1,0
19	Иркутская область	1,0
20	Мурманская область	1,0

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Рублей итогового вклада в ВРП на 1 руб. государственных затрат
21	Тульская область	1,0
22	Челябинская область	1,0
23	Оренбургская область	1,0
24	Смоленская область	1,0
25	Республика Хакасия	1,0
26	Алтайский край	1,0
27	Кемеровская область	1,0
28	Республика Калмыкия	1,0
29	Новгородская область	1,0
<i>Отрицательный уровень диверсификации</i>		
30	Республика Коми	0,9
31	Республика Саха (Якутия)	0,9
32	Красноярский край	0.9
33	Ульяновская область	0.9

Выводы Conclusions

Актуальной является необходимость трансформации подходов к развитию сельских территорий, обеспечивающей их устойчивый прогресс и реализацию системообразующих функций в национальной экономике. Интегральным элементом новой парадигмы должны стать механизмы государственной поддержки, направленные на преодоление диспропорций в экономическом, социальном и экологическом развитии регионов.

Разработанная классификация сельских территорий, основанная на синтезе экономико-статистических и социокультурных критериев, служит научной основой для формирования адресных программ. Применение данной типологии позволяет оптимизировать распределение ресурсов, фокусируясь на активизации эндогенного потенциала территорий и сокращении межрегиональных различий.

Реализация предложенного подхода способствует созданию условий для синергии между традиционными формами хозяйствования и инновационными практиками. Это обеспечивает не только рост экономических показателей, но и укрепление социальной стабильности через снижение миграционного оттока и повышение качества жизни сельского населения.

Список источников

1. Евграфова Л.В. Методологические подходы к оценке мультипликативного эффекта туризма в экономике // *Сервис в России и за рубежом*. 2022. Т. 16, № 5/102. С. 11–20. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7393825>
2. Егоров Д.О., Шурупина В.С. Сельское расселение России: типология территорий по людности сельских населенных пунктов // *Региональные исследования*. 2018. № 4 (62). С. 4–16. EDN: OVVOHF
3. Мерзлов А.В., Пантелеева О.И. Применение методики ОЭСР для типологии сельских территорий в России // *АПК: экономика, управление*. 2010. № 5. С. 83–88. EDN: MNKPFJ
4. Балашова Н.Н., Коробейников Д.А., Попова С.А. Типология сельских территорий по уровню развития социальной инфраструктуры // *Вестник Челябинского государственного университета*. 2020. № 10 (444). С. 28–39. <https://doi.org/0.47475/1994-2796-2020-11004>
5. Рой О.М. Государственная политика в сфере безопасности: выбор приоритетов // *Антиномии*. 2023. Т. 23, № 1. С. 107–122. https://doi.org/10.17506/26867206_2023_23_1_107
6. Заславская Т.И., Мучник И.Б. *Социально-демографическое развитие села: Региональный анализ*. Москва: Статистика, 1980. 343 с.
7. Сергиенко А.М., Троцкий А.Я. Кооперационно-сетевые взаимодействия предприятий в контексте социально-экономического развития региона // *Проблемы развития территории*. 2023. Т. 27, № 6. С. 64–82. <https://doi.org/10.15838/ptd.2023.6.128.5>
8. Попова С.А., Коробейников Д.А., Колпакова Е.А. Разработка типологии сельских территорий Российской Федерации, учитывающей дифференцированный подход в части плотности населения (методические подходы) // *Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях»*. Волгоград, 10-12 февраля 2021 г. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. Т. IV. С. 170–174. EDN: VGBJJE
9. Костяев А.И. К вопросу о научных основах разработки стратегий развития сельских территорий // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21, № 4. С. 462–474. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474>
10. Фаринюк Ю.Т., Егорова Е.В. Типология регионов Нечерноземной зоны России по уровню развития сельского хозяйства // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2015. № 1 (22). С. 35–38. EDN: TQVJQD
11. Костяев А.И., Никонова Г.Н., Криулина Е.Н. Институциональная среда в сельской местности: проблемы формирования и оценка ее результативности // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 58. С. 7–14. EDN: WHWJMR
12. Вострецова Т.В. Типология сельских территорий: методика и возможности применения // *Никоновские чтения*. 2010. № 15. С. 275–277. EDN: ОСРЕСР
13. Ильин В.А., Ускова Т.В., Лукин Е.В., Кожевников С.А. *Анализ и моделирование экономики на основе межотраслевого баланса*: Монография. Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН, 2017. 158 с.
14. Павлов А.Ю., Кудрявцев А.А. Экономические приоритеты как основа обеспечения устойчивого развития сельских территорий // *Фундаментальные исследования*. 2019. № 12-1. С. 142–146. <https://doi.org/10.17513/fr.42637>
15. Газизов Р.М. Устойчивое развитие сельских территорий: метод оценки и типологизации (на примере Красноярского края) // *Актуальные проблемы экономики и права*. 2014. № 3. С. 34–42. EDN: SMHGRT

16. Логанцова Н.В. Методика типологизации сельских территорий по уровню социально-экономической безопасности // *Экономика сельского хозяйства России*. 2013. № 9. С. 63–69. EDN: RRUJVP

17. Evgrafova L.V., Sergeeva N.A., Ismailova I.Z., Eremin V.I. et al. Assessing the functional efficiency of tourist and recreational clusters in the regions of Russia. *2nd International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech 2021. Krasnoyarsk, July 29-31, 2021*. AIP Publishing, 2022;2467:070011. <https://doi.org/10.1063/5.0092777>

References

1. Evgrafova L.V. Methodological approaches to assessing the multiplicative effect of tourism in the economy. *Services in Russia and Abroad*. 2022;16(5/102):11-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.7393825>

2. Egorov D.O., Shurupina V.S. Rural settlement system of Russia: typology of territories by rural settlements population. *Regionalnye issledovaniya*. 2018;4(62):4-16. (In Russ.)

3. Merzlov A.V., Panteleeva O.I. Application of the OECD methodology for the typology of rural areas in Russia. *AIC: Economics, Management*. 2010;(5):83-88. (In Russ.)

4. Balashova N.N., Korobeynikov D.A., Popova S.A. Typology of rural territories by level of social infrastructure development. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2020(10(444)):28-39. (In Russ.) <https://doi.org/0.47475/1994-2796-2020-11004>

5. Roy O. National security policy: priority-setting. *Antinomies*. 2023;23(1):107-122. (In Russ.) https://doi.org/10.17506/26867206_2023_23_1_107

6. Zaslavskaya T.I., Muchnik I.B. *Social and demographic development of the village: Regional analysis*. Moscow, USSR: Statistika, 1980:343. (In Russ.)

7. Sergienko A.M., Trotskovsky A.Ya. Cooperative-network interactions of enterprises in the context of regional socio-economic development. *Problems of Territory's Development*. 2023;27(6):64-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.15838/ptd.2023.6.128.5>

8. Popova S.A., Korobeynikov D.A., Kolpakova E.A. Development of a typology of rural areas of the Russian Federation, taking into account a differentiated approach in terms of population density (methodological approaches). *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh'*. February 10-12, 2021. Volgograd, Russia: Volgograd State Agrarian University, 2021; IV:170-174. (In Russ.)

9. Kostyaev A.I. On the scientific basis for developing rural development strategies. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(4):462-474. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474>

10. Farinyuk Yu.T., Egorova E.V. Typology of regions of the Non-Black Earth Zone of Russia by the level of agricultural development. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2015;(1(22)):35-38. (In Russ.)

11. Kostyaev A.I., Nikonova G.N., Kriulina E.N. Institutional environment in rural areas: problems of formation and evaluation of its effectiveness. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;(58):7-14. (In Russ.)

12. Vostretsova T.V. Typology of rural areas: methodology and application possibilities. *Nikonovskie chteniya*. 2010;(15):275-277. (In Russ.)

13. Il'in V.A., Uskova T.V., Lukin E.V., Kozhevnikov S.A. *Analysis and modeling of the economy based on the input-output balance: a monograph*. Vologda, Russia: Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2017:158. (In Russ.)

14. Pavlov A.Yu., Kudryavtsev A.A. Economic priorities as the basis for sustainable development of rural territories. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2019;(12-1):142-146. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/fr.42637>
15. Gazizov R.M. Stable development of rural territories: method of estimation and typologization (on the example of Krasnoyarsk Region). *Actual Problems of Economics and Law*. 2014;(3):34-42. (In Russ.)
16. Logantsova N.V. Methods typology of rural areas in terms of socio-economic security. *Economics of Agriculture of Russia*. 2013;(9):63-69. (In Russ.)
17. Evgrafova L.V., Sergeeva N.A., Ismailova I.Z., Eremin V.I. et al. Assessing the functional efficiency of tourist and recreational clusters in the regions of Russia. *2nd International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech 2021. Krasnoyarsk, July 29-31, 2021*. AIP Publishing, 2022;2467:070011. <https://doi.org/10.1063/5.0092777>

Сведения об авторах

Людмила Владимировна Евграфова, канд. экон. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой связей с общественностью, речевой коммуникации и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lyudmilaevgrafova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2903-7782>

Наталья Анатольевна Сергеева, старший преподаватель кафедры иностранных и русского языков, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: sergeeva_nat@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>

Information about the authors

Lyudmila V. Evgrafova, CSc (Econ), Associate Professor, Acting Head of the Department of State and Municipal Management and Tourism, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: lyudmilaevgrafova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2903-7782>

Natalia A. Sergeeva, Senior Lecturer at the Department of Russian and Foreign Languages, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: sergeeva_nat@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>

ЭКОНОМИКА

**Мотивационная составляющая
повышения эффективности труда сельских старост**

Зоя Александровна Капелюк¹, Мадинат Юнускадиевна Джамалудинова²✉

¹ Сибирский университет потребительской кооперации, Новосибирск, Россия

² Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** madina0880@mail.ru

Аннотация

Статья содержит результаты исследований проблемы мотивационной составляющей сельских старост на фоне необходимости повышения эффективности их труда. Авторы рассматривают профильное законодательство в контексте возможных правовых компонентов для защиты статуса сельских старост экономическими инструментами. В процессе изучения проблемы мотивационной составляющей выявлено, что до сих пор остается спорным статус сельского старосты как работника и объекта трудовых отношений. Данный аспект выступает препятствием для разработки мотивационной составляющей при попытках субъектов государства найти экономические рычаги решения обозначенной проблемы на уровне региона. Изучение авторами научных трудов, затрагивающих статус и мотивационную составляющую сельских старост, подтвердило предположение об отсутствии решений, которые могли бы обеспечить мотивационную составляющую сельских старост и внести более конкретные формулировки в предмет их профессиональной деятельности на определенной территории. Авторы обобщили нормативную базу, практический опыт, научные изыскания и предложили решение по формированию мотивационной составляющей сельских старост при помощи условного разделения финансовых выплат таким представителям сельских территорий, которые одновременно закрепляют их статус в качестве объектов трудовых отношений и мотивируют на достижение благоприятных социально-экономических результатов. С учетом механизма формирования бюджетов разных уровней в соответствии с законодательством предлагаемое решение в случае положительной апробации может быть распространено во всех сельских населенных пунктах. Предлагаемое решение привносит значительный смысл в мотивационную составляющую сельских старост, статус которых закрепляется не только полномочиями, но и социально-экономическими преобразованиями. При этом финансовая сторона мотивационной составляющей учитывает механизм формирования бюджета на разных уровнях.

Ключевые слова

Мотивационная составляющая, сельский староста, сельский населенный пункт, местный бюджет, муниципальное образование, рабочее место, КРП, трудовые отношения, эффективность труда, индексация пенсионного обеспечения, самоуправление, компенсация

Для цитирования

Капелюк З.А., Джамалудинова М.Ю. Мотивационная составляющая повышения эффективности труда сельских старост // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 231–239.

Motivational strategies in enhancing the labor productivity of rural elders

Zoya A. Kapelyuk¹, Madinat Yu. Dzhamaludinova^{2✉}

¹Siberian University of Consumer Cooperation, Novosibirsk, Russia

²Dagestan Daghestan State University, Makhachkala, Russia

✉Corresponding author: madina0880@mail.ru

Abstract

This article investigates the motivational challenges faced by village elders within the context of enhancing their labor productivity. The authors analyze relevant legal frameworks to identify potential legal instruments for safeguarding the status of village elders through economic incentives. The study of motivational factors reveals that the legal status of village elders, specifically whether they are considered employees and subjects of labor relations, remains a contentious issue. This uncertainty hinders the development of effective motivational strategies, impeding efforts by regional governmental entities to leverage economic levers in addressing the problem. The authors' review of scholarly literature concerning the status and motivation of village elders confirms the absence of extant solutions that effectively address motivational deficits and offer more concrete definitions of their professional responsibilities within their designated territories. Synthesizing regulatory frameworks, practical experiences, and existing research, the authors propose a solution involving the conditional allocation of financial remuneration to these representatives of rural territories. This approach simultaneously solidifies their status as subjects of labor relations and incentivizes the attainment of favorable socioeconomic outcomes. Recognizing the multi-tiered budgetary mechanisms established by legislation, the proposed solution, upon successful validation, could be implemented across all rural settlements. The proposed framework significantly enhances the motivational aspects for village elders, whose status is reinforced not only through assigned authorities but also through demonstrably positive socioeconomic transformations. Furthermore, the financial dimension of the motivational strategy explicitly accounts for the budgetary processes at different governance levels.

Keywords

Motivational strategy, village elder, rural locality, local budget, municipality, workplace, KPI, labor relations, labor productivity, pension provision indexation, self- management, compensation

For citation

Kapelyuk Z.A., Dzhamaludinova M.Yu. Motivational strategies in enhancing the labor productivity of rural elders. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 231–239.

Введение

Introduction

В соответствии с законодательством позиция сельского старосты не может рассматриваться как позиция государственного или муниципального служащего. Законодательство определяет ряд требований к гражданину, так как позиция сельского старосты является выборной должностью. Определяемые требования сопряжены с кругом вопросов и ответственностью, указывающими на то, что от сельского старосты во многом зависит социально-экономическое положение сельского населенного пункта.

Сельский староста взаимодействует с населением и органами власти, регулирует различные вопросы и содействует органам власти при проведении общественно значимых мероприятий. Оценивая роль сельского старосты, необходимо отметить, что Федеральная налоговая служба России (ФНС) считает позицию таких граждан в сельских населенных пунктах с финансовой точки зрения спорной. Законодательная коллизия, по утверждению ФНС, состоит в том, что вознаграждение сельским старостам может быть предусмотрено, однако оно не является обязательным. Государственная организация считает, что сельский староста выполняет трудовые обязанности, а значит, его деятельность относится к облагаемой базе по страховым взносам. Вне зависимости от наличия выплат сельским старостам остается важным вопрос о мотивации рассматриваемых выборных представителей, так как от качества их деятельности зависит социально-экономическое благополучие сельского населенного пункта.

Вопрос мотивации в настоящее время является актуальным, так как сельские старосты избираются в каждом населенном пункте государства. Существует предположение того, что мотивационная составляющая сельских старост должна быть экономически измеримой и стать частью гарантий и преференций, установленных для государственных и муниципальных служащих.

Цель исследований: обнаружение правовых возможностей коррекции эффективности труда сельских старост для сохранения мотивационной составляющей при обеспечении социально-экономического благополучия сельского населенного пункта.

Методика исследований

Research method

Для обнаружения обозначенных правовых возможностей необходимо выполнить следующие задачи:

- определить экономический характер положения сельских старост в настоящее время; выявить проблемные аспекты и закономерности обеспечения эффективности труда сельских старост;
- определить наиболее приемлемые правовые инструменты сохранения мотивационной составляющей за счет обеспечения сельских старост экономико-правовыми гарантиями.

В качестве методов исследований авторами были выбраны: выявление и разрешение противоречий, при помощи которых осуществляется анализ существующей законодательной базы и реализуемой практики в отношении сельских старост; синтез нормативных документов различной подчиненности, позволяющий обнаружить проблемные аспекты сохранения мотивационной составляющей сельских старост в настоящее время; абстрагирование, используемое в целях построения общей экономической действительности положения сельских старост и ее влияния на их мотивационную составляющую; конкретизация правовых возможностей экономического влияния на эффективность труда сельских старост и сохранения их мотивационной составляющей.

В качестве базы исследований выступают существующая нормативная платформа на федеральном и региональном уровнях, научные исследования по рассматриваемой проблеме, а также информация из открытых источников о реализации экономических механизмов поддержки сельских старост в целях сохранения их мотивационной составляющей.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Тесная связь сельского старосты с сельским населенным пунктом в требованиях к данной позиции, установленных ст. 27.1 Федерального закона от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ, предполагает изначальную мотивацию у гражданина заниматься решением перечня вопросов социально-экономического характера [10]. Если учитывать п. 2 указанной статьи, то сельский староста должен постоянно проживать и обладать имуществом в сельском поселении. Два обстоятельства предусматривают заметное равнодушие со стороны сельского старосты в урегулировании вопросов социально-экономического значения наилучшим образом. Вместе с тем указанная статья Закона формирует представление о том, что сельский староста не обладает гарантиями и преференциями, которые защищали бы его интересы и учитывали достигнутые результаты в процессе активной деятельности.

Становится спорным вопрос о том, является ли деятельность сельского старосты разновидностью трудовых отношений. Если такие отношения все же могут характеризоваться как трудовые, то гарантии и преференции сельского старосты неизбежно устанавливаются трудовым и иным профильным законодательством в отношении государственных и муниципальных служащих. Вместе с тем рассматриваемая статья Закона в некоторой степени противоречит законодательной возможности защиты интересов сельских старост, обозначив, что такие представители сельских населенных пунктов не являются государственными или муниципальными служащими.

Неоднозначность статьи и роли сельских старост также прослеживаются в том, что хотя такие сотрудники и не являются служащими, но в то же время обязаны в период от 2 до 5 лет соблюдать Устав муниципального образования. Ситуация, при которой сельский староста наделен обязанностями и расширенным пространством ответственности, формирует актуальный вопрос о мотивации таких представителей сельских поселений. Среди обязанностей, предусмотренных для сельских старост в п. 6 рассматриваемой статьи Закона, предусмотрена лишь одна мотивационная составляющая, которая не носит прямого экономического характера и наделяет представителей сельского поселения правом выступить с инициативой о реализации социально значимого проекта. Иные мотивационные составляющие в федеральном нормативном документе по факту отсутствуют за исключением упоминания о том, что руководство муниципального образования может предусмотреть в Уставе территории какие-либо гарантии и параметры статуса сельского старосты. Проблема заключается в том, что бюджеты сельских поселений в субъектах государства крайне неоднородны и находятся в тесной зависимости от экономического положения региона, а также разновидности доходных составляющих соответствующих бюджетов.

ФНС считает, что вопросы материального вознаграждения сельским старостам находятся в ведении исключительно местного бюджета [1]. Таким образом, ведомство устанавливает местный характер рассматриваемой проблемы, хотя ее глубина более значима при оценке общей ситуации, связанной с положением сельских старост в каждом населенном пункте, что особенно важно в субъектах государства с менее выраженными финансовыми показателями. Между Министерством финансов Российской Федерации и ФНС в настоящее время происходят дискуссии, связанные с необходимостью страховых отчислений в пользу сельских старост. ФНС рассматривает деятельность сельских старост вне характеристик трудовых

отношений, так как администрация муниципальных образований не заключает с такими сотрудниками гражданско-правовые договоры. Министерство финансов Российской Федерации в свою очередь настаивает на трудовом характере деятельности сельских старост и необходимости включения исследуемой категории граждан в перечень специалистов, в отношении которых полагается формирование базы по страховым взносам.

В попытках найти компромисс оба ведомства обнародовали письмо ФНС России от 13 августа 2020 г. № СД-11/13069@, в котором их позиция заключается в необходимости страховых отчислений в пользу сельских старост, в случае если с ними заключается какой-либо договор. Анализируемый документ не отвечает на вопрос о том, какие правовые инструменты могут служить мотивационным фактором для сельских старост вне зависимости от наличия гражданско-правового договора или иной договоренности. Обозначенный вопрос регулируется субъектами государства самостоятельно. Например, во Владимирской области в настоящее время поставлен вопрос о компенсациях сельским старостам транспортных расходов, связи и подписки областного еженедельника [8]. В данное время нормативный документ находится на стадии рассмотрения, так как на практике материальная форма поддержки сельских старост в некоторых случаях становится невозможной. Одна из причин состоит в том, что бюджеты сельских поселений могут не обладать возможностью соблюдения нормы регионального закона.

В Московской области законодательным органом рассматривается вопрос о возможности избираться сельскими старостами гражданам, которые обладают недвижимостью на территории сельского поселения и не имеют соответствующей постоянной регистрации [5]. Экономический аспект данного решения состоит в том, что многие жители сельских поселений осуществляют трудовую деятельность на предприятиях области и в связи с этим не принимают участия в социально-экономическом развитии сельского поселения, на территории которого расположена недвижимость. Попытка органов власти Московской области обеспечить доступ к функциям сельского старосты для граждан, имеющих постоянную регистрацию в другом сельском поселении или городе, указывает на критическую актуальность обеспечения самоуправления на местах.

В Ульяновской области в настоящее время прослеживается проблема, в соответствии с которой граждане, выполняющие функции сельских старост и получающие выплаты за свою деятельность, не могут рассчитывать на индексацию пенсионного обеспечения за соответствующий период [4]. Региональное законодательство рассматривает категорию сельских старост как трудоустроенных граждан и предусматривает компенсационные выплаты в качестве стимулирующих, что деструктивно отражается на размере пенсионных выплат избранных сельских старост. Таким образом, региональное законодательство приравнивает сельских старост пенсионного возраста к работающим пенсионерам.

Следует отметить, что многие субъекты государства в настоящее время обеспокоены защитой статуса сельского старосты, так как данный аспект сопряжен с мотивационной составляющей. Например, в Новосибирской области сельским старостам на законодательном уровне было предоставлено первоочередное право на прием должностными лицами муниципальных образований, а также на получение удостоверения, которое подтверждает их полномочия [7]. В Республике Дагестан в настоящее время рассматривается вопрос о техническом обеспечении деятельности сельского старосты местными бюджетами [6].

Обобщая нормативную базу и практику, необходимо констатировать фактическое отсутствие решений, закрепляющих мотивационную составляющую сельских

старост в условиях неоднородных трудовых отношений между данными гражданами и администрацией муниципальных образований.

В научном сообществе также наблюдается неоднозначное отношение к мотивационной составляющей сельских старост. В частности, коллектив авторов: А.А. Гребенникова, О.Г. Кирилук, В.В. Масляков и М.М. Мокеев – отмечает, что мотивационная составляющая базируется на личной заинтересованности сельских старост и местных жителей в благоустройстве территории [3]. Получаемые социально-значимые результаты распространяются на всех жителей сельского поселения, а значит, сельский староста как житель населенного пункта не менее заинтересован в решении определенной проблемы.

Другие авторы (С.А. Хатукай, С.А. Багова и А.А. Адамчук) справедливо отмечают, что деятельность сельских старост, как и деятельность администрации муниципального образования, должна подлежать измерению степени производительности на основе КРІ [11]. Указанные представители научного сообщества не разделяют и не объединяют статусы сельских старост и муниципальных служащих между собой, что формирует вероятность необходимости их приравнивания для оценки производительности при благоустройстве муниципальных территорий. Мысль о том, что сельские старосты приравниваются к муниципальным служащим на основе распоряжения главы муниципального образования, в соответствии с уставом, подлежит дальнейшему развитию по причине своей перспективности. Однако упомянутые авторы рассматривают производительность сельских старост в контексте фонда оплаты труда. Такой подход нивелирует возможность развития мысли о приравнивании статуса сельского старосты к статусу муниципального служащего. Тем не менее для мотивационной составляющей уравнивание статуса сельского старосты с муниципальными служащими может осуществляться на основе иных форм и инструментов поддержки, в том числе на базе гарантии перерасчета пенсионного обеспечения ретроспективно за весь период выполнения таким сотрудником функциональных обязанностей.

В работе В.К. Гираева исследуется понятие роста благосостояния и улучшения качества человеческого капитала на сельской территории [2]. Автор исходит из понятия создания рабочего места в сельской местности. Государство гарантирует выплату работодателем заработной платы, обеспечение нуждающимся прожиточного минимума и пенсионного обеспечения. Однако все указанные инструменты материальной поддержки относятся к жителям сельской местности на основе создаваемых местными предприятиями рабочих мест. Сельский староста не может рассматриваться как работник администрации муниципального образования, однако при определенных условиях представляется возможным характеризовать параметры его деятельности как условия рабочего места.

В ст. 21 Трудового кодекса Российской Федерации обозначено, что рабочее место обладает характеристиками местоположения, находится под контролем работодателя, предполагает производственный процесс, подлежит охране труда и подразумевает наличие какого-либо инструментария [9]. Таким образом, рабочим местом сельского старосты является территория сельского поселения. При этом деятельность сельского старосты контролируется муниципальным образованием и местным населением. Деятельность такого сотрудника представляет собой непрерывный производственный процесс, связанный с социально-экономическим благополучием местных жителей на вверенной территории. Безопасные условия труда относятся к первичным нормам охраны труда сельского старосты, который использует в качестве инструментария устные и письменные способы взаимодействия с органами власти и населением.

На основе обозначенного представляется возможным констатировать следующее:

- статус сельского старосты предполагает наличие рабочего места и, соответственно, трудовых отношений;
- профессиональная деятельность сельского старосты неизбежно сопряжена с КРІ, совпадающим с показателями социально-экономического благополучия жителей сельского населенного пункта;
- мотивационная составляющая сельского старосты должна в обязательном порядке учитывать условия труда на рабочем месте и установленные муниципальным образованием показатели производительности в соответствии с КРІ.

Выявленные аспекты свидетельствуют о том, что мотивационная составляющая экономически измерима и находится в тесной связи с общественными изменениями на определенной территории. Исходя из этого наиболее приемлемым решением обеспечения мотивационной составляющей сельского старосты выступает формирование местного бюджета с учетом таких компонентов, как прожиточный минимум, надбавка в соответствии с КРІ на основе достигнутых экономических показателей за отчетный период, а также компенсационная выплата в результате индексации пенсионного обеспечения как работающему пенсионеру.

В соответствии с законодательством местный бюджет формируется из учета доходов и расходов, которые впоследствии учитываются в региональном бюджете. После того, как все бюджеты на будущий период, в том числе на федеральном уровне, согласованы между собой, предлагаемые компоненты мотивации сельских старост могут быть учтены заблаговременно. Таким образом, в будущем периоде предлагаемые компоненты уже будут присутствовать в расходных статьях местного бюджета.

Выводы

Conclusions

Законодательство не ограничивает возможности формирования мотивационной составляющей для сельских старост. Внедрение предлагаемого решения, состоящего из отдельных компонентов экономического характера, позволит стабилизировать статус сельского старосты на уровне муниципального образования, группы муниципальных образований, субъекта государства. Впоследствии положительный опыт можно будет распространить на национальном уровне по инициативе законодательной ветви региона при лоббировании соответствующих поправок в профильном законодательстве о самоуправлении.

Анализ нормативной базы и существующих исследований показывает, что мотивационная составляющая выступает ядром решения проблемы защиты статуса сельского старосты. Предлагаемое решение может быть апробировано на уровне муниципального образования вне зависимости от своего географического расположения. С высокой вероятностью апробация предлагаемого решения решит проблему мотивационной составляющей и упорядочит экономические процессы, связанные с эффективностью труда сельских старост.

Список источников

1. Выплаты сельским старостам: что с начислением страховых взносов? // *Гарант.Ру*: Информационно-правовой портал. 24.08.2020 г. URL: <https://www.garant.ru/news/1407541/> (дата обращения: 07.04.2025)

2. Гираев В.К. Тенденции в динамике доходов населения Республики Дагестан // *Региональные проблемы преобразования экономики*. 2023. № 1 (147). С. 26–36. <https://doi.org/10.26726/1812-7096-2023-1-26-36>
3. Гребенникова А.А., Кирилук О.Г., Масляков В.В., Мокеев М.М. К вопросу о вовлечении жителей в инициативное проектирование // *Индустриальная экономика*. 2021. № 5. С. 259–271. https://doi.org/10.47576/2712-7559_2021_5_3_259
4. Улитин И. Не разбегутся ли старосты? Кто и как поддержит активных пенсионеров в селах // *Ульяновская правда*: Информационный портал. 13.02.2021 г. URL: <https://ulpravda.ru/rubrics/soc/ne-razbegutsia-li-starosty-kto-i-kak-podderzhit-aktivnykh-pensionerov-v-selakh> (дата обращения: 07.04.2025)
5. Мур А. Принят новый закон об избрании сельских старост: процедура упрощена // *Все Свое*: Информационный портал. 19.06.2024 г. URL: <https://svoevse.ru/news/696> (дата обращения: 07.04.2025)
6. Сельский староста для Дагестана // *Черновик*. 18.03.2022 г. № 10. URL: <https://chernovik.net/content/politika/selskiy-starosta-dlya-dagestana> (дата обращения: 07.04.2025)
7. Сельский староста: помощник жителей в диалоге с властями // *Законодательное собрание Новосибирской области*. 30.10.2018 г. URL: <https://znsno.ru/news/11616> (дата обращения: 07.04.2025)
8. Сельским старостам уточнили порядок компенсаций расходов // *Законодательное собрание Владимирской области*. 17.11.2018 г. URL: <https://zsvo.ru/press/view/4648/> (дата обращения: 07.04.2025)
9. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ // *КонсультантПлюс*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 07.04.2025)
10. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации: Федеральный закон от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ // *КонсультантПлюс*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/d5d70ae1165351bf91950bf571109e03d40ad38f/ (дата обращения: 07.04.2025)
11. Хатукай С.А., Багова С.А., Адамчук А.А. Внедрение системы оценки производительности муниципальных служащих с использованием показателей ключевой эффективности (КПИ) // *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5 «Экономика»*. 2023. № 2 (320). С. 83–89. <https://doi.org/10.53598/2410-3683-2023-2-320-83-89>

References

1. Payments to village elders: What about the insurance premiums? *Garant. Ru*. (In Russ.) URL: <https://www.garant.ru/news/1407541/> (accessed: April 07, 2025).
2. Giraev V.K. Trends in income dynamics population of the Republic of Dagestan. *Regionalnye problemy preobrazovaniya ekonomiki*. 2023;(1(147)):26-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.26726/1812-7096-2023-1-26-36>
3. Grebennikova A.A., Kirilyuk O.G., Maslyakov V.V., Mokeev M.M. To the question of involvement of residents in initiative design. *Industrial Economics*. 2021;(5-3):259-271. (In Russ.) https://doi.org/10.47576/2712-7559_2021_5_3_259
4. Uliyin I. Will the elders run away? Who and how will support active pensioners in rural areas. *Ulianovskaya Pravda*. (In Russ.) URL: <https://ulpravda.ru/rubrics/soc/ne-razbegutsia-li-starosty-kto-i-kak-podderzhit-aktivnykh-pensionerov-v-selakh> (accessed: April 07, 2025).

5. Mur A. A new law on the election of village elders has been adopted: the procedure has been simplified. *Vse svoe*. (In Russ.) URL: <https://svoevse.ru/news/696> (accessed: April 07, 2025).

6. Village elder for Dagestan. *Chernovik*. (In Russ.) URL: <https://chernovik.net/content/politika/selskiy-starosta-dlya-dagestana> (accessed: April 07, 2025).

7. Village elder: assistant to residents in dialogue with the authorities. *Legislative Assembly of the Novosibirsk region*. (In Russ.) URL: <https://zsnso.ru/news/11616> (accessed: April 07, 2025).

8. Village elders clarified the procedure for compensation of expenses. *Legislative Assembly of the Vladimir region*. (In Russ.) URL: https://zsvo.ru/press/view/4648/?ysclid=m97a013twf728081402&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (accessed: April 07, 2025).

9. The Labor Code of the Russian Federation, No. 197-FZ of December 30, 2001. *ConsultantPlus*. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (accessed: April 07, 2025).

10. Federal Law, No. 131-FZ of October 6, 2003 “On general principles of the organization of local self-government in the Russian Federation”. *ConsultantPlus*. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/d5d70ae1165351bf91950bf571109e03d40ad38f/ (accessed: April 07, 2025).

11. Khatukay S.A., Bagova S.A., Adamchuk A.A. Implementation of municipal employees performance appraisal system based on the use of key performance indicators (KPI). *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Ekonomika”*. 2023;(2(320)):83-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.53598/2410-3683-2023-2-320-83-89>

Сведения об авторах

Зоя Александровна Капелюк, д-р экон. наук, профессор, советник ректора по образовательной и научной работе, Автономная некоммерческая образовательной организация высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Сибирский университет потребительской кооперации»; 630087, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 26; e-mail: zkapelyuk@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5503-8570>

Мадинат Юнускадиевна Джамалудинова, канд. экон. наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет»; 367000, Российская Федерация, г. Махачкала, ул. Гаджиева, 43а; e-mail: madina0880@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-4582-454X>

Information about the authors

Zoya A. Kapelyuk, DSc (Econ), Professor, Advisor to the Rector for Educational and Scientific Work, Siberian University of Consumer Cooperation; 26 K. Marx Ave., Novosibirsk, 630087, Russian Federation; e-mail: zkapelyuk@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5503-8570>

Madinat Yu. Dzhamaludinova, CSc (Econ), Associate Professor at the Department of State and Municipal Management, Daghestan State University; 43a Gadjeva St., Makhachkala, 367000, Russian Federation; e-mail: madina0880@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-4582-454X>

ЭКОНОМИКА

**Совершенствование управления
бизнес-процессами цеха сахарного завода
на основе технологии цифровых двойников**

**Елена Викторовна Худякова[✉], Марина Николаевна Степанцевич,
Константин Сергеевич Музалёв**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉] **Автор, ответственный за переписку:** evhudyakova@rgau-msha.ru

Аннотация

Для совершенствования управления бизнес-процессами на производстве в последнее время все чаще применяется технология цифровых двойников. Методология применения цифровых двойников первого уровня (имитационная модель процесса) апробирована нами на примере приемочного цеха сахарного комбината, где производится первичная обработка сахарной свеклы и подготовка ее к дальнейшей переработке. Цифровые двойники позволяют предприятиям проводить виртуальное моделирование и тестирование новых производственных концепций, оптимизировать процессы, предсказывать отказы оборудования, проводить диагностику производственных процессов с помощью виртуальных копий, а также совершенствовать методы управления. Создание цифрового двойника процесса приемки свеклы позволило определить качественные характеристики процесса. Поскольку процесс – линейный, пропускная способность цеха определяется равномерным распределением нагрузки по всему контуру. «Узкое место» в системе определяется операцией, занимающей больше времени по отношению к предыдущей и последующей, что будет создавать очередь из транзактов. Анализ прогона модели показал «узкие места» в сети: увеличение очередей из автомобилей на операцию приемки свеклы, на взвешивание БРУТТО и в пропускном пункте на завод. Для решения данной проблемы проведена оптимизация параметров системы, целью которой является выравнивание нагрузки на узлы цеха приемки свеклы, сокращение очередей к обслуживающим устройствам (узлам системы). Проведенный оптимизационный эксперимент показал, что для этого необходимо увеличить количество контрольных проверок свекломассы до трех, скорость загрузки грузовой машины должна составлять 6 мин. В итоге обобщенная (усредненная) функция нагрузки на цех сократилась почти в 2 раза.

Ключевые слова

Управление бизнес-процессами, цифровые двойники, имитационное моделирование, оптимизация бизнес-процессов, управление производством сахара

Для цитирования

Худякова Е.В., Степанцевич М.Н., Музалёв К.С. Совершенствование управления производством сахара на основе технологии цифровых двойников // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 5. С. 240–253.

Improving business process management in a sugar factory workshop based on digital twin technology

Elena V. Khudyakova✉, Marina N. Stepantsevich, Konstantin S. Muzalev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉Corresponding author: evhudyakova@rgau-msha.ru

Abstract

Digital twin technology has been increasingly applied to improve business process management in manufacturing. A first-level digital twin methodology (process simulation model) was tested using the example of a sugar factory acceptance workshop, where the initial processing of sugar beets and their preparation for further processing occur. Digital twins enable enterprises to conduct virtual modeling and testing of new production concepts, optimize processes, predict equipment failures, diagnose production processes using virtual replicas, and improve management methods. The creation of a digital twin for the sugar beet acceptance process allowed for the determination of the process qualitative characteristics. As the process is linear, the throughput of the workshop is determined by the uniform distribution of workload across the entire circuit. A “bottleneck” in the system is defined by an operation that takes more time relative to the preceding and subsequent operations, which creates a queue of transactions. Analysis of the model run revealed “bottlenecks” in the network, specifically, increased queues of trucks at the sugar beet acceptance operation, at the gross weight weighing station, and at the factory entry checkpoint. To address this problem, the system parameters were optimized, with the aim of balancing the load on the nodes of the sugar beet acceptance workshop and reducing queues at the servicing devices (system nodes). The optimization experiment indicated that it is necessary to increase the number of control checks of the beet mass to three and that the loading speed of a truck should be six minutes. As a result, the generalized (averaged) load function on the workshop was reduced by almost a factor of two.

Keywords

Business process management, digital twins, simulation modeling, business process optimization, sugar production management

For citation

Khudyakova E.V., Stepantsevich M.N., Muzalev K.S. Improving business process management in a sugar factory workshop based on digital twin technology. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 5. P. 240–253.

Введение

Introduction

В современном мире производство сахара является одной из ключевых отраслей агропромышленного комплекса, играющей важную роль в экономике многих стран. Так же, как и в других отраслях агропромышленного комплекса, в данной отрасли постепенно осуществляется процесс цифровой трансформации [1–3]. Современные системы поддержки принятия решений по управлению бизнес-процессами при производстве сахара включают в себя, в том числе, и технологии цифровых двойников. Цифровой двойник – это виртуальная модель объекта или системы, которая точно отражает его физические характеристики, параметры и состояние и непрерывно

синхронизируется с данными в реальном времени [4]. Разработка цифрового двойника цеха сахарного завода направлена на повышение эффективности производства, оптимизацию бизнес-процессов, снижение затрат.

Концепция цифрового двойника производства начала развиваться с 2011 г. Она основывается на использовании киберфизических систем (CPS), включающих в себя автоматизированные машины и обрабатывающие центры, подключенные к Интернету [5]. Киберфизические системы автономно изменяют производственные параметры, что делает производство более гибким и эффективным. Применение цифровых двойников в производстве сахара позволяет осуществлять мониторинг и управление производственными процессами в реальном времени, а также проводить анализ данных для принятия обоснованных управленческих решений.

Цель исследований: совершенствование управления бизнес-процессами на основе разработки цифрового двойника приемочного цеха сахарного завода и определение с его помощью оптимальных параметров бизнес-процесса в цехе.

Методика исследований

Research method

Для разработки цифрового двойника бизнес-процесса был использован метод имитационного моделирования, который позволяет отобразить структуру и логику системы. Все процессы в цехе отображаются в их логической последовательности и взаимосвязи. Динамика в модели реализуется с помощью встроенного в программу «двигателя» – системы продвижения модельного времени, когда система дискретно переходит из одного состояния в другое. В настоящее время существует множество платформ и систем для разработки цифровых двойников [6]. Данный метод реализован в системе имитационного моделирования AnyLogic, которая наряду с множеством встроенных процедур и функций имеет такой модуль, как оптимизационный эксперимент, который позволяет, используя цифровой двойник бизнес-процесса, определить и оптимизировать параметры системы (процесса) [7].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Для совершенствования управлением субъектами агропромышленного комплекса сегодня используются системы поддержки принятия решений, к одному из методов которых относится метод имитационного моделирования как основа технологии цифровых двойников. Современные информационные технологии позволяют создавать цифровые двойники физических объектов, бизнес-процессов, систем. Цифровой аналог бизнес-процесса может быть использован для мониторинга, анализа, оптимизации и управления производственными процессами. Цифровые двойники позволяют предприятиям выполнять виртуальное моделирование и проводить тестирование новых производственных концепций, оптимизировать процессы, предсказывать отказы оборудования, осуществлять диагностику производственных процессов с помощью виртуальных копий, а также совершенствовать методы управления.

Использование цифровых двойников в рамках концепции «Индустрия 4.0» помогает предприятиям повысить эффективность производства, сократить издержки на обслуживание и ремонт оборудования, улучшить качество продукции и обеспечить гибкость производственных процессов. Концепция «Индустрия 4.0» предполагает возможность мониторинга производственных процессов в режиме реального времени,

что повышает эффективность и точность принятия решений. Аналитика данных позволяет выявлять проблемы, связанные с функционированием производственных процессов, находить «узкие места» в сети.

Среди основных преимуществ разработки и использования цифровых двойников производства можно выделить следующие [8]:

- повышение эффективности производственных процессов путем оптимизации использования ресурсов и материалов;
- сокращение времени на запуск и наладку оборудования, а также минимизация времени простоя производственных линий;
- расширение возможностей сотрудничества между производственными компаниями и укрепление связей в цепочке поставок;
- увеличение гибкости производства, что позволяет изменять производственные процессы в зависимости от изменения спроса на продукцию;
- снижение затрат на производство за счет автоматизации и оптимизации всех стадий жизненного цикла продукции.

Более широкому внедрению цифровых двойников препятствуют такие факторы, как отсутствие специалистов, проблемы финансирования и изменения корпоративной культуры предприятий, а также риски в области кибербезопасности, поскольку устройства интернета вещей (IoT), подключенные к сети, могут быть уязвимыми для кибератак [9]. Одним из факторов, сдерживающих применение цифровых двойников, является недостаток соответствующих кадров [10].

Развитие методологии искусственного интеллекта придало импульс развитию теории и практики цифровых двойников. Искусственный интеллект может применяться тогда, когда невозможно для моделирования процесса/системы применить известные численные методы [11].

Основой цифрового двойника является имитационная модель процесса/системы. Следует согласиться с некоторыми авторами [12, 13] в том, что в условиях «Индустрии 4.0», с развитием сквозных цифровых технологий в экономике – таких, как киберфизические системы, интернет вещей, искусственный интеллект, облачные вычисления и большие данные, которые в совокупности способствуют разработке интеллектуальных, взаимосвязанных и высокоавтоматизированных производственных сред, разработка имитационных моделей сегодня должна осуществляться автоматически на основе мониторинга датчиков и состояний исполнительных механизмов, контролируемых программируемыми логическими контроллерами во время обычных операций. Это в определенной мере устраняет необходимость в предварительном знании системы, физическом осмотре или модификации существующей логики управления, тем самым сокращая участие человека и оптимизируя процесс разработки модели. Эти технологии предназначены для повышения гибкости системы, операционной эффективности и устойчивости. Фундаментальным компонентом этих технологий является цифровой двойник. Автоматизация этого процесса особенно актуальна в областях интеллектуального производства и приложений DT, где решающее значение имеет возможность быстро генерировать и адаптировать модели в ответ на данные в реальном времени [14].

Производство сахара может эффективно управляться с помощью цифровых двойников [15], представляющих собой виртуальные модели реальных объектов или процессов, которые отображает их состояние, динамику и поведение в реальном времени. Это дает следующие преимущества [16]:

1. Непрерывное отслеживание параметров производственного процесса (температура, давление, расход сырья и др.), что позволяет оперативно выявлять отклонения от нормы и проводить диагностику оборудования.

2. Анализ данных, полученных из цифрового двойника, позволяющий прогнозировать различные сценарии развития производственных процессов и оптимизировать их для достижения максимальной эффективности.

3. Минимизация расхода ресурсов (электроэнергии, воды, химических реагентов и т.д.) вследствие оптимизации производственных процессов.

4. Возможность разработки систем предиктивного обслуживания оборудования, позволяющих предотвращать отказы и сбои, а также планировать профилактические работы.

5. Возможность проведения виртуального тестирования различных изменений в производственных процессах, что позволяет оценить их эффективность и потенциальные риски до внедрения в реальное производство.

6. Возможность моделирования и оптимизации производственных процессов, что позволит улучшить качество продукции, сократить издержки на производство и обслуживание оборудования, а также повысить общую эффективность производства.

Цифровой двойник бизнес-процесса отражает структуру системы и логику ее функционирования. На рисунке 1 приведена общая концептуальная схема технологии производства сахара.

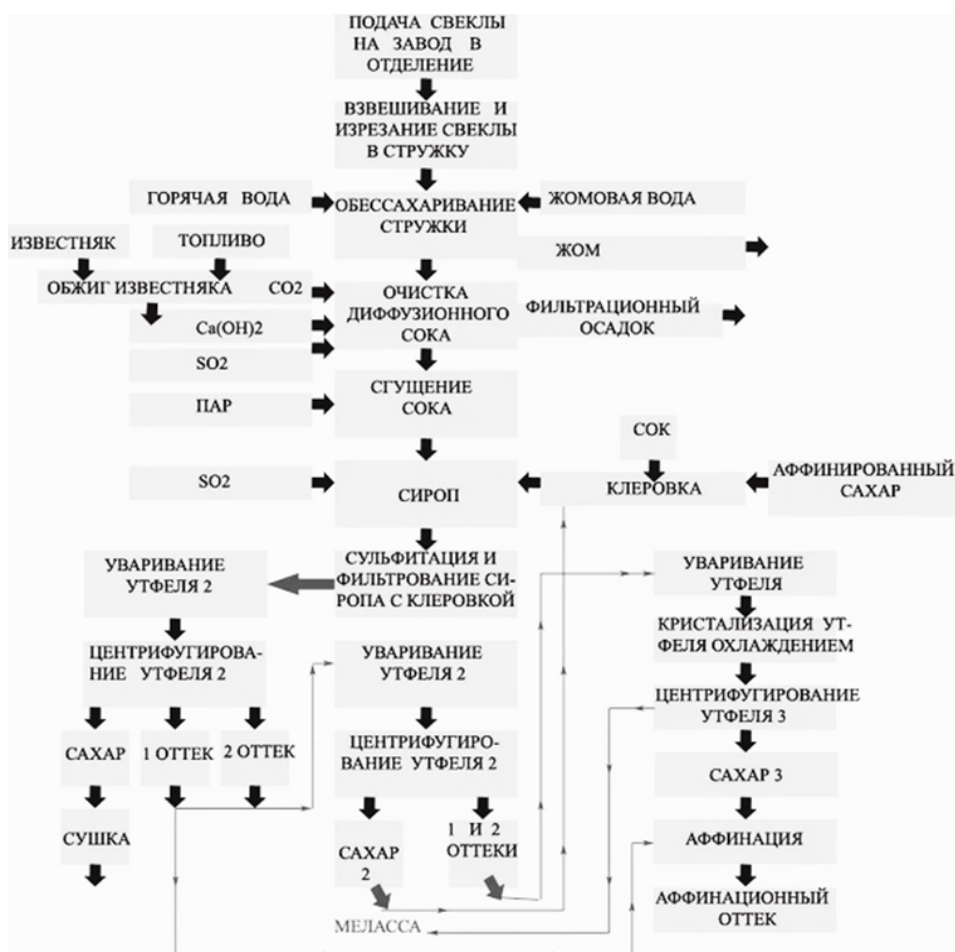


Рис. 1. Технология производства сахара [1]

Figure 1. Sugar production technology [1]

Методология применения цифровых двойников первого уровня (имитационная модель процесса) апробирована нами на примере приемочного цеха Ольховатского сахарного комбината, где производится первичная обработка сахарной свеклы и осуществляется подготовка ее к дальнейшей переработке. Процесс организован следующим образом. КАМАЗ с прицепом объемом 47 м³, грузоподъемностью 30 т в течение 6–7 мин производит загрузку свеклы на поле. Он транспортирует свеклу к цеху, на въезде в который в течение 2 мин оформляется продукция. Для контроля веса груза используются отдельные весы Брутто и Тара, время взвешивания на которых занимает 17,5±2,5 сек. Каждая пятая машина с контура подвергается отбору пробы на РЮПРО, что обеспечивает контроль за качеством сырья. Дополнительно проводится проверка загрязненности груза, которая включает в себя взвешивание, мойку, доочистку, взвешивание чистого сырья и анализ на загрязненность. После этого автомобиль с нового контура направляется на выгрузку на бетонную площадку. В зависимости от результатов анализа решается направление дальнейшего использования последующих машин с этого контура, которые могут отправляться на площадку, в закладку на хранение или непосредственно в бурачную на переработку.

Схема бизнес-процесса AS IS представлена на рисунке 2.

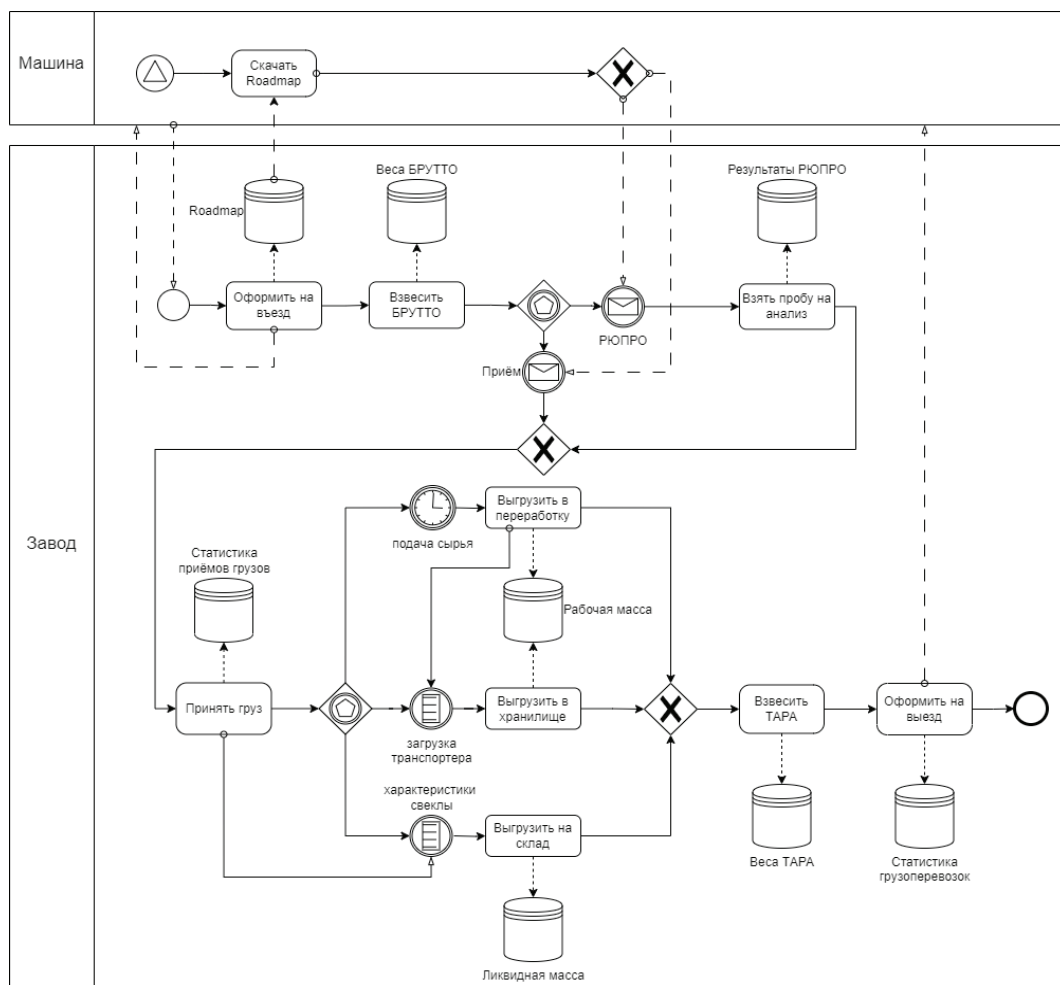


Рис. 2. Схема бизнес-процесса приемки свеклы в состоянии AS IS

Figure 2. AS-IS business process diagram for sugar beet acceptance

Затем машина отправляется на финальный этап приемки свеклы, состоящий из множества внутренних операций. Каждый автомобиль перед этим посещает пункт забора пробы РЮПРО (из каждых 5 автомобилей 4 направляются на финальную проверку, 1 автомобиль – на забор пробы. После прохождения данного этапа машина направляется на один из трех пунктов выгрузки: на склад, во временное хранилище, переработку.

Создание цифрового двойника процесса приемки свеклы позволило определить качественные характеристики процесса. Во-первых, поскольку процесс линейный, пропускная способность определяется равномерным распределением нагрузки по всему контуру. Во-вторых, «узкое место» в системе будет определяться операцией, занимающей больше времени по отношению к предыдущей и последующей, что будет создавать очередь из транзактов.

Анализ прогона модели показал увеличение очередей из автомобилей на операцию приемки свеклы, на взвешивание БРУТТО и в пропускном пункте на завод (рис. 3).

Для решения данной проблемы проведена оптимизация параметров системы, целью которой является выравнивание нагрузки на узлы системы приемки свеклы, сокращение очередей к устройствам «Въезд», «Взвешивание БРУТТО», «Контрольные проверки» и подбор величины показателя «Скорость загрузки свеклы в кузов машины».

Варьируемым параметром установлено число обслуживающих операционных точек в каждом блоке. Для повышения точности подбора параметров, производимых оптимизационным алгоритмом, был введен градиент вычислений, на который данный алгоритм должен ориентироваться. Нами выбрана такая парадигма вычислений, как гиперболическая зависимость для всех блоков, образующих «узкое место» в системе, а именно для операций въезда, взвешивания БРУТТО, приемки груза, а также выгрузки свеклы на переработку. В качестве связи данных компонентов выбрана дизъюнкция, поскольку они независимы друг от друга. Операции выгрузки в хранилище и на склад являются разгрузочными магистралями, то есть второстепенными участками, которые задействуются в случае загрузки основного – выгрузки на переработку. Вследствие небольшого количества переменных на каждую из них накладывается гиперболическая зависимость первой степени.

Параметры оптимизационного эксперимента представлены на рисунке 4.

Результаты первого оптимизационного эксперимента с текущей нагрузкой представлены на рисунке 5.

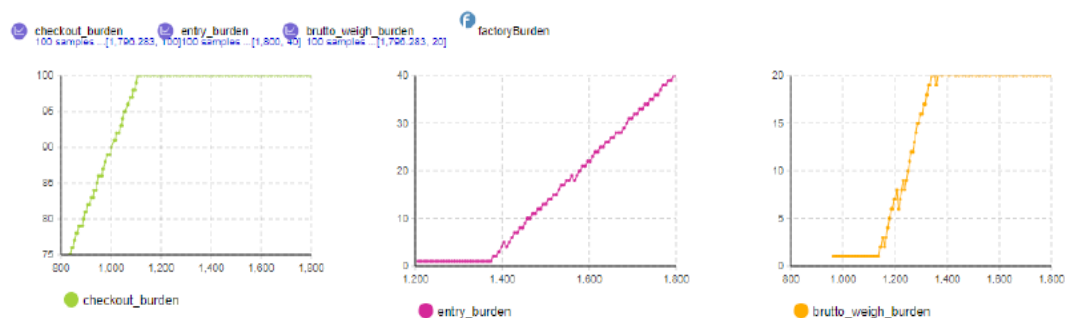


Рис. 3. Результаты прогона модели (размеры очередей машин на приемку, взвешивание и пропускной пункт)

Figure 3. Simulation results (the number of cars in the queue for acceptance, weighing and checkpoint)

Optimization - Optimization Experiment

Name: ☐ Ignore

Top-level agent:

Optimization engine:

Objective: ☐ minimize ☒ maximize

Number of iterations

☒ Fixed:

☐ Infinite

Maximum available memory: Mb

Рис. 4. Условия оптимизационного эксперимента с моделью (система AnyLogic)
Figure 4. Optimization experiment conditions the with the model (AnyLogic system)

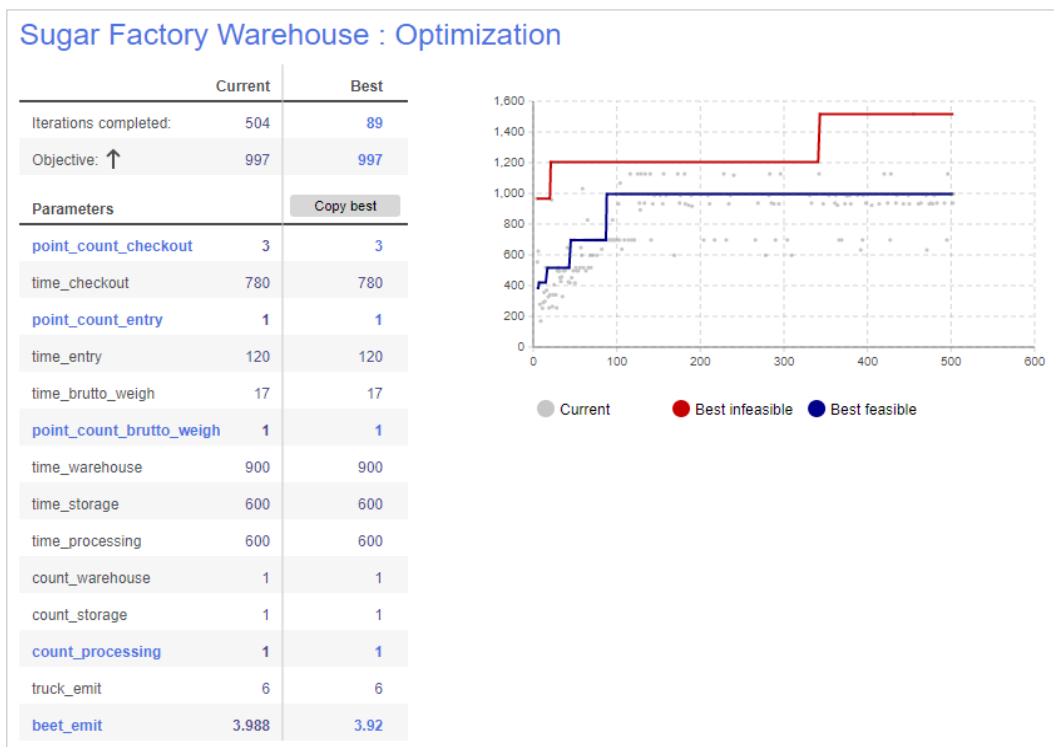


Рис. 5. Результаты первого оптимизационного эксперимента с текущей нагрузкой на основные устройства приемочного цеха
Figure 5. Results of the initial optimization experiment with the current workload on the main devices of the acceptance workshop

Эксперимент показал, насколько можно увеличить нагрузку в системе. Для этого необходимо увеличить количество контрольных проверок до трех (переменная «point_checkout»). Также определена оптимальная скорость загрузки грузовой машины – каждые 6 мин.

График, приведенный на рисунке 6, показывает изменения максимального значения оптимизируемой функции «*factoryBurden*», в приближении отражающей закон напряжения цифрового двойника. Данный график показывает наиболее подходящие и неподходящие максимумы функции в соответствии с ограничениями.

Для проверки качества результатов эксперимента проведен прогон модели с предложенным в ходе эксперимента набором параметров системы. Результаты симуляции представлены на рисунке 6.

Повторный прогон модели показал, что с данным набором параметров нагрузка в системе равномерно распределяется по всему каналу, о чем свидетельствуют метрики загруженности очередей. Теперь в каждой очереди стабильно присутствуют от 0 до 1 машины, в то время как операционные блоки постоянно работают с небольшими перерывами между обслуживающими сессиями.

Далее проверена возможность увеличения нагрузки прибывающих в цех автомобилей. Также сравнен результат повторного оптимизационного эксперимента с первичным экспериментом, который был направлен на выравнивание текущей нагрузки на узлы системы.

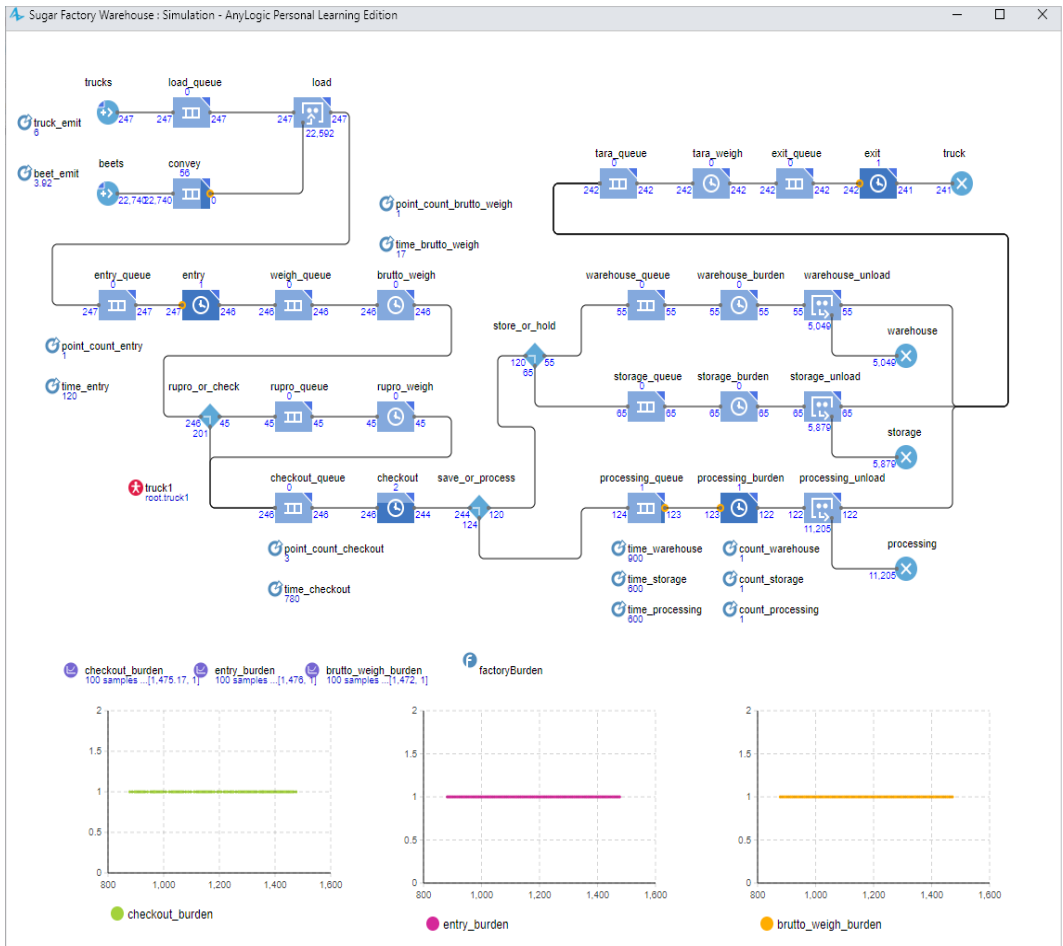


Рис. 6. Результаты симуляции с применением результатов первичной оптимизации

Figure 6. Simulation results using primary optimization results

Оптимизационный эксперимент с варьируемыми параметрами (нагрузка автомобилей, интервал прибытия грузового автомобиля (truck_emit) и дополнительные краевые условия (отсутствие очереди из автомобилей на загрузку ($\text{root.load_queue.size()}\leq 0$))) показал, что можно и целесообразно сократить интервал прибытия грузовых автомобилей в цех с 6 до 3 мин. Вслед за этим увеличилось число рабочих точек контрольной проверки с трех до пяти, число рабочих точек пункта выгрузки свеклы переработки – с одного до двух.

Результат вторичной оптимизации представлен на рисунке 7.

В итоге обобщенная функция нагрузки на цех «*factoryBurden*» сократилась почти в 2 раза. Результаты эксперимента с моделью при новых параметрах приведены на рисунке 8.

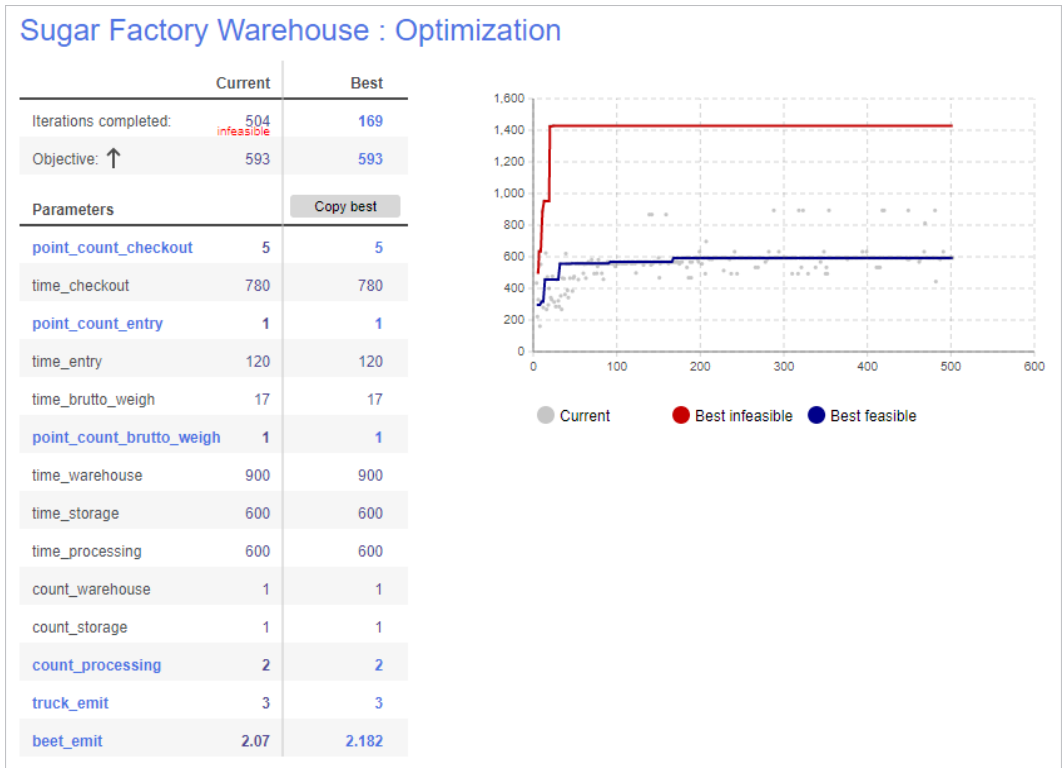


Рис. 7. Результаты эксперимента с вариацией нагрузки агентов (автомобилей)

Figure 7. Results of the experiment with load variation of agents (trucks)

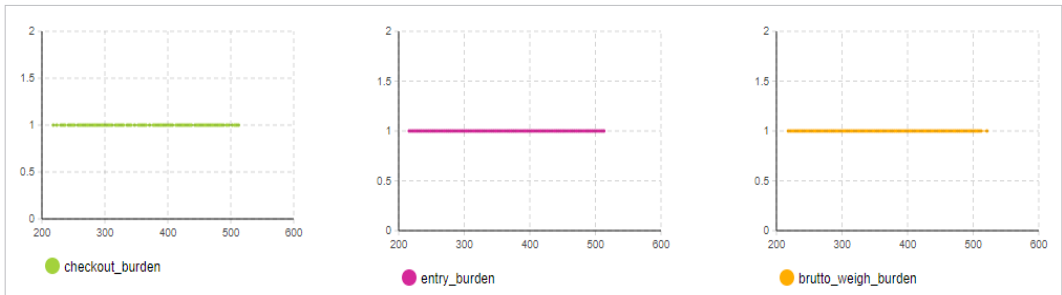


Рис. 8. Результаты эксперимента с повышенными параметрами

Figure 8. Results of the experiment with increased parameters

При таких параметрах бизнес-процесса система (цех) способна принимать в 2 раза больше свеклы, по-прежнему не имея очередей на въезде, взвешивании БРУТТО, контрольной проверке, выгрузке на переработку. Помимо этого, на выгрузке на склад наблюдается планомерно увеличивающееся скопление машин до нескольких десятков в очереди, а на выгрузке в хранилище – до десятка в очереди.

Выводы

Conclusions

В ходе исследований было выявлено, что цифровой двойник производственной системы является эффективным инструментом для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности управления. Анализ производства сахара как объекта управления на основе технологии цифровых двойников позволил выявить особенности и принципы построения компьютерных моделей, которые являются основой для разработки цифровых двойников. Использование таких технологий, как интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI), робототехника и облачные технологии, позволяет создать комплексную систему управления производством. В результате создания цифрового двойника свеклоприемного цеха сахарного комбината удалось обосновать такие параметры бизнес-процесса, которые позволяют значительно повысить производительность труда и эффективность работы цеха. Благодаря проектированию, симуляции, анализу и оптимизации процессов были проведены виртуальные тесты и эксперименты с цифровым двойником бизнес-процесса, которые помогли выявить узкие места в процессе приемки свеклы и оптимизировать параметры системы, предсказать возможные проблемы и риски в работе цеха.

Список источников

1. Прохоров А., Лысачев М. *Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт*: Монография. Москва: АльянсПринт, 2020. 401 с.
2. Петров С.М., Филатов С.Л., Подгорнова Н.М. Устойчивое развитие сахарного производства на основе цифровых двойников // *Сахар*. 2023. № 11. С. 16–21. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-11-16-21>
3. Бронская Ю.К., Васильева А.С., Гусманов И.У. и др. *Концептуальные основы развития национальной инновационной системы России: структурно-технологическая модернизация отечественной экономики, социально-экономические и технологические факторы развития*: Монография. Самара: НИЦ ПНК, 2025. 268 с. EDN: PBUJ CZ
4. Хафизов А.М., Борщ И.Д. Общие данные о цифровых двойниках и программных платформах управления цифровыми двойниками // *Инновационная наука*. 2025. № 5-2. С. 78–79. EDN: FGMN UX
5. Султан Н., Петров В.Е. Литературный обзор: применение автоматизированных цифровых производственных систем на основе цифровых двойников // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»*. 2024. № 7-2. С. 168–172. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2024.7-2.32>
6. Денисов С.Г. Анализ требований для цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников // *Бюллетень инновационных технологий*. 2025. Т. 9, № 1 (33). С. 30–33. EDN: XVYUUY

7. Both S., Eggersglüß J., Lehnberger A. et al. Optimizing Established Processes like Sugar Extraction from Sugar Beets – Design of Experiments versus Physicochemical Modeling. *Chem. Eng. Technol.* 2013;36(12):2125-2136. <http://doi.org/10.1002/ceat.201300484>
8. Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. *Технология сахара: Учебник.* Санкт-Петербург: Профессия, 2013. 294 с.
9. Левенцов В.А., Радаев А.Е., Николаевский Н.Н. Аспекты концепции «Индустрия 4.0» в части проектирования производственных процессов // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.* 2017. Т. 10, № 1. С. 19–31. EDN: YGDCJP
10. Trukhachev V., Bobrishev A., Khokhlova E. et al. Personnel Training for the Agricultural Sector in Terms of Digital Transformation of the Economy: Trends, Prospects and Limitations. *International Journal of Civil Engineering and Technology.* 2019;10(1):2145-2155. EDN: WUHBRA
11. Шананин В.А., Лосев К.Ю. Создание цифровых двойников в строительстве при помощи искусственного интеллекта // *Инновации и инвестиции.* 2023. № 6. С. 537–360. EDN: NXXOJC
12. Xie J., Jiang H., Qin S. et al. A New Description Model for Enabling More General Manufacturing Systems Representation in Digital Twin. *Journal of Manufacturing Systems.* 2024;72:475-491. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.12.009>
13. Zhao J., Aghezzaf E.-H., Cottyn J. An Extension of the Core Manufacturing Simulation Data Standard to Enhance the Interoperability for Discrete Event Simulation. *Procedia CIRP.* 2024;130:1632-1637. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.293>
14. Thüerer M., Li S.S., Qu T. Digital Twin Architecture for Production Logistics: The Critical Role of Programmable Logic Controllers (PLCs). *Procedia Computer Science.* 2022;200:710-717. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.269>
15. Lehnberger A. Industrial Internet of Things for the Sugar Industry-initial Results. *Chemie Ingenieur Technik.* 2020;92(7):978-982. <https://doi.org/10.1002/cite.202000005>
16. Паршина И.С., Фролов Е.Б. Разработка цифрового двойника производственной системы на базе современных цифровых технологий // *Экономика промышленности.* 2020. Т. 13, № 1. С. 29–34. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-1-29-34>

References

1. Prokhorov A., Lysachev M. *Digital twin. Analysis, trends, world experience: a monograph.* Moscow, Russia: All'ansPrint, 2020:401. (In Russ.)
2. Petrov S.M., Filatov S.L., Podgornova N.M. Sustainable development of sugar production based on digital twins. *Sakhar.* 2023;(11):16-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-11-16-21>
3. Bronskaya Yu.K., Vasil'eva A.S., Gusmanov I.U., Gusmanov R.U. et al. *The conceptual foundations of the development of the national innovation system of Russia: structural and technological modernization of the domestic economy, socio-economic and technological factors of development: a monograph.* Samara, Russia: NITs PNK, 2025:268. (In Russ.)
4. Khafizov A.M., Borsch I.D. General data on digital twins and software platforms for managing digital twins. *Innovative Science.* 2025;(5-2):78-79. (In Russ.)
5. Sultan N., Petrov V.E. Literature review: application of automated digital production systems based on digital twins. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy*

teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2024;(7-2):168-172. (In Russ.) <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2024.7-2.32>

6. Denisov S.G. Analysis of requirements for a digital platform for the development and application of digital twins. *Bulletin of innovative technologies.* 2025;9(1(33)):30-33. (In Russ.)

7. Both S., Eggensglüß J., Lehnberger A., Schulz T. et al. Optimizing Established Processes like Sugar Extraction from Sugar Beets – Design of Experiments versus Physicochemical Modeling. *Chem. Eng. Technol.* 2013;36(12):2125-2136. <http://doi.org/10.1002/ceat.201300484>

8. Sapronov A.R., Sapronova L.A., Ermolaev S.V. *Technology of sugar: a textbook.* Saint Petersburg, Russia: Professiya, 2013:294. (In Russ.)

9. Leventsov V.A., Radaev A.E., Nikolaevskiy N.N. The aspects of the “Industry 4.0” concept within production process design. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics.* 2017;10(1):19-31. (In Russ.)

10. Trukhachev V., Bobrishev A., Khokhlova E., Fedisko O. et al. Personnel Training for the Agricultural Sector in Terms of Digital Transformation of the Economy: Trends, Prospects and Limitations. *International Journal of Civil Engineering and Technology.* 2019;10(1):2145-2155.

11. Shananin V.A., Losev K.Yu. Creating digital doubles in construction using artificial intelligence. *Innovation and Investment.* 2023;(6):537-360. (In Russ.)

12. Xie J., Jiang H., Qin S., Zhang J. et al. A new description model to provide a more general representation of production systems in a digital double. *Journal of Manufacturing Systems.* 2024;72:475-491. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.12.009>

13. Zhao J., Aghezzaf E.-H., Cottyn J. An Extension of the Core Manufacturing Simulation Data Standard to Enhance the Interoperability for Discrete Event Simulation. *Procedia CIRP.* 2024;130:1632-1637. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.293>

14. Thüerer M., Li S.S., Qu T. Digital Twin Architecture for Production Logistics: The Critical Role of Programmable Logic Controllers (PLCs). *Procedia Computer Science.* 2022;200:710-717. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.269>

15. Lehnberger A. Industrial Internet of Things for the Sugar Industry-initial Results. *Chemie Ingenieur Technik.* 2020;92(7):978-982. <https://doi.org/10.1002/cite.202000005>

16. Parshina I.S., Frolov E.B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies. *Russian Journal of Industrial Economics.* 2020; 13(1):29-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-1-29-34>

Сведения об авторах

Елена Викторовна Худякова, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры прикладной информатики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: evhduyakova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7875-074X>

Марина Николаевна Степанцевич, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: stepantsevich@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7125-3027>

Константин Сергеевич Музалёв, ассистент кафедры прикладной информатики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kmuzalev@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6054-2934>

Information about the authors

Elena V. Khudyakova, DSc (Econ), Professor, Professor at the Department of Applied Computer Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: evhudyakova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7875-074X>

Marina N. Stepantsevich, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Applied Computer Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: stepantsevich@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7125-3027>

Konstantin S. Muzalev, Assistant Professor at the Department of Applied Computer Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: kmuzalev@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6054-2934>

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

Гаевая Э.А., Гринько А.В., Безуглова О.С. Урожайность гороха в изменяющихся климатических условиях Северного Приазовья.....	5
---	---

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Тюкавина О.Н. Особенности роста и развития плодов бузины красной (<i>Sambucus racemosa</i> L.) в условиях Московского региона	20
Сорокопудова О.А., Ханумиди Е.И. Семенная продуктивность морозника красноватого (<i>Helleborus purpurascens</i> Waldst. & Kit.) при интродукции в ВИЛАР	34
Черятова Ю.С., Макаров С.С., Чудецкий А.И., Портнова Т.В., Портнова И.В. Анатомические особенности листьев голубики узколистной (<i>Vaccinium angustifolium</i> Aiton) в условиях Московского региона.....	49

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

Налбандян А.А., Федюлова Т.П., Черепухина И.В., Руденко Т.С., Мелентьева С.А. ДНК-профилирование и фенотипирование родительских компонентов и гибридов сахарной свеклы (<i>Beta vulgaris</i> L.)	66
---	----

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Шипулин А.В. Разработка ПЦР-тестов для идентификации калифорнийской щитовки <i>Diaspidiotus perniciosus</i> (Hemiptera: Diaspididae)	83
--	----

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Авадани Д.А., Гончаренко Г.М., Хорошилова Т.С., Гришина Н.Б., Халина О.Л., Заборских Е.Ю., Кондрашкова И.С. Генетическая характеристика крупного рогатого скота разных пород Западной Сибири по STR-маркерам.....	97
Макутина В.А., Кривоногова А.С., Исаева А.Г., Донник И.М. Особенности транспортировки и созревания <i>in vitro</i> ооцит-кумулосных комплексов крупного рогатого скота	111
Сазонова И.А., Ерохина А.В., Васильева Е.В., Светлов В.В. Эффективность применения фитобиотической добавки на основе семян масличных культур в кормлении цыплят-бройлеров	123
Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Герасимов Н.П. Пищевая и энергетическая ценность мясной продукции телок разных пород и разного направления продуктивности при интенсивном выращивании	135

ЭКОНОМИКА

Арзамасцева Н.В., Мигунов Р.А., Бородина А.А., Муравьева М.В., Келеметов Э.М., Зарук Н.Ф. Разработка информационной системы для эффективного функционирования фонда перераспределения земель.....	148
Велибекова Л.А. Современные проблемы и пути обеспечения глобальной продовольственной безопасности	166
Гаврилова Н.Г. Африка в мировом производстве кукурузы	191
Евграфова Л.В., Сергеева Н.А. Методика расчета диверсификации нетрадиционных видов сельскохозяйственной и альтернативной деятельности в сельской местности...	208
Капелюк З.А., Джамалудинова М.Ю. Мотивационная составляющая повышения эффективности труда сельских старост	231
Худякова Е.В., Степанцевич М.Н., Музалёв К.С. Совершенствование управления бизнес-процессами цеха сахарного завода на основе технологии цифровых двойников.....	240

CONTENTS

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, ECOLOGY

Gaevaya E.A., Grin'ko A.V., Bezuglova O.S. Pea yield under changing climatic conditions of the Northern Azov zone	5
---	---

BOTANY, POMICULTURE

Solomonova E.V., Trusov N.A., Tyukavina O.N. Features of red-berried elder (<i>Sambucus racemosa</i> L.) fruit growth and development in the Moscow Region, Russia	20
Sorokopudova O.A., Khanumidi E.I. Seed productivity of <i>Helleborus purpurascens</i> Waldst. & Kit. during cultivation at All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants	34
Cheryatova Yu.S., Makarov S.S., Chudetsky A.I., Portnova T.V., Portnova I.V. Anatomical features of lowbush blueberry (<i>Vaccinium angustifolium</i> Aiton) leaves in the conditions of the Moscow Region, Russia.....	49

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BREEDING AND SEED PRODUCTION

Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Cherepukhina I.V., Rudenko T.S., Melentyeva S.A. DNA profiling and phenotyping of sugar beet (<i>Beta vulgaris</i> L.) parental components and hybrids....	66
---	----

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

Shipulin A.V. Development of PCR tests for the identification of <i>Diaspidiotus perniciosus</i> (Hemiptera: Diaspididae).....	83
--	----

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

Avadani D.A., Goncharenko G.M., Khoroshilova T.S., Grishina N.B., Khalina O.L., Zaborskikh E.Yu., Kondrashkova I.S. Genetic characteristics of cattle breeds in Western Siberia using STR markers.....	97
Makutina V.A., Krivonogova A.S., Isaeva A.G., Donnik I.M. Features of transportation and <i>in vitro</i> maturation of bovine oocyte-cumulus complexes.....	111
Sazonova I.A., Erokhina A.V., Vasilyeva E.V., Svetlov V.V. Effectiveness of applying a phytobiotic supplement based on oilseed in feeding broiler chickens	123
Yuldashbaev Yu.A., Kosilov V.I., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A., Gerasimov N.P. Nutritional and energy value of meat products from heifers of different breeds and production types under intensive rearing.....	135

ECONOMICS

Arzamastseva N.V., Migunov R.A., Borodina A.A., Muravyova M.V., Kelemetov E.M., Zaruk N.F. Information system development for the effective functioning of the Land Redistribution Fund.....	148
Velibekova L.A. Contemporary challenges and strategies for ensuring global food security	166
Gavrilova N.G. Africa in world corn production.....	191
Evgrafova L.V., Sergeeva N.A. Methodology for calculating the diversification of non-traditional agricultural and alternative activities in rural areas	208
Kapelyuk Z.A., Dzhamaludinova M.Yu. Motivational strategies in enhancing the labor productivity of rural elders.....	231
Khudyakova E.V., Stepansevich M.N., Muzalev K.S. Improving business process management in a sugar factory workshop based on digital twin technology	240
	255

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

e-mail: izvtsha@rgau-msha.ru

тел.: (499) 976–07–48

Подписано в печать 31.10.2025 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная

Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 16 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