

Номер 6

ISSN 0869-5873

Июнь 2025



# ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУКА

— 1727 —

Всепредельнейший держав

# СОДЕРЖАНИЕ

---

номер 6, 2025

---

## Тематический выпуск по сельскохозяйственным наукам

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Ю.Ф. Лачуга, Я.П. Лобачевский, А.А. Алфёров</i><br>Сельскохозяйственная наука в развитии агропромышленного комплекса<br>Российской Федерации                                                            | 3  |
| <i>А.И. Алтухов</i><br>Приоритетное развитие сельского хозяйства — первооснова обеспечения<br>продовольственной безопасности России                                                                        | 9  |
| <i>И.Г. Ушачев, В.В. Маслова, Н.Ф. Зарук, М.В. Авдеев</i><br>Экосистемный подход к эффективному развитию агропромышленного комплекса                                                                       | 20 |
| <i>А.Л. Иванов, Ю.А. Духанин, Л.О. Хорошева</i><br>Актуальные задачи в сфере сельскохозяйственного землепользования<br>Российской Федерации и их решение                                                   | 30 |
| <i>А.Г. Папцов</i><br>Аграрный потенциал БРИКС в современном геоэкономическом ландшафте                                                                                                                    | 40 |
| <i>Ю.Ф. Лачуга, С.Г. Мударисов, И.М. Фархутдинов, Ю.Х. Шогенов,<br/>Б.Г. Зиганшин, Н.Н. Устинов</i><br>Повышение эффективности проектирования сельскохозяйственной техники<br>с помощью цифровых двойников | 50 |
| <i>И.А. Тихонович, А.А. Завалин</i><br>Комплексное использование микробных препаратов и удобрений при развитии<br>природоподобных технологий в земледелии                                                  | 59 |
| <i>В.И. Долженко</i><br>Научно-технологическое обеспечение фитосанитарной безопасности                                                                                                                     | 67 |
| <i>А.Г. Галстян, А.Н. Петров, Е.А. Юрова, З.С. Зобкова,<br/>Н.С. Пряничникова, С.А. Фильчакова</i><br>Киберфизические компоненты пищевой метаянженерии                                                     | 77 |
| <i>В.С. Паштецкий</i><br>Научно-технологическое развитие агропромышленного комплекса Крыма                                                                                                                 | 85 |
| <i>Ф.И. Василевич, С.В. Позябин, А.А. Дельцов</i><br>Задачи научного и кадрового обеспечения ветеринарии                                                                                                   | 94 |

---

# CONTENTS

---

No. 6, 2025

---

## Thematic issue on agricultural sciences

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Yu.F. Lachuga, Ya.P. Lobachevsky, A.A. Alferov</i><br>Agricultural science in the development of the agro-industrial complex of the Russian Federation                               | 3  |
| <i>A.I. Altukhov</i><br>Priority development of agriculture – the basis for ensuring food security of Russia                                                                            | 9  |
| <i>I.G. Ushachev, V.V. Maslova, N.F. Zaruk, M.V. Avdeev</i><br>Ecosystem approach to effective development of the agro-industrial complex                                               | 20 |
| <i>A.L. Ivanov, Yu.A. Dukhanin, L.O. Khorosheva</i><br>Current tasks in the field of agricultural land use in the Russian Federation and their solution                                 | 30 |
| <i>A.G. Paptsov</i><br>Agrarian potential of BRICS in the modern geoeconomic landscape                                                                                                  | 40 |
| <i>Yu.F. Lachuga, S.G. Mudarisov, I.M. Farkhutdinov, Yu.Kh. Shogenov, B.G. Ziganshin, N.N. Ustinov</i><br>Improving the efficiency of agricultural machinery design using digital twins | 50 |
| <i>I.A. Tikhonovich, A.A. Zavalin</i><br>Integrated use of microbial preparations and fertilizers in the development of nature-like technologies in agriculture                         | 59 |
| <i>V.I. Dolzhenko</i><br>Scientific and technological support of phytosanitary safety                                                                                                   | 67 |
| <i>A.G. Galstyan, A.N. Petrov, E.A. Yurova, Z.S. Zobkova, N.S. Pryanichnikova, S.A. Filchakova</i><br>Cyber-physical components of food meta-engineering                                | 77 |
| <i>V.S. Pashtetsky</i><br>Scientific and technological development of the Crimean agroindustrial complex                                                                                | 85 |
| <i>F.I. Vasilevich, S.V. Pozyabin, A.A. Deltsov</i><br>Tasks of scientific and staffing support of veterinary science                                                                   | 94 |

---

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА В РАЗВИТИИ  
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2025 г. Ю.Ф. Лачуга<sup>a,\*</sup>, Я.П. Лобачевский<sup>a,\*\*</sup>, А.А. Алфёров<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия

\*E-mail: akadema1907@mail.ru

\*\*E-mail: lobachevsky@yandex.ru

\*\*\*E-mail: alferov72@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.05.2025 г.

После доработки 13.05.2025 г.

Принята к публикации 20.05.2025 г.

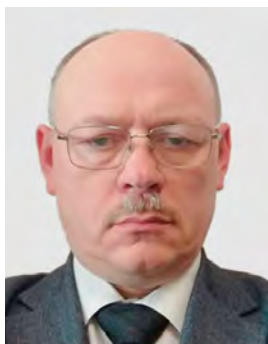
В статье рассматриваются основные направления и результаты научных исследований в области сельскохозяйственных наук в рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), которые позволяют усилить инновационный научно-технологический потенциал агропромышленного комплекса страны. Основные усилия учёных Отделения сельскохозяйственных наук РАН направлены на решение задач в области земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства, растениеводства и защиты растений, зоотехнии и ветеринарии, механизации сельского хозяйства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, экономики сельского хозяйства, пространственного развития сельских территорий. Авторы констатируют системный переход методов исследований, связанный с применением цифровых технологий, генетических и биотехнологий, нейронных сетей, искусственного интеллекта, средств автоматизации и роботизации. Сельскохозяйственная наука достигла весомых результатов: выведены и широко внедряются высокопродуктивные сорта растений и породы животных, кроссы птицы; разработаны агроландшафтные адаптивные системы земледелия и агролесомелиоративные методы борьбы с опустыниванием почв; созданы высокоэффективные препараты для защиты растений и животных, а также современные роботизированные технические средства для растениеводства, животноводства и переработки продукции, безопасные функциональные продукты питания.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственные науки, земледелие, мелиорация, растениеводство, зоотехния, ветеринария, механизация, автоматизация, электрификация, хранение и переработка сельскохозяйственной продукции, экономика.

DOI: 10.31857/S0869587325060019, EDN: FAEONQ

Сельскохозяйственная наука вносит определяющий вклад в развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации. В условиях острых

геополитических и социально-экономических противоречий нашей страной принят курс на импортозамещение и технологический суверенитет.



ЛАЧУГА Юрий Фёдорович — академик РАН, член президиума РАН. ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович — академик РАН, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. АЛФЁРОВ Алексей Анатольевич — профессор РАН, заместитель академика-секретаря ОСХН РАН.

Обеспечение населения страны собственным продовольствием становится важнейшим фактором безопасности, экономической, политической и социальной стабильности внутри страны. В то же время продукция сельского хозяйства оказывает мощное влияние на внешние рынки. Российская Федерация экспортирует сельскохозяйственное сырьё и продовольствие более чем в 140 стран мира. Валютная выручка с каждым годом увеличивается и достигла к настоящему времени 45–47 млрд долл. в год [1, 2].

Благодаря внедрению достижений российских учёных удалось существенно продвинуться в решении проблемы импортозамещения и технологической независимости на внутреннем рынке продовольствия. Однако остаются и нерешённые вопросы, в частности связанные с обеспечением агропроизводителей отечественными семенами важных культур, породами скота и кроссами птицы, средствами защиты растений, ветеринарными препаратами, ингредиентами для пищевой промышленности, роботизированной сельскохозяйственной техникой и оборудованием [3].

Необходимо отметить ряд производственных и экологических проблем, которые требуют серьёзного внимания и усилий как учёных, так и представителей государственных структур и агробизнеса. В Российской Федерации, согласно различным источникам, от 26 до 58% сельскохозяйственных земель подвержены эрозионным процессам [4, 5], 20% почв переувлажнены и заболочены, 8% — засолены, 44% — имеют повышенную кислотность, а для 99.5 млн га характерно низкое содержание гумуса [6]. Водная эрозия затронула 42 млн га сельскохозяйственных земель, а ветровая — 26 млн га. Ежегодно площадь деградированных земель увеличивается на 400–500 тыс. га [4, 5]. В настоящее время из активного сельскохозяйственного оборота выведено около 40 млн га площадей. В животноводстве наблюдается сокращение поголовья: крупного рогатого скота с 57.0 до 19.5 млн голов, свиней — с 38.3 до 19.2 млн, овец и коз — с 58.2 до 23.8 млн [5].

В этой связи стратегической целью дальнейшего развития сельскохозяйственной науки и её приоритетной задачей стало проведение фундаментальных и прикладных исследований, направленных на разработку конкурентоспособной научно-технической продукции. Это позволит усилить инновационный процесс и обеспечить эффективное внедрение научных разработок в производство, что, в свою очередь, будет способствовать эффективному функционированию агропромышленного комплекса Российской Федерации [3, 7].

В рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.) (далее ПФНИ) определены ключевые направления развития сельскохозяйственной науки. В области земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства важное

место занимают вопросы изучения депозитарных, биоценотических и экологических функций почв, оценка почвенных ресурсов и оптимизация сельскохозяйственного землепользования с применением цифровых систем и дистанционного зондирования. Решение указанных проблем видится на пути оптимизации сельскохозяйственного землепользования, сохранения и восстановления плодородия почв на основе использования новейших научных методов. Перспективная научная задача — создание основы для восстановления, сохранения и развития агроэкосистем. В рамках ПФНИ исследования ведутся по оптимизации сельскохозяйственного природопользования, оценки земель, структуры агротехнологий и разработке адаптивно-ландшафтных систем нового поколения. Кроме того, программа предусматривает исследования в области агропочвоведения, планируется разработать генетические и молекулярные основы формирования микробных сообществ агро- и природных систем, изучить метабеномы основных видов почв Российской Федерации, предложить индикаторы изменений свойств почв под воздействием природных и антропогенных факторов, а также новые системы управления плодородием почв в динамических условиях внешней среды.

В сфере мелиорации использование научно обоснованных методов позволяет эффективно распоряжаться природными ресурсами, повышать их продуктивность. Изучение мелиоративных и водных систем, а также гидротехнических объектов нового уровня, улучшение и контроль водных ресурсов, разработка природных методов восстановления плодородия — всё это позволяет расширять площади мелиорированных земель и использовать их для растениеводства в условиях изменяющегося климата [8, 9]. ПФНИ включает раздел, посвящённый разработке мелиоративных и водных комплексов, гидротехнических сооружений нового поколения, оптимизации и управлению водными ресурсами на базе цифровых технологий, а также предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов, созданию агролесомелиоративных и лесных комплексов.

Актуальные задачи растениеводства — гарантированное сохранение генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей для создания конкурентоспособных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, а также поиск, сохранение, изучение генетических ресурсов растений и использование их в селекционном процессе. Важное направление исследований — молекулярная селекция, благодаря которой удаётся создавать новые высокопродуктивные формы, сорта и гибриды сельскохозяйственных культур, лекарственных и ароматических растений, отличающиеся высокими качественными показателями, устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. В настоящее

время научное управление селекционным процессом позволяет разрабатывать новые генотипы культурных растений [10].

В области защиты растений предусмотрена разработка современных методов мониторинга фитосанитарного состояния агробиоценозов, диагностики вредных и полезных микроорганизмов, системы рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и создание новых природоподобных биологических и химических средств защиты растений [11].

В области зоотехнии ПФНИ предусмотрено изучение, сохранение и управление генетическими ресурсами сельскохозяйственных и промысловых животных, птиц, насекомых и рыб в аквакультуре сельскохозяйственного и промыслового назначения в целях улучшения существующих и создания новых конкурентоспособных пород, типов, линий и кроссов. В этих целях используются технологии высокопроизводительного генотипирования, точного фенотипирования, биоинформационные и цифровые технологии. Актуальная задача — расширение работ с биоколлекциями и производственными массивами животных для получения новых знаний о состоянии аллелофонда животных на базе оценки полных геномов, разработка эффективных способов и цифровых методов мониторинга и управления генетическим полиморфизмом, высокоточных методов создания конкурентоспособных пород, типов, линий и кроссов сельскохозяйственных животных, птиц, рыб, пушных зверей, насекомых с высокими хозяйственно-полезными признаками [12].

С целью обеспечения здоровья животных в области ветеринарии одной из важнейших задач является создание национальной системы эпизоотического и эпидемического благополучия, диагностики и профилактики особо опасных, социально значимых болезней животных. В результате проведения фундаментальных исследований планируется создать эффективные методологию и методы оценки рисков возникновения и возможных масштабов поражения массивов животных особо опасными инфекционными болезнями и антропозоонозными гельминтозами, разработать систему управления и критерии комплексной оценки границ биологической опасности, предотвращения актов биотерроризма и определить пороги эффективности проводимых противоэпидемических мероприятий [13].

В соответствии со Стратегией пространственного развития России до 2030 года с прогнозом до 2036 года разрабатываются и внедряются системы рационального энергообеспечения сельскохозяйственных предприятий, в том числе на труднодоступных территориях. Создаются и активно применяются технологии и технические средства возобновляемой энергетики и биоэнергетики, рациональные системы энергоснабжения, энергосбе-

регающее оборудование, используются децентрализованные источники энергоснабжения, цифровые системы управления энергоснабжением [14].

На новых технологических и организационных принципах формируются современные системы машин и технологий [15]. Создаются комплексы автоматизированной и роботизированной техники для растениеводства и животноводства, беспилотные летательные аппараты, используемые для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий и выполнения точных дифференцированных операций [16].

Персонализированное питание, новые подходы в организации здорового образа жизни ставят задачи получения пищевого сырья с целью выработки продукции заданного нутриентного состава, способов прижизненного обогащения животноводческого сырья эссенциальными нутриентами для повышения качества и биологической ценности продукции. Эти направления хранения и переработки сельскохозяйственной продукции и сырья развиваются благодаря ПФНИ [17].

Одна из важнейших научных задач в области формирования пищевых систем — трансформация сельскохозяйственного сырья на основе цифровых, геномных, протеомных, метаболомных технологий с использованием биоинформатики, нейросетевых технологий, структурно-параметрического моделирования для создания пищевых продуктов и функциональных ингредиентов.

В области экономики сельского хозяйства предусмотрены исследования по развитию агропромышленного комплекса на основе инновационных технологий и цифровой экономики в условиях нарастания в мире дезинтеграционных процессов. Большое внимание уделяется социальному развитию села и разработке механизмов повышения качества жизни сельского населения, земельным отношениям и управлению земельными ресурсами [18].

Ежегодно под научно-методическим руководством РАН проводятся научные исследования по всем основным направлениям фундаментальных исследований, обозначенных ПФНИ. В 2024 г. научно-исследовательскую работу выполняли 105 федеральных государственных бюджетных научных учреждений, подведомственных Минобрнауки России и Минсельхозу России, с участием 9051 научного работника (исследователи), в том числе 1679 докторов и 3010 кандидатов наук, 161 академика и 126 членов-корреспондентов РАН, 113 иностранных членов с правами и обязанностями, определёнными Уставом РАН.

Региональным аспектам агропроизводства посвящены исследования учреждений, расположенных в соответствующих регионах. Исследования ведутся в институтах, лабораториях, отделах, на опытных полях, селекционных питомниках, фермах,

в вивариях, в том числе в рамках многофакторных полевых экспериментов, длительных стационарных опытов, с использованием фитотроннотепличных комплексов, теплиц, камер искусственного климата. В экспериментах используются современные молекулярно-генетические и биохимические методы, культура *in vitro*, световая микроскопия, идентификация рас фитопатогенов, фитопатологические тесты, информационный и системный анализ, математическое и компьютерное моделирование, геостатистические методы и ГИС-технологии, статистические методы обработки экспериментальных данных. Производственные испытания результатов исследований проводятся в различных зонах страны на базе НИУ, крупных товарных предприятий и фермерских хозяйств, организаций с различной формой собственности.

При проведении исследований используются генофонд растительного, животного и микробиологического происхождения, уникальные научные объекты (ламинарии, ботанические сады, фитотроны, коллекции микро- и биопрепаратов, вирусов и др.), современное оборудование (лазерные, электронные и плазменные фотометры, инфракрасные анализаторы, комплексы ПЦР и ДНК-диагностики, ультрамикроскопы и т.д.). Это позволяет с высокой эффективностью выполнять фундаментальные исследования на уровне клеточных, биоинженерных, геномных и постгеномных, а также нанотехнологий. Благодаря этому в 2024 г. создано 229 новых высокоэффективных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, которые по урожайности и качеству продукции не уступают мировым аналогам, одна порода животных, 149 новых и усовершенствованных технологий и технологических процессов производства сельскохозяйственного сырья, 119 технологических способов и приёмов производства сельскохозяйственной продукции, 64 единицы машин, приборов и оборудования, 6 вакцин, диагностикумов, санитарно-гигиенических препаратов и дезинфицирующих средств. Получено 785 патентов Российской Федерации на изобретения и селекционные достижения.

Важная задача Отделения сельскохозяйственных наук РАН — подготовка новой генерации молодых учёных. В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ создана и результативно действует в течение нескольких лет непрерывная система подготовки молодых учёных на основе преемственности магистратура—аспирантура—докторантура. Уникальность этой системы определяют следующие факторы: наличие собственной стратегии подготовки именно научных сотрудников; согласованность магистерских и аспирантских учебно-исследовательских программ; современная учебно-исследовательская инфраструктура; ориентация на инновационное развитие науки в агропромышленном комплексе и смежных отраслях.

Уже на стадии магистратуры молодёжь вливается в научные коллективы лабораторий и совмещает освоение образовательных программ с исследовательской деятельностью. Таким образом, в учреждениях ОСХН РАН, в первую очередь в Федеральном центре ВИМ, выстроена целостная непрерывная система профессионального образования и подготовки научных кадров, в том числе высшей квалификации. Разработанная в Центре ВИМ траектория становления молодого учёного позволила за последние семь лет подготовить около 200 магистров и молодых учёных, омолодить научный коллектив и увеличить количество защит кандидатских и докторских диссертаций в 3–4 раза [19].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лачуга Ю.Ф. Основные задачи агроинженерной науки по устранению импортозависимости для дальнейшего развития сельскохозяйственного производства // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 2 (46). С. 6–7.  
*Lachuga Yu.F.* The main tasks of agricultural engineering science to eliminate import dependence for the further development of agricultural production // Equipment and technologies in animal husbandry. 2022, no. 2 (46), pp. 6–7. (In Russ.)
2. Романенко Г.А., Лачуга Ю.Ф., Лобачевский Я.П. Основные вехи становления и развития аграрной науки России (к 95-летию ВАСХНИЛ) // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 6. С. 3–13.  
*Romanenko G.A., Lachuga Yu.F., Lobachevsky Ya.P.* The main milestones in the formation and development of agricultural science in Russia (on the 95th anniversary of VASKhNIL) // Russian Agricultural Science, 2024, no. 6, pp. 3–13. (In Russ.)
3. Лобачевский Я.П. Научное обеспечение приоритетных технологий агропромышленного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2024. Т. 94. № 3. С. 275–282.  
*Lobachevsky Ya.P.* Scientific support for priority technologies of the agro-industrial complex of the Russian Federation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2024, vol. 94, no. 3, pp. 275–282. (In Russ.)
4. Завалин А.А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия // Земледелие. 2024. № 2. С. 25–29.  
*Zavalin A.A.* Problems and solutions for technological development of agriculture // Agriculture. 2024, no. 2, pp. 25–29. (In Russ.)
5. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М.: Росинформагротех, 2022.

- Report on the status and use of agricultural lands in the Russian Federation in 2021. Moscow: Rosinformagrotech, 2022. (In Russ.)
6. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: Росинформагротех, 2023.  
Report on the status and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2022. Moscow: Rosinformagrotech, 2023. (In Russ.)
  7. Алфёров А.А. Достижения научных организаций в области земледелия в 2023 году // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 3. С. 3–7.  
*Alferov A.A.* Achievements of scientific organizations in the field of agriculture in 2023 // Russian agricultural science. 2024, no. 3, pp. 3–7. (In Russ.)
  8. Иванов А.Л., Кулик К.Н., Столбовой В.С. и др. Методология мониторинга учёта баланса углерода в почвенных экосистемах и агролесокмлексах в условиях изменения климата // Материалы пленарных докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школа молодых учёных по морфологии и классификации почв. Часть 1. Москва–Сыктывкар, 2022. С. 59–64.  
*Ivanov A.L., Kulik K.N., Stolbovoy V.S. et al.* Methodology for monitoring carbon balance accounting in soil ecosystems and agroforestry complexes under climate change // Proceedings of the plenary reports of the VIII Congress of the V.V. Dokuchaev Soil Science Society and the School of Young Scientists on Soil Morphology and Classification. Part 1. Moscow–Syktvykar, 2022. Pp. 59–64. (In Russ.)
  9. Шевченко В.А., Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // Вестник РАН. 2023. Т. 93. № 4. С. 355–361.  
*Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B.* New stage of development of the melioration and water management complex of the Russian Federation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023, vol. 93, no. 4, pp. 355–361. (In Russ.)
  10. Коробкова В.А., Крупина А.Ю., Архипов А.В. и др. Разнообразие аллельного состояния генов *glu-1* в коллекции образцов твёрдой пшеницы (*triticum durum* desf.) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 5. С. 840–851.  
*Korobkova V.A., Krupina A.Yu., Arkhipov A.V. et al.* Diversity of the allelic state of *glu-1* genes in a collection of durum wheat (*triticum durum* desf.) accessions // Agricultural Biology. 2023, vol. 58, no. 5, pp. 840–851. (In Russ.)
  11. Долженко В.И. Защита растений: настоящее и будущее // Плодородие. 2018. № 1. С. 24–26.  
*Dolzhenko V.I.* Plant protection: present and future // Fertility. 2018, no. 1, pp. 24–26. (In Russ.)
  12. Дорожкин В.И. Перспективные научные направления фундаментальных исследований в области ветеринарной санитарии // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2022. № 2 (42). С. 148–151.  
*Dorozhkin V.I.* Promising scientific directions of fundamental research in the field of veterinary sanitation // Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology. 2022, no. 2 (42), pp. 148–151. (In Russ.)
  13. Найманов А.Х., Искандаров М.И., Федоров А.И. и др. Актуальные проблемы хронических инфекций крупного рогатого скота, совершенствование аллергенов и методов диагностики // Ветеринария и кормление. 2025. № 1. С. 58–62.  
*Naimanov A.Kh., Iskandarov M.I., Fedorov A.I. et al.* Actual problems of chronic infections of cattle, improvement of allergens and diagnostic methods // Veterinary science and feeding. 2025, no. 1, pp. 58–62. (In Russ.)
  14. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве // Техника и оборудование для села. 2024. № 5 (323). С. 2–9.  
*Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.Kh.* Innovative achievements of agroengineering scientific institutions in the context of the development of digital systems in agriculture // Machinery and equipment for the village. 2024, no. 5 (323), pp. 2–9. (In Russ.)
  15. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 4. С. 4–12.  
*Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S.* Principles of formation of systems of machines and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production // Agricultural machines and technologies. 2022, vol. 16, no. 4, pp. 4–12. (In Russ.)
  16. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 4. С. 63–68.  
*Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al.* On the synthesis of a robotic agricultural mobile unit // Bulletin of Russian Agricultural Science. 2019, no. 4, pp. 63–68. (In Russ.)
  17. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Лунина О.И. От продовольственной безопасности к безопасности и качеству продовольствия // Пищевая промышленность. 2021. № 2. С. 8–14.  
*Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Lunina O.I.* From food security to food safety and quality // Food industry. 2021, no. 2, pp. 8–14. (In Russ.)
  18. Алтухов А.И. Основные результаты фундаментальных научных исследований по аграрной экономике

страны в 2023 году // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 6. С. 58–63.

*Altukhov A.I.* Main results of fundamental scientific research on the country's agricultural economy in 2023 // Economics of Agriculture of Russia. 2024, no. 6, pp. 58–63. (In Russ.)

19. *Ценч Ю.С.* Подготовка новой генерации молодых исследователей в научных учреждениях // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 3. С. 3–8.

*Tsench Yu.S.* Training a new generation of young researchers in scientific institutions // Russian Agricultural Science. 2023, no. 3, pp. 3–8. (In Russ.)

## AGRICULTURAL SCIENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Yu.F. Lachuga<sup>a,\*</sup>, Ya.P. Lobachevsky<sup>a,\*\*</sup>, A.A. Alferov<sup>a,\*\*\*</sup>**

<sup>a</sup>*Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: akadema1907@mail.ru*

<sup>\*\*</sup>*E-mail: lobachevsky@yandex.ru*

<sup>\*\*\*</sup>*E-mail: alferov72@yandex.ru*

The article discusses the main directions and results of scientific research in the field of agricultural sciences within the framework of the Program of Fundamental Scientific Research in the Russian Federation for the long-term period (2021–2030), which allow strengthening the innovative scientific and technological potential of the country's agro-industrial complex. The main efforts of scientists of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences are aimed at solving problems in the field of agriculture, land reclamation, water and forestry, crop production and plant protection, animal husbandry and veterinary medicine, agricultural mechanization, storage and processing of agricultural products, agricultural economics, spatial development of rural areas. The authors note a systemic transition in research methods associated with the use of digital technologies, genetic and biotechnologies, neural networks, artificial intelligence, automation and robotics. Agricultural science has achieved significant results: highly productive plant varieties and animal breeds, poultry crosses have been bred and are widely introduced; agro-landscape adaptive farming systems and agroforestry methods to combat soil desertification have been developed; highly effective preparations for plant and animal protection have been created, as well as modern robotic technical means for plant growing, livestock farming and processing of products, safe functional food products.

**Keywords:** agricultural sciences, agriculture, land reclamation, crop production, animal husbandry, veterinary medicine, mechanization, automation, electrification, storage and processing of agricultural products, economics.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## ПРИОРИТЕТНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА – ПЕРВООСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

© 2025 г. А.И. Алтухов<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий –  
Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

\*E-mail: a.i.altuhov@vniiesh.ru

Поступила в редакцию 17.03.2025 г.

После доработки 17.03.2025 г.

Принята к публикации 05.04.2025 г.

Сельское хозяйство – один из стратегически важных секторов экономики страны, первооснова и гарантия надёжного обеспечения продовольственной безопасности, преодоления существенного разрыва в уровне и качестве жизни городского и сельского населения. Сельские территории остаются одним из важнейших национальных ресурсов, где производится от 16 до 22% валового внутреннего продукта страны. Несмотря на неблагоприятные макроэкономические условия, сельское хозяйство в числе многих отраслей экономики достигло относительно высоких результатов. Однако в отрасли не только сохраняются старые, но и появляются новые системные проблемы, решение которых связано как с рациональным использованием огромного аграрного потенциала, так и с приоритетной поддержкой отрасли и сельских территорий. Сельское хозяйство, ориентированное на реализацию модели инновационно-инвестиционного развития, способно надёжно обеспечить национальную продовольственную безопасность, повысить роль страны в качестве крупного мирового экспортёра аграрной и продовольственной продукции. Приоритетом государственной стратегии применительно к аграрному сектору должно стать его развитие преимущественно опережающего, а не догоняющего типа, вне зависимости от разного рода внутренних и внешних рисков, угроз и вызовов, а также форс-мажорных обстоятельств.

**Ключевые слова:** приоритетное развитие, сельское хозяйство, обеспечение продовольственной безопасности, аграрный потенциал, сельские территории, самообеспечение, основные виды сельскохозяйственной и продовольственной продукции, агропромышленный комплекс, расширенное воспроизводство, государственная поддержка, инновационно-инвестиционная активность, социально-экономическая ситуация.

DOI: 10.31857/S0869587325060025, EDN: FAKYRQ

В России сельское хозяйство по объёмам многих вовлечённых ресурсов, масштабам производства продукции, её разнообразию и социально-эконо-



АЛТУХОВ Анатолий Иванович – академик РАН, заведующий отделом ФНЦ ВНИИЭСХ.

мической значимости – не только базовая отрасль агропромышленного комплекса, но один из стратегически важных секторов экономики страны, первооснова и гарантия продовольственной безопасности, преодоления существенного разрыва между уровнем и качеством жизни городского и сельского населения. Именно по успехам или неудачам в сельском хозяйстве можно во многом судить не только о надёжном обеспечении населения физически и экономически доступным и качественным продовольствием, об уровне благосостояния, но и о престиже страны в мире. Роль сельскохозяйственной отрасли определяется в том числе геополитическим положением России с её огромной, но относительно слабозаселённой территорией, значительную часть которой занимает сельское

пространство. Традиционно сельские территории были и остаются одним из важнейших национальных ресурсов страны, на которых производится от 16 до 22% её валового внутреннего продукта и проживает одна четверть населения [1, с. 5; 2]. Сельское хозяйство в совокупности с сельскими территориями отличают уникальные особенности, которыми не обладает ни одна другая отрасль национальной экономики.

Каждый работник сельского хозяйства обеспечивает занятость в смежных отраслях экономики от 5 до 7 работников. Значительно и мультипликативное его воздействие на большинство других видов экономической деятельности через взаимодействия почти с 60 отраслями и подотраслями экономики. Существенно влияние сельского хозяйства на динамику цен на продовольственные товары и инфляцию, а в конечном счёте и на жизненный уровень населения и социально-экономическую стабильность в стране. Например, в 2023 г. удельный вес продовольственных товаров на потребительском рынке составлял 47.8% товарной структуры розничного товарооборота продовольственных и непродовольственных товаров. На долю расходов населения на продовольствие в общем их объёме приходилось 31.5%, сельского населения — 37.2%, а в группах с низкими доходами — 47.8% [3].

Развитие сельского хозяйства оказывает влияние не только на состояние агропромышленного комплекса, но и на всю экономику. Оно активно стимулирует или, наоборот, сдерживает развитие смежных с ним отраслей. В последние годы Россия вошла в десятку стран по объёму добавленной стоимости, произведённой в аграрном секторе, успешно решает вопросы обеспечения продовольственной безопасности. Наша страна приобрела статус одного из крупных нетто-экспортёров сельскохозяйственной и продовольственной продукции, поставляя её более чем в 160 стран, заняв лидирующие позиции по экспорту зерна — одной из ключевых составляющих мировой продовольственной безопасности. Продовольственная самодостаточность — реальное конкурентное преимущество Российской Федерации, а растущий экспорт зерна, особенно пшеницы, значительно укрепил и расширил политический имидж страны в мире. Сельское хозяйство — это ключевая отрасль агропромышленного комплекса и экономики, особый уклад жизни одной четверти населения страны, которое не только сохраняет её культурные и национальные традиции, но и во многом обеспечивает социальный и административный контроль над обширной малозаселённой территорией, административно-территориальную целостность государства.

Сельское хозяйство неотделимо от сельских территорий и сельского населения. Самобытность страны во многом обязана именно сельскому образу жизни и ведению сельского хозяйства. Поэтому

и государству следует по-особому относиться к развитию сельского хозяйства и сельских территорий, исходя не только из их стратегической значимости для страны, но также из необходимости повышения жизненного уровня сельских жителей, учёта специфики ведения отрасли, её государственной поддержки.

**Развитие сельскохозяйственной отрасли и самообеспечение её продукцией.** В последние годы сельское хозяйство развивалось в сложной и далеко не однозначной социально-экономической ситуации, всё более приобретающей характер мобилизационной экономики в условиях расширения иностранных санкций и проведения СВО, а также необходимости в короткие сроки адаптироваться к разного рода рискам, угрозам, вызовам и форс-мажорным обстоятельствам. Однако и в этих неблагоприятных макроэкономических условиях сельское хозяйство среди немногих отраслей экономики достигло относительно высоких результатов, доказав, что если государство оказывает ему поддержку, даже скромную относительно его реальных потребностей и роли, то отрасль, используя накопленный за предшествующие годы запас прочности, может развиваться ускоренными темпами, опережая рост национальной экономики в целом и её приоритетных отраслей.

Сельское хозяйство стало одним из немногих секторов экономики, достигшим относительно высоких результатов импортозамещения за непродолжительное время, в условиях внутренней и внешней нестабильности, нарастания частоты природных катаклизмов. Если, например, в 2018–2023 гг. валовой внутренний продукт увеличился на 9.2%, промышленное производство — на 12.7%, то производство продукции сельского хозяйства — на 15.7%. Рост производства сельскохозяйственной продукции достигнут преимущественно за счёт крестьянских (фермерских) хозяйств (на 37.6%) и сельскохозяйственных организаций (на 25.1%) при одновременном спаде её производства в хозяйствах населения (на 13.2%) [3]. Основной прирост обеспечен благодаря ускоренному развитию растениеводства. Следует отметить присущее развитию отрасли противоречие: с одной стороны, сельское хозяйство показало традиционно высокую способность к выживанию, практически не снизив выпуск продукции в 2023 г. по сравнению с 2022 г., когда произошло резкое увеличение его объёма, с другой — сохраняется традиционно неустойчивый характер аграрного производства.

В 2012 г. по объёму производства продукции растениеводства Россия впервые превысила уровень 1990 г., а в целом по объёму валовой продукции сельского хозяйства показатель дореформенного года был превзойдён лишь в 2019 г., то есть спустя почти тридцать лет рыночных преобразований. Однако по продукции животноводства этот показатель

ещё не достигнут. В 2023 г. он составлял лишь 78.3% от уровня 1990 г. Вместе с тем в последнее время, несмотря на сложную макроэкономическую обстановку, сельское хозяйство демонстрировало относительно активную динамику развития. Нарастив производство продукции, обеспечивая во многом национальную продовольственную безопасность, расширяя внешнюю торговлю продовольственными товарами и сельскохозяйственным сырьём, отрасль вносит заметный вклад в укрепление экономики страны, её социально-экономическое развитие. В крайне неблагоприятных условиях сельское хозяйство оказалось способным надёжно обеспечивать продовольственную безопасность по основным видам аграрной и продовольственной продукции, сумело значительно нарастить экспортный потенциал.

Во многом именно благодаря ускоренному развитию сельского хозяйства удалось достичь пороговых значений национальной Доктрины продовольственной безопасности почти по всем основным видам сельскохозяйственной и продовольственной продукции (табл. 1). По зерну, сахару, растительному маслу, мясу и мясопродуктам, рыбе и рыбопродуктам показатель самообеспечения был существенно выше пороговых значений, что позволило сформировать по этим видам продукции экспортный потенциал. Например, в 2023 г. экспорт сельскохозяйственной и продовольственной продукции составил 37.6 млрд долл.; это всего на 13% меньше импорта таких товаров в 2013 г., когда он достиг 43.2 млрд долл. (самый высокий показатель).

По многим видам производства сельскохозяйственной и продовольственной продукции Россия не только сохранила свои позиции в мире, но и по некоторым из них (пшеница, семена подсолнечника, птица) существенно их укрепила, тем самым расширив своё участие в обеспечении глобальной продовольственной безопасности. Прирост производства в сельском хозяйстве позволил добиться импортозамещения по многим видам товаров на внутреннем агропродовольственном рынке, значительно сократить удельный вес импорта в потреблении основных видов сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, перейти к экспортоориентированной политике. Правда, значительная часть сельскохозяйственной и продовольственной продукции производится у нас с использованием импортных основных и оборотных средств производства.

В то же время достигнутые в последние годы успехи оказались недостаточными, чтобы:

- осуществлять в требуемых объёмах ускоренное импортозамещение по продукции скотоводства, овощеводства и плодоводства, по которым сложилась многолетняя относительно высокая импортная зависимость;
- наращивать экспорт продукции высокого предела;
- рационально сочетать интенсивные и экстенсивные факторы производства, эффективно использовать огромный аграрный потенциал, повышать качество и конкурентоспособность сельскохозяйственной и продовольственной продукции,

**Таблица 1.** Уровень самообеспечения основными видами сельскохозяйственной и продовольственной продукции в Российской Федерации, %

| Виды сельскохозяйственной и продовольственной продукции | Годы  |       |       |       |       |       | Пороговые значения Доктрины продовольственной безопасности |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------------------------------------|
|                                                         | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |                                                            |
| Зерно                                                   | 147.2 | 155.6 | 165.5 | 148.3 | 191.4 | 170.5 | 95                                                         |
| Масло растительное                                      | 157.3 | 178.8 | 195.9 | 182.0 | 192.6 | 226.9 | 90                                                         |
| Сахар                                                   | 108.0 | 126.8 | 99.9  | 100.6 | 101.6 | 108.5 | 90                                                         |
| Картофель                                               | 95.3  | 95.1  | 89.2  | 88.7  | 94.5  | 97.0  | 95                                                         |
| Овощи и бахчевые                                        | 87.2  | 87.7  | 86.3  | 86.5  | 88.5  | 89.4  | 90                                                         |
| Фрукты и ягоды                                          | 38.8  | 40.2  | 42.4  | 44.4  | 47.3  | 46.7  | 60                                                         |
| Молоко и молокопродукты (в пересчёте на молоко)         | 83.9  | 83.9  | 84.0  | 84.3  | 85.7  | 86.7  | 90                                                         |
| Мясо и мясопродукты (в пересчёте на мясо)               | 95.7  | 97.4  | 100.1 | 99.7  | 101.8 | 101.5 | 85                                                         |
| Яйца                                                    | 97.7  | 97.1  | 97.4  | 98.2  | 98.0  | н.д.  | —                                                          |
| Рыба и рыбные продукты                                  | 158.5 | 152.8 | 160.7 | 153.7 | 165.3 | 165.6 | 85                                                         |

Источник: составлено по данным национальных докладов [4].

сокращать неравномерность в темпах и уровне развития отдельных подотраслей сельского хозяйства;

- системно решать вопросы улучшения питания населения, ликвидации значительных различий по уровню и качеству питания между отдельными его категориями и регионами страны; неуклонно сокращать долю затрат домашних хозяйств на продовольствие в общих потребительских расходах, которая более чем вдвое превышает аналогичный показатель экономически развитых стран;

- сокращать значительную межрегиональную, региональную и внутрирегиональную дифференциацию в уровне и качестве жизни сельского населения, в социально-экономическом развитии села, смягчать социальное “опустынивание” сельских территорий, особенно в депрессивных и слабозаселённых регионах с неразвитой транспортной инфраструктурой;

- ускоренно развивать сельские территории, достойно оценивать труд работников сельского хозяйства, уровень оплаты которого остаётся почти на одну треть ниже, чем в целом по экономике, повышать престиж сельского образа жизни и особенно сельского труда;

- замедлять тенденции неравномерности в темпах и уровне социально-экономического развития отдельных подотраслей сельского хозяйства и сельских территорий, а также смягчать негативное влияние разного рода рисков, угроз, вызовов и форс-мажорных обстоятельств на обеспечение продовольственной безопасности;

- более активно замещать импортные основные и оборотные средства производства отечественными, укреплять материально-техническую и инфраструктурную базу производства и движения сельскохозяйственной и продовольственной продукции на внутренний и внешний агропродовольственные рынки;

- устойчиво повышать доходность сельского хозяйства и его подотраслей;

- существенно ускорить темпы технико-технологического обновления и модернизации подотраслей сельского хозяйства за счёт более активного привлечения инвестиций в основной капитал, совершенствования ценообразования между сферами и отраслями агропромышленного комплекса и особенно внутри них.

Таким образом, пока положительные результаты развития сельского хозяйства не в полной мере соответствуют огромному аграрному потенциалу страны как с точки зрения его рационального использования, так и с точки зрения вовлечения неиспользуемых производственных ресурсов. Достаточно сказать, что Россия входит в первую пятёрку стран по площади пашни на душу населения, что втрое превышает среднемировой показатель. На нашу страну приходится 8.7% мировой площади

пашни и свыше половины чернозёмных почв, а также более одной четверти мировых запасов пресной воды. Мы производим около 10% мирового объёма минеральных удобрений, располагаем одним из самых крупных энергетических потенциалов в мире. Вместе с тем, составляя в численности населения планеты 1.9%, доля нашей страны в мировом экспорте сельскохозяйственной и продовольственной продукции составляет лишь 1.5% — это 17-е место в мире. Российский экспорт по-прежнему носит преимущественно сырьевой характер.

**Особенности государственной поддержки сельского хозяйства.** В последние годы основным механизмом инновационно-инвестиционного развития сельского хозяйства и обеспечения национальной продовольственной безопасности являлась реализация двух федеральных проектов Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия — “Развитие отраслей и техническая модернизация агропромышленного комплекса” и “Стимулирование инвестиционной деятельности в агропромышленном комплексе”. В 2023 г. на их финансирование было направлено 74.6% всех средств Государственной программы, из которых на второй проект приходилось 50.7% ресурсного обеспечения её реализации.

В стране по-прежнему основным механизмом, обеспечивающим приток инвестиций в агропромышленное производство, остаётся льготное кредитование. Например, в 2023 г. 60.1% выделенных субсидий на реализацию федерального проекта “Стимулирование инвестиционной деятельности в агропромышленном комплексе” приходилось на льготные краткосрочные кредиты и лишь 39.9% — на льготные инвестиционные кредиты. Государственной программой было предусмотрено достижение объёма льготных краткосрочных и долгосрочных кредитов в размере не менее 9.4 руб. из расчёта на 1 руб. предоставленного размера субсидий. Фактический показатель по краткосрочным кредитам составил 25.2 руб., а по инвестиционным — 16.4 руб. [5, с. 11, 64].

Однако в инвестиционном кредитовании почти до половины кредитных ресурсов направляется на поддержку ранее выданных кредитов. Поэтому на вновь выдаваемые кредиты приходится недостаточные объёмы государственной поддержки. Кроме того, в привлечении кредитных ресурсов сохраняется значительная региональная дифференциация, поскольку государственной поддержкой пользуется лишь пятая часть регионов. Объёмы государственной поддержки малых форм хозяйствования хронически недостаточные, а повышение ключевой ставки Центрального банка России в условиях высокой инфляции и неустойчивого курса рубля способствует сужению кредитования сельского хозяйства, что ведёт к падению объёмов производства продукции,

неуклонному росту издержек, снижению технического уровня и эффективности отрасли. В этих условиях важное значение приобретает выстраивание более эффективной и сбалансированной системы государственной поддержки сельхозпроизводителей. Следует отметить, что с 2013 по 2023 г. объём государственной поддержки в текущих ценах увеличился в 2.2 раза, но в сопоставимых ценах он был лишь на 9.1% выше уровня 2013 г.

Здесь необходимо подчеркнуть, что Россия относится к странам с относительно низким уровнем поддержки сельского хозяйства по сравнению со многими развитыми и даже развивающимися государствами. Среди них наша страна в лучшем случае занимает средние места в мировых рейтингах (удельный вес в валовом внутреннем продукте, валовом доходе и расходах потребителей). Современный уровень государственной поддержки отечественного сельского хозяйства хотя и обеспечивает относительные успехи в его развитии, но не позволяет более активно решать системные проблемы отрасли и сельских территорий, применять не отдельные меры, а комплексный подход, опираясь прежде всего на эффективное использование внутренних производственных ресурсов. В первую очередь это касается ликвидации технико-технологической зависимости сельского хозяйства от импортных поставок техники и технологий. Без них невозможно ускоренно наращивать производство дефицитных видов сельскохозяйственной продукции.

Низкая и неустойчивая доходность сельского хозяйства в сочетании с недостаточностью, а часто и непредсказуемостью объёмов государственной поддержки не только сохраняет, но и усиливает наличие старых и возникновение новых системных проблем в развитии отрасли. Многие хозяйствующие субъекты не располагают необходимыми воспроизводственными возможностями, а значит, не могут в полной мере использовать достижения научно-технического прогресса, проводить более активную технико-технологическую модернизацию, совершенствовать инновационно-инвестиционную деятельность.

Даже на фоне опережающих темпов увеличения производства продукции сельского хозяйства по сравнению с темпами роста валового внутреннего продукта макроэкономические показатели отрасли ухудшаются. Находясь не только в более сложных и неблагоприятных природных и макроэкономических условиях по сравнению с зарубежными фермерами большинства экономически развитых стран, традиционно получая значительно меньшую государственную и кооперативную государственную поддержку по сравнению с ними, отечественные сельскохозяйственные товаропроизводители в отдельные годы в виде разного рода налогов и сборов выплачивали государству сумму, которая в 1.2–1.7 раза превышала объём финансирования

Государственной программы и в 1.4–3.6 раза – размеры полученных субсидий. Причём это происходит в условиях, когда многие сельхозпредприятия неплатёжеспособны, когда растёт их кредиторская задолженность, достигшая в 2023 г. 5.2 трлн руб., несмотря на почти ежегодное введение новых механизмов государственной поддержки отрасли.

**Инвестиции и развитие агропроизводства.** Неблагоприятные макроэкономические условия ведения сельского хозяйства в сочетании с его относительно низким технико-технологическим уровнем и недостатками в регулировании воспроизводства в отрасли – основные причины отставания от мировых показателей урожайности большинства сельскохозяйственных культур и продуктивности животных, а также относительно невысокой конкурентоспособности производства отдельных видов продукции.

Доходность аграрного сектора определяется в первую очередь *активным привлечением инвестиций* в основной капитал, что позволяет противостоять воздействию негативных факторов, таких, например, как недостатки денежно-кредитной политики, ограничивающей доступ сельхозпроизводителей к кредитам. В настоящее время отмечается значительная региональная дифференциация по масштабам привлечения инвестиций в отрасль, низкая доступность кредитных ресурсов для большинства товаропроизводителей, особенно для крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей. Хроническая инвестиционная недостаточность остаётся одним из основных сдерживающих факторов развития сельского хозяйства. Привлечение средств в отрасль характеризуется крайне неустойчивой динамикой. Так, за период с 2016 по 2023 г. темпы роста вложений в основной капитал в среднем по экономике существенно опережали показатели в сельском хозяйстве. Если в целом по экономике они составили 37.1%, то в сельском хозяйстве – 28.0%, а в растениеводстве и животноводстве – лишь 13.3% [3].

Государственная поддержка сельского хозяйства традиционно направлена преимущественно на крупный бизнес. Она существенно различается по годам и не всегда способствует решению стратегических задач по технико-технологическому перевооружению отрасли, переводу её подотраслей на *инновационно-инвестиционную модель* функционирования. Положение с активным привлечением вложений в отрасль осложнено ещё и тем обстоятельством, что они не только ниже, чем в целом по экономике, но и по сравнению с производством пищевых продуктов и напитков, которое составляет третью сферу агропромышленного комплекса. Несмотря на это, с 2017 по 2023 г. эффективность привлечения инвестиций в основной капитал отрасли возросла в 1.8 раза, что свидетельствует об их высокой востребованности хозяйствами разных типов.

Одним из основных критериев, характеризующих инвестиционную активность сельского хозяйства и его отдельных подотраслей, является динамика развития *активных предприятий*<sup>1</sup>. Однако изменение этого показателя свидетельствует о неблагоприятной тенденции. Если в 2019–2023 гг. в экономике страны количество активных предприятий сократилось на 17.5%, то в сельском и лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве — на 19.3%. Сравнительно быстро увеличивается число угасающих предприятий. Их доля в экономике выросла с 2.0 до 7.0%, а в сельском и лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве, рыбоводстве — с 3.1 до 9.2% [3]. Это тревожный сигнал. Одна из основных причин здесь — многочисленные зарубежные санкции при высокой зависимости от импортных поставок оборотных и основных средств производства.

Как правило, инвестиционная деятельность в российском сельском хозяйстве осуществляется преимущественно за счёт собственных средств предприятий (56.7–67.0% в 2020–2023 гг.), а также привлечения кредитов и займов. Средства федерального бюджета и бюджетов субъектов федерации составляют лишь 2.9–3.7%, что слишком мало для *инновационно-инвестиционной модели* развития отрасли за счёт использования прорывных отечественных технологий. Инновационно-инвестиционный процесс протекает вяло, в основном по инерционному сценарию.

В стране неуклонно усиливается дифференциация в технико-технологическом обеспечении, экономическом и социальном положении сельскохозяйственных товаропроизводителей. Сохраняется многоукладность — от стагнирующего, почти примитивного уклада абсолютного большинства мелких хозяйств до высокотехнологичного, характерного для крупных сельскохозяйственных организаций (агрохолдингов), как правило расположенных на территориях с относительно высоким биоклиматическим потенциалом, развитой транспортной и логистической инфраструктурой и близлежащими рынками сбыта продукции.

**Рентабельность и конкурентоспособность сельхозпроизводителей.** Как известно, в силу объективных условий сельское хозяйство обладает более низкой конкурентоспособностью по сравнению с другими отраслями экономики. Для него характерны зависимость результатов от природных условий и сезонность, высокая фондоёмкость, низкая норма прибыли по отдельным подотраслям, непрестижность труда, относительно высокая конкуренция на внутреннем и внешнем продуктовых сегментах агропродовольственного рынка, хроническая инве-

стиционная недостаточность, слабая инновационно-инвестиционная активность прежде всего из-за низкой и неустойчивой доходности подавляющего большинства сельскохозяйственных товаропроизводителей, особенно расположенных в депрессивных регионах и на сельских территориях преимущественно очагового ведения хозяйства на фоне слабого развития транспортной инфраструктуры. Несмотря на то, что в последние годы число таких территорий неуклонно сокращалось, многие из них по-прежнему низкорентабельны или даже убыточны (табл. 2).

В то же время следует учитывать, что, с одной стороны, сельское хозяйство обеспечивает один из самых высоких мультипликативных эффектов среди отраслей агропромышленного комплекса, а с другой стороны, оно активно реагирует на поддержку государства. Например, в 2019–2023 гг. в среднем на 1 руб. финансирования в рамках государственной программы приходилось 18–23 руб. произведённой сельскохозяйственной продукции. Если же учитывать только субсидии, предоставляемые непосредственно сельскохозяйственным товаропроизводителям, исключая поддержку АО «Росагролизинг», АО «Российские железные дороги», уполномоченных банков и других обеспечивающих структур, а также финансирование выполнения других функций государственных органов, то эффективность значительно выше: на 1 руб. субсидий приходится 45–53 руб. сельскохозяйственной продукции [6]. В этой связи особую актуальность приобретает рациональное распределение субсидий не только между товаропроизводителями, но и направлениями государственной поддержки.

В 2018–2023 гг. в стране происходило сокращение убыточных сельскохозяйственных организаций в общей их численности, хотя этот процесс носил неустойчивый характер, вследствие чего удельный вес таких хозяйств колебался в пределах от 13.5 до 18.1% (табл. 3). Сохраняющиеся относительно низкая доходность и убыточность значительной части товарных хозяйств практически лишают их возможности привлекать необходимые инвестиции, в том числе для ускоренного технико-технологического обновления. В результате в 2023 г., по оценке Минсельхоза России, индекс технологического суверенитета<sup>2</sup> продовольственной безопасности составил лишь 56.7% [7].

В 2023 г. без государственной поддержки уровень рентабельности сельскохозяйственных организаций составил 15.2%, а с учётом субсидий — 19.1%, что явно недостаточно для устойчивого расширенного воспроизводства в отрасли. Необходимо учитывать, что основная доля её прибыли сконцентрирована

<sup>1</sup> Активная компания в международной классификации — предприятие, у которого в предыдущем календарном/финансовом году не более 50% валового дохода получено пассивно (через инвестиции, дивиденды и другие источники).

<sup>2</sup> Индекс технологического суверенитета — это многомерный комплексный показатель, который позволяет оценить уровень потенциального риска в отношении тех или иных технологий и определить барьеры их развития.

**Таблица 2.** Группировка российских регионов по уровню рентабельности/убыточности по всей деятельности сельскохозяйственных организаций (без субсидий)

| Группы регионов по уровню рентабельности (убыточности) | Количество регионов в группе |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                        | годы                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                                        | 2014                         | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Уровень убыточности: до -10%                           | 21                           | 10   | 15   | 15   | 15   | 15   | 10   | 10   | 6    | 6    |
| -10.1 – -20.0%                                         | 5                            | 3    | 4    | 7    | 5    | 6    | 3    | —    | 1    | 2    |
| ниже -20%                                              | 10                           | 11   | 8    | 8    | 7    | 8    | 7    | 9    | 7    | 6    |
| Итого убыточных                                        | 36                           | 24   | 27   | 30   | 27   | 29   | 20   | 19   | 14   | 14   |
| Уровень рентабельности: до 10%                         | 26                           | 32   | 32   | 37   | 37   | 33   | 27   | 17   | 24   | 26   |
| 10.1–20.0%                                             | 10                           | 16   | 14   | 13   | 14   | 16   | 15   | 19   | 28   | 27   |
| свыше 20%                                              | 10                           | 10   | 9    | 2    | 4    | 3    | 19   | 25   | 14   | 13   |
| Итого рентабельных                                     | 46                           | 58   | 55   | 52   | 55   | 52   | 61   | 61   | 66   | 66   |
| Всего регионов                                         | 82                           | 82   | 82   | 82   | 82   | 81   | 81   | 80   | 80   | 80   |

Источник: составлено и рассчитано по данным Росстата [3].

**Таблица 3.** Группировка сельскохозяйственных организаций Российской Федерации по уровню рентабельности (с учётом субсидий), %\*

| Аграрные предприятия                              | Годы                  |                       |                       |                       |                       |                       |
|---------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                   | 2018                  | 2019                  | 2020                  | 2021                  | 2022                  | 2023                  |
| Всего                                             | <u>17518</u><br>100.0 | <u>16718</u><br>100.0 | <u>16298</u><br>100.0 | <u>15939</u><br>100.0 | <u>15841</u><br>100.0 | <u>15556</u><br>100.0 |
| из них по уровню рентабельности, %:<br>от 0 до 20 | <u>9361</u><br>53.4   | <u>8791</u><br>52.6   | <u>7033</u><br>43.2   | <u>6552</u><br>41.1   | <u>6946</u><br>43.8   | <u>7846</u><br>50.4   |
| от 20 до 30                                       | <u>1747</u><br>10.0   | <u>1803</u><br>10.8   | <u>1706</u><br>10.5   | <u>1475</u><br>9.3    | <u>1741</u><br>11.0   | н.д                   |
| свыше 30                                          | <u>3486</u><br>19.9   | <u>3531</u><br>21.1   | <u>5346</u><br>32.8   | <u>5757</u><br>36.1   | <u>4957</u><br>31.3   | н.д                   |
| Итого: рентабельных                               | <u>14594</u><br>83.3  | <u>14125</u><br>84.5  | <u>14085</u><br>86.4  | <u>13787</u><br>86.5  | <u>13644</u><br>86.1  | <u>12742</u><br>81.9  |
| убыточных                                         | <u>2924</u><br>16.7   | <u>2593</u><br>15.5   | <u>2213</u><br>13.6   | <u>2149</u><br>13.5   | <u>2197</u><br>13.9   | <u>2824</u><br>18.1   |

\*В числителе — количество сельскохозяйственных организаций, в знаменателе — доля группы, %.

Источник: составлено и рассчитано по данным национальных докладов [4].

в сравнительно небольшой группе сельскохозяйственных организаций, которые по преимуществу являются частью крупных агрохолдингов, пользующихся, как правило в приоритетном порядке, крупномасштабной государственной поддержкой.

Несмотря на увеличение объёма производства продукции сельского хозяйства и её доходности, прибыль большинства предприятий неустойчива и не может обеспечить расширенное воспроизвод-

ство. Так, у более чем половины основной товарной категории хозяйств уровень рентабельности, даже с учётом субсидий, не превышает 20%, что явно недостаточно в условиях высокой инфляции и высокой ключевой ставки Центрального банка России. Только у около одной трети высокоприбыльных сельскохозяйственных организаций рентабельность достигает уровня, необходимого для расширенного воспроизводства и инновационно-инвестиционного развития. Решению этой проблемы не

способствует и относительно низкий уровень государственной поддержки отрасли (табл. 4).

Вследствие преимущественно низкой и неустойчивой доходности значительной части сельскохозяйственных организаций страны медленными темпами обновляется сельскохозяйственная техника, стоимость которой неуклонно увеличивается, намного опережая темпы прироста производства сельскохозяйственной продукции. Современный уровень отечественного производства основных видов техники и сохраняющийся её значительный импорт не позволяют восполнить даже её выбытие. В результате обеспеченность сельхозтехникой практически не увеличивается, а это подрывает доходность предприятий, что, в свою очередь, тормозит развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения.

#### **Сельское хозяйство и платёжеспособный спрос.**

Хотя в 2010–2023 гг. сельское хозяйство развивалось более динамично, чем экономика страны в целом и её промышленное производство, однако темп роста цен на его продукцию существенно уступал аналогичному показателю двух других сфер агропромышленного комплекса (во-первых, отрасли промышленности, обеспечивающие АПК средствами производства; во-вторых, совокупность отраслей и предприятий, обеспечивающих заготовку, транспортировку, хранение, переработку сельскохозяйственного сырья, а также реализацию конечной продукции) и росту потребительских цен. Например, если цены производителей сельскохозяйственной продукции увеличились в 2.2 раза,

то в первой и третьей сферах агропромышленного комплекса — в 2.6 раза, а потребительские цены — в 2.9 раза. Даже несмотря на то, что в 2019–2023 гг. цены производителей сельскохозяйственной продукции несколько приблизились к другим сферам агропромышленного комплекса, они по-прежнему оставались более низкими. Если за пятилетний период цены на сельскохозяйственную продукцию повысились на 33.4%, то на промышленные товары и услуги — на 42.1%. При этом цены на продукцию пищевой промышленности увеличились на 43.6%, а на потребительском рынке — на 45.3% [3]. Таким образом, внутри агропромышленного комплекса наиболее незащищённым сектором по-прежнему остаётся сельское хозяйство.

Весомый макроэкономический фактор, осложняющий развитие сельского хозяйства, — нестабильность и относительно низкий уровень платёжеспособного спроса населения, реальные доходы которого растут медленными темпами, а в отдельные годы даже снижаются (табл. 5). Это негативно сказывается на потреблении отдельных пищевых продуктов, особенно в первой децильной группе домашних хозяйств (самые бедные), где доля расходов на продукты питания в потребительских расходах в 2.7 раза больше, чем в десятой децильной группе (самые состоятельные). Бедные слои не могут позволить себе уровень питания, отвечающий рекомендованным рациональным нормам потребления, ни по одному виду пищевых продуктов. Особенно это относится к потреблению овощей, фруктов и ягод, молочной и мясной продукции, рыбы и рыбной продукции, по которым уровень

**Таблица 4.** Рентабельность российских сельскохозяйственных организаций

| Показатели                                                                                       | Годы |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                  | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Рентабельность всей деятельности, %: с учётом субсидий                                           | 12.5 | 13.3 | 21.0 | 25.6 | 20.3 | 19.1 |
| без учёта субсидий                                                                               | 6.3  | 8.0  | 16.3 | 21.2 | 16.3 | 15.2 |
| Удельный вес субсидий, %                                                                         | 6.2  | 5.3  | 4.7  | 4.4  | 4.0  | 3.9  |
| Рентабельность сельскохозяйственной продукции и продуктов её переработки (без учёта субсидий), % | 14.4 | 15.0 | 22.7 | 26.5 | 21.4 | 21.2 |
| в том числе продукции: растениеводства                                                           | 23.0 | 26.1 | 47.1 | 59.0 | 40.2 | 26.2 |
| животноводства                                                                                   | 9.1  | 10.2 | 10.8 | 11.3 | 13.9 | 18.1 |
| первичной переработки                                                                            | 7.5  | 7.5  | 4.9  | 7.5  | 8.1  | 18.3 |
| из неё: растениеводства                                                                          | н.д. | 9.9  | 15.5 | 20.0 | 19.8 | 25.2 |
| животноводства                                                                                   | н.д. | 7.3  | 3.8  | 6.2  | 6.9  | 17.6 |
| промышленной переработки                                                                         | н.д. | 7.4  | 5.8  | 4.6  | 9.1  | 13.4 |

Источник: составлено и рассчитано по данным Росстата [3].

**Таблица 5.** Динамика среднедушевых и реально располагаемых денежных доходов населения в Российской Федерации, % к предыдущему году

| Показатели                    | Годы  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
| Среднедушевые денежные доходы | 106.6 | 113.3 | 101.9 | 103.2 | 104.5 | 106.3 | 102.0 | 111.1 | 118.7 | 112.1 |
| Реально располагаемые доходы  | 98.8  | 97.6  | 95.5  | 99.5  | 100.7 | 101.2 | 98.0  | 103.3 | 104.5 | 105.8 |

Источник: составлено и рассчитано по данным Росстата [3].

потребления в 1.8–2.7 раза ниже по сравнению с наиболее состоятельными слоями.

Осложняет развитие сельского хозяйства и обеспечение населения продовольствием сохраняющаяся относительно высокая доля импортных продовольственных товаров в товарных ресурсах розничной торговли, которая с 2016 г. практически не снижается. Более того, в последние годы наблюдается падение покупательной способности населения по мясопродуктам, молокопродуктам и сахару. Возможности развития отрасли ограничивает не только невысокий платёжеспособный спрос, но и значительная дифференциация доходов населения, достигающая почти 14 раз. Относительно низкие доходы и более высокий уровень бедности на селе означают в том числе худшую структуру потребления пищевых продуктов, чем в городе. Поэтому актуальность проблемы национальной продовольственной безопасности — во многом следствие бедности и низких доходов сельского населения.

\* \* \*

Несмотря на достигнутые сельским хозяйством положительные результаты, его развитие по-прежнему остаётся не только отраслевой, но и крупной межотраслевой проблемой. Её решение в первую очередь определяется проводимой государством социально-экономической и аграрной политикой, соблюдением принципа приоритетности обеспечения страны продовольствием. Однако при сложившейся системе государственной поддержки сельского хозяйства, при дефиците инвестиций (даже на фоне увеличения их объёма) сохраняются разного рода трудности, связанные, например, с внедрением и использованием инноваций. По существу, сельское хозяйство не получает приоритетной государственной поддержки, если оценивать её по основным макроэкономическим показателям.

Вклад сельского хозяйства в благосостояние страны и народа значительно больше, чем его доля в сальдированном финансовом результате, расходах консолидированного бюджета и инвестициях в основной капитал. Например, в 2023 г. при 3.3% удельного веса отрасли в валовой добавленной стои-

мости, её доля в сальдовом финансовом результате составляла 2.2%, в инвестициях в их общем объёме — 3.2%, а в общих расходах консолидированного бюджета страны — лишь 1.0% [3]. Такая ситуация с государственной поддержкой аграрного сектора сложилась не только из-за неблагоприятных внешних условий, но и во многом в силу неустойчивости национальной экономики и проводимой государством макроэкономической политики, когда в силу разных причин сельское хозяйство не получает даже минимально необходимых финансовых средств для развития, тем более приоритетного.

Согласно Стратегии технологического развития Российской Федерации, с 2022 г. начался этап мобилизационного развития научно-технологической сферы в условиях санкционного давления. Этот этап сопровождается консолидацией общества и хозяйствующих субъектов для решения задач научно-технологического развития страны. Поэтому остро встал вопрос о необходимости выстраивания независимой научно-технологической политики. В её основе должна лежать стратегия активного импортозамещения с ориентацией на внутренние ресурсы, рынок и производителя, на разработку отечественных технологических решений, которые позволят в будущем вне зависимости от геополитических и иных негативных факторов стабильно повышать уровень продовольственной безопасности, а также преодолевать глобальные вызовы с наименьшими потерями для общества и государства. Это касается и сельского хозяйства, развитие которого непосредственно влияет на достижение национальных целей и напрямую связано с качеством и уровнем жизни населения, прежде всего сельского, и социально-экономическим развитием сельских территорий.

Поскольку положительные результаты деятельности сельскохозяйственной отрасли не в полной мере соответствуют рациональному использованию огромного аграрного потенциала страны, то согласно майскому Указу Президента Российской Федерации необходимо к 2030 г. обеспечить рост объёма производства продукции АПК не менее чем на 25% по сравнению с уровнем 2021 г. и не менее чем в 1.5 раза нарастить её экспорт, увеличить объём

инвестиций в ключевых отраслях на 70% [8]. Для этого, в частности, предстоит:

- консолидировать усилия государственной власти, науки и бизнес-сообщества для устойчивого развития АПК, повысить конкурентоспособность его продукции на внутреннем и внешнем агропродовольственных рынках, эффективно использовать преимущества международного разделения труда в агропромышленном производстве, особенно с дружественными странами;
- обосновать возможность и применение эффективных моделей и социально-экономических механизмов для ускоренной структурной и технологической модернизации АПК, перевода сельского хозяйства на инновационно-инвестиционный путь развития на основе прорывных отечественных технологий;
- повысить инвестиционную активность сельского хозяйства на основе эффективных организационно-экономических механизмов внедрения и освоения инноваций, совершенствования всей системы инновационно-инвестиционного развития сельскохозяйственного производства, более активной государственной поддержки отрасли и сельских территорий;
- реализовать систему эффективных организационно-экономических мер по совершенствованию инновационно-инвестиционной деятельности в сельском хозяйстве и его отдельных сегментах;
- сформировать необходимые экспортные ресурсы сельскохозяйственной и продовольственной продукции;
- принять оперативные и масштабные меры со стороны государства по реализации национальной аграрной политики, надёжному обеспечению продовольственной безопасности;
- приоритет сельскохозяйственной отрасли предполагает реализацию стратегии её развития преимущественно опережающего, а не догоняющего типа, вне зависимости от разного рода внутренних и внешних рисков, угроз и вызовов.

Только опираясь на рациональное использование огромного аграрного потенциала страны и активную государственную поддержку развития сельского хозяйства и сельских территорий, можно обеспечить динамичный и устойчивый рост производства сельскохозяйственных и продовольственных товаров и продовольственную безопасность, поднять жизненный уровень сельского населения, повысить роль страны в качестве крупного мирового экспортёра продукции АПК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Алтухов А.И.* Продовольственная безопасность России в условиях глобальных вызовов. М.: Сам полиграфист, 2024.
2. *Голубев А.В.* Значение сельской экономики для России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025. № 1. С. 2–5. DOI: 10.31442/0235-2494-2025-0-1-2-5  
*Golubev A.V.* The Importance of Rural Economy for Russia // Economy of Agricultural and Processing Enterprises. 2025, no. 1, pp. 2–5. DOI: 10.31442/0235-2494-2025-0-1-2-5
3. Федеральная служба государственной статистики (Росстат): офиц. сайт. <https://rosstat.gov.ru>  
Federal State Statistics Service (Rosstat): official website. <https://rosstat.gov.ru>
4. Национальные доклады о ходе и результатах реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия за соответствующие годы. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/ee2/ee27e6610427e83893ec7f8ff4206f87.pdf>; <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/d50/kwo0mqser6pl6ixpm9xo1v52l7yfxuf.pdf>; <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/01f/wvlhu8tr0anl6k2l10vzrqtl3qdradnp.pdf>  
National report on the progress and results of the implementation of the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets for the relevant years. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/ee2/ee27e6610427e83893ec7f8ff4206f87.pdf>; <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/d50/kwo0mqser6pl6ixpm9xo1v52l7yfxuf.pdf>; <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/01f/wvlhu8tr0anl6k2l10vzrqtl3qdradnp.pdf>
5. Национальный доклад “О ходе и результатах реализации в 2023 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия”. М.: Росинформагротех, 2024.  
National report “On the progress and results of the implementation in 2023 of the State program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets”. М.: Rosinfor-Magrotech, 2024.
6. *Маслова В.В.* Актуальные направления совершенствования господдержки аграрного сектора России // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 6. С. 9–17. <https://doi.org/10.32651/246-9>  
*Maslova V.V.* Actual directions for improving state support for the agricultural sector of Russia // Economics of Agriculture of Russia. 2024, no. 6, pp. 9–17. <https://doi.org/10.32651/246-9>
7. *Долгушкин Н.К.* Научное обеспечение продовольственной безопасности в условиях современных вызовов // Материалы форума “Научное обеспечение продовольственной безопасности в условиях глобальных вызовов”. М.: УНИД РАН, 2024. С. 16.

- Dolgushkin N.K.* Scientific support for food security in conditions of modern challenges // Proceedings of the forum “Scientific support for food security in the context of global challenges”. M.: UNID RAS, 2024. P. 16.
8. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542>
- Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024 No. 309 “On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542>
9. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 “Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации” // Информационно-правовой портал Гарант.РУ. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/?ysclid=llqvv2vyzt 788279274>
- Decree of the President of the Russian Federation of 21.01.2020 No. 20 “On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation” // Information and legal portal Garant.RU. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/ 73338425/?ysclid=llqvv2vyzt 788279274>
10. *Алтухов А.И.* Агропромышленный комплекс страны: состояние и возможности развития // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. № 1(107). С. 7–24. <https://doi.org/10.33938/241-7>
- Altukhov A.I.* Agro-industrial complex of the country: state and development opportunities // Economy, labor, management in agriculture. 2024, no. 1 (107), pp. 7–24. <https://doi.org/10.33938/241-7>

## PRIORITY DEVELOPMENT OF AGRICULTURE – THE BASIS FOR ENSURING FOOD SECURITY OF RUSSIA

A.I. Altukhov<sup>a,\*</sup>

*<sup>a</sup>Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development  
of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics,  
Moscow, Russia*

*\*E-mail: a.i.altuhov@vniiesh.ru*

Agriculture is one of the strategically important sectors of the country's economy, the primary basis and guarantee of reliable food security, overcoming the significant gap in the standard and quality of life of the urban and rural population. Rural areas remain one of the most important national resources, producing from 16 to 22% of the country's gross domestic product. Despite unfavorable macroeconomic conditions, agriculture is among the few sectors of the economy that has achieved relatively high results. However, not only old problems remain in the industry, but new systemic problems are also emerging, the solution of which is associated with both the rational use of the enormous agricultural potential and priority support for the industry and rural areas. Agriculture, focused on the implementation of the innovative and investment development model, is capable of reliably ensuring national food security, increasing the country's role as a major global exporter of agricultural and food products. The priority of the state strategy in relation to the agricultural sector should be its development of a predominantly advanced rather than catch-up type, regardless of various internal and external risks, threats and challenges, as well as force majeure circumstances.

**Keywords:** priority development, agriculture, ensuring food security, agricultural potential, rural areas, self-sufficiency, main types of agricultural and food products, agro-industrial complex, expanded reproduction, state support, innovation and investment activity, socio-economic situation.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ЭФФЕКТИВНОМУ РАЗВИТИЮ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

© 2025 г. И.Г. Ушачев<sup>а,\*</sup>, В.В. Маслова<sup>а,\*\*</sup>, Н.Ф. Зарук<sup>а,\*\*\*</sup>, М.В. Авдеев<sup>а,\*\*\*\*</sup>

*<sup>а</sup>Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия*

*\*E-mail: i.g.ushachev@vniiesh.ru;*

*\*\*E-mail: maslova.ec-fin@vniiesh.ru*

*\*\*\*E-mail: n.f.zaruk@vniiesh.ru*

*\*\*\*\*E-mail: avdeev.ec-fin@vniiesh.ru*

Поступила в редакцию 06.02.2025 г.

После доработки 06.02.2025 г.

Принята к публикации 04.04.2025 г.

Статья посвящена формированию и развитию цифровых экосистем в агропромышленном комплексе. Подчеркивается, что повышение эффективности, технологичности и конкурентоспособности агропроизводства требует использования экосистемных принципов. Проанализированы теоретико-методологические подходы к формированию экосистем, охарактеризовано нормативное правовое поле развития экономики данных и цифровой трансформации, рассмотрены направления цифровизации в АПК. Определена необходимость сформировать такую экосистему АПК, которая позволит беспрепятственно обмениваться информацией, технологиями, новыми знаниями, финансовыми ресурсами, чтобы повысить результативность, оперативность, прозрачность взаимодействия всех субъектов экосистемы, оптимизировав таким образом цепочки добавленной стоимости в АПК, сведя к минимуму затраты и риски, повысив эффективность системы управления в агропродовольственном секторе. Архитектуру цифровой экосистемы АПК предлагается выстроить из трёх взаимосвязанных и дополняющих друг друга контуров, ядром которых будет Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Важнейшим элементом третьего контура должна стать система комплексного мониторинга цен на агропродовольственном рынке, охватывающая всех участников производственно-сбытовой цепочки.

*Ключевые слова:* экосистема АПК, цифровые платформы, экосистемный междисциплинарный подход, Минсельхоз России, организационно-экономический механизм, цены, конкурентоспособность, эффективность, цифровая платформа “Цены и ценовые отношения в АПК”.

DOI: 10.31857/S0869587325060032, EDN: FAONBI

В современных условиях ключевым элементом производства товаров и оказания услуг, а также принятия управленческих решений становятся цифровые технологии и искусственный интеллект. Их использование призвано в первую очередь обеспечить эффективное распределение ресурсов и стимулировать рост отраслей экономики. В соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 цифровая

трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы – одна из национальных целей развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года [1].

Цифровая трансформация экономики представляет собой “процесс кардинального изменения формы экономической системы, в результате

УШАЧЕВ Иван Григорьевич – академик РАН, научный руководитель ФНЦ ВНИИЭСХ. МАСЛОВА Влада Вячеславовна – доктор экономических наук, профессор РАН, заведующая отделом исследования ценовых и финансово-кредитных отношений в АПК ФНЦ ВНИИЭСХ. ЗАРУК Наталья Фёдоровна – доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела исследования ценовых и финансово-кредитных отношений в АПК ФНЦ ВНИИЭСХ. АВДЕЕВ Михаил Викторович – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник отдела исследования ценовых и финансово-кредитных отношений в АПК ФНЦ ВНИИЭСХ.

поиска, разработки, внедрения и использования цифровых технологических новшеств для повышения эффективности выполнения своих функций всеми её структурными подразделениями” [2]. Что касается цифровизации АПК, то основная проблема здесь — использование ведомствами и организациями разнообразных информационных систем, их разобщённость, несовместимость и противоречивость поступающей из них информации, а значит, чтобы повысить управляемость отрасли, необходимо консолидировать достоверные данные в единой цифровой экосистеме.

Агропромышленный комплекс представляет собой сложную систему со специфичной организационно-функциональной (три сферы АПК: отрасли, производящие товары и услуги для сельского хозяйства; сельское хозяйство; отрасли по переработке сельскохозяйственной продукции и сырья; транспортировка, хранение и реализация продукции АПК), территориальной и продуктово-сырьевой структурой. При этом выработку и проведение единой агропромышленной политики обеспечивает Минсельхоз России.

В целях совершенствования организационного механизма АПК целесообразно базировать его функционирование на новых методологических подходах, в том числе системной цифровизации, которая является не только фактором экономического роста, но и условием жизнеспособности и конкурентоспособности АПК [3], что предполагает разработку новых систем управления и платформенных решений.

**Теоретико-методологические подходы.** В современных условиях возникает необходимость в разработке нового организационно-экономического механизма, в основу которого должен быть положен *экосистемный междисциплинарный подход*, согласно которому экономика предстаёт как совокупность самостоятельных, но функционально и инструментально взаимосвязанных социально-экономических систем.

Главными признаками системы являются, во-первых, структурированность (наличие подсистем или структуры системы), во-вторых, взаимосвязь составляющих её частей (целостность и связанность), в-третьих, целевая направленность (подчинённость всей системы определённой цели, в нашем случае — сбалансированному развитию и расширенному воспроизводству), в-четвёртых, эмерджентность системы, то есть возникновение у неё новых качеств в отличие от её компонентов, которые по отдельности этими свойствами не обладают.

По мнению некоторых учёных, “именно экосистемный подход обещает стать магистральной линией развития экономики в эпоху цифровизации” [4]. Основа развития экосистемы в АПК — формирование соответствующей цифровой платформы, которая представляет собой информационно-экономическую структуру, обеспечивающую “из-

менения архитектуры рынков товаров и услуг под влиянием распространения модульных цифровых платформ и применения платформенных технологий, которые позволяют подключить к единому информационному пространству людей, устройства и системы по всей цепочке создания добавленной стоимости, а также связанная с данным процессом трансформация бизнес-моделей” [4]. Впервые концепцию бизнес-экосистем в конце XX в. предложил Дж. Мур, определив их как “кластер взаимосвязанных субъектов, таких как различные типы фирм, университетов, научных парков и органов государственного управления, которые сосуществуют в общей среде и развиваются совместно” [5].

По мнению зарубежных экономистов, экосистемы могут объединять многофирменные и многопродуктовые рынки, которые “не могут быть охвачены стандартной теорией рыночной экономики, описываемой рыночной структурой, барьерами входа и выхода, базовой производственной структурой и степенью конкуренции” [6]. В связи с этим необходимо выработать новый, экосистемный, подход к устойчивому и эффективному функционированию таких рынков.

Российские учёные предлагают несколько трактовок понятия “экосистема”. Г.Б. Клейнер полагает, что “экосистема играет роль естественной оболочки для организации взаимодействия кластеров, платформ, сетей и бизнес-инкубаторов, подобно тому, как предприятия являются естественной структурой для совместного функционирования различных подразделений, инфраструктурных сред, бизнес-процессов и инновационных проектов” [7]. М.М. Морозов рассматривает экосистему как “совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых экономических субъектов, функционирующих в рамках единого цифрового пространства с целью достижения взаимовыгодных целей” [8]. А.А. Аузан, В.И. Абрамов, В.В. Гордеев, А.Л. Иванов, И.С. Шустова, К.Б. Костин, А.А. Березовская, А.Д. Тихонова отмечают, что цифровые экосистемы являются мощным инструментом для поддержки инноваций и технологического развития; они позволяют компаниям и организациям адаптироваться к новым условиям рынка, повышая их конкурентоспособность и устойчивость, улучшают взаимодействие между государством и обществом, причём успешное внедрение цифровых экосистем возможно только при учёте местных особенностей и потребностей [9–12]. Можно констатировать разнообразие подходов к созданию и развитию цифровых экосистем. Каждый из них подчёркивает те или иные аспекты этого процесса, что свидетельствует о многогранности и сложности проблемы. В целом обоснованно отмечается, что “цифровые экосистемы способны создавать собственные рынки, стирать отраслевые границы и способствовать решению глобальных проблем” [13].

Цифровая экосистема АПК должна представлять собой совокупность информационных платформ различного функционала с общим интерфейсом, что будет способствовать эффективной реализации сложного взаимодействия государства, субъектов АПК и потребителей, направленного на создание качественных конкурентоспособных продуктов, услуг, инноваций и технологий, в целях роста агропромышленного производства, повышения эффективности аграрной экономики.

**Правовое обеспечение цифровизации экономики.** Процесс трансформации российской экономики в цифровую начался ещё в 1990-х годах, но наиболее заметные изменения произошли в последние два десятилетия с активным развитием искусственного интеллекта, больших данных, блокчейн-технологий и других цифровых решений.

В этот период был принят ряд нормативных документов, регулирующих развитие цифровой экономики. Указом Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 утверждена “Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы”, в которой определены основные направления государственной политики в области цифрового развития страны, включая повышение доступности информационных ресурсов, обеспечение информационной безопасности и защиту прав граждан в информационном пространстве [14]. Ранее была принята Программа “Цифровая экономика Российской Федерации”, направленная на создание условий для перехода к цифровой экономике через развитие инфраструктуры, кадров, информационной безопасности, нормативно-правового регулирования. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ “Об информации, информационных технологиях и о защите информации” регулирует вопросы создания, обработки, хранения и распространения информации, а также защиты персональных данных и интеллектуальной собственности в цифровом пространстве. Федеральным законом от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ “О персональных данных” установлены правила сбора, хранения, обработки и передачи персональных данных физических лиц, что является важным элементом обеспечения конфиденциальности и безопасности в условиях цифровой экономики. Национальная программа “Цифровая экономика Российской Федерации”, завершённая в 2024 г., включала шесть федеральных проектов: нормативное регулирование, кадры для цифровой экономики, информационная инфраструктура, информационная безопасность, цифровые технологии и государственное управление. В целях создания конкурентоспособной, устойчивой и безопасной инфраструктуры высокоскоростной передачи данных, доступной для всех граждан, бизнеса и органов власти, осуществлялась цифровизация процессов предоставления государственных услуг (Госуслуги), подготовка кадров для ИТ-отрас-

ли, возникали новые компетенции и цифровые профессии. Это основные документы, которые формируют правовое поле развития цифровой экономики в России и определяют приоритеты и направления государственной политики в этой сфере.

Новый национальный проект “Экономика данных и цифровая трансформация государства” со сроком реализации до 2030 г. предполагает ускоренное развитие цифровой экономики и её компонентов, включая экономику данных, искусственный интеллект, кибербезопасность и другие важные направления. Реализация этих целей диктует необходимость дальнейшего развития инфраструктуры, формирования новых экосистем, усиления роли государства в управлении данными, повышения уровня цифровой грамотности населения, создания благоприятных условий для инноваций и предпринимательства, интеграцию цифровых технологий в государственные услуги.

**Цифровая экономика в агропромышленном комплексе** предполагает внедрение современных информационно-коммуникационных технологий и цифровых решений в сельскохозяйственное производство, переработку продукции, логистику и маркетинг. Это позволяет повысить эффективность производства, снизить затраты и улучшить качество продукции.

Одна из основных проблем цифровой экономики в АПК — разобщённость использования цифровых решений, низкая управляемость процессов производства и реализации продукции, долгие сроки принятия решений административными структурами, ограниченный обмен данными и инновациями. Назрела необходимость создать в АПК цифровые экосистемы, которые имеют огромный потенциал, особенно в условиях изменения климата и растущего спроса на продовольствие.

В целях обеспечения долгосрочного развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 ноября 2023 г. № 3309-р утверждено Стратегическое направление в области цифровой трансформации данных отраслей на период до 2030 года [15]. Во исполнение этого распоряжения Минсельхоз России реализует мероприятия по созданию единой цифровой платформы агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, предоставлению государственных услуг в рамках полномочий Минсельхоза России и Росрыболовства.

В аграрной сфере уже функционирует 11 информационных систем: ФГИС “Зерно” (прослеживаемость зерна и продуктов его переработки, что позволяет бороться с нелегальным оборотом этой продукции), ФГИС “Сатурн” (прослеживаемость оборота пестицидов и ядохимикатов), ФГИС “Семноводство” (создание условий для развития эффективного рынка семян), ФГИС “Меркурий” (единая информационная среда для ветеринарии, повы-

шения биологической и пищевой безопасности), ФГИС “Аргус-Фито” (выдача и учёт фитосанитарной документации) и др. К 2030 г. планируется создать общую точку сбора данных с переносом функционала информационных систем Минсельхоза России на единую цифровую платформу.

В настоящее время в ведении Минсельхоза России находится более 270 подведомственных организаций, включая федеральные государственные бюджетные учреждения и федеральные государственные унитарные предприятия, в том числе ФГБУ “Центр стратегического планирования в сфере агропромышленного комплекса”, ФГБУ “Агентство по сопровождению программ государственной поддержки агропромышленного комплекса”, ФГБУ “Агентство развития сельских территорий”, ФГБУ “Российский центр государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения”, ФГБУ “Федеральный центр развития экспорта продукции агропромышленного комплекса Российской Федерации”, ФГБУ “Центр цифровой трансформации в сфере АПК” и др. Кроме того, министерству подчинены более 60 образовательных и более 20 научно-исследовательских учреждений, 45 региональных управлений по мелиорации земель, 96 станций и центров агрохимической службы, 10 машиноиспытательных станций и т.п. [16]. В условиях расширения сферы деятельности Минсельхоза России и увеличения числа его функций по обеспечению развития аграрной отрасли снижается эффективность координации, доступность информации, образуются временные лаги в вертикали управления. Обилие информации и инструментов регулирования создают препятствия во взаимодействии с производителями.

В связи с этим считаем целесообразным сформировать в АПК экосистему на базе цифровых платформ с различными сервисами по информационному, аналитическому, финансовому, контроллинговому обеспечению, которая объединит Минсельхоз России, региональные органы управления сельским хозяйством, другие органы федеральной и региональной исполнительной власти, сельскохозяйственных товаропроизводителей, поставщиков средств производства в аграрный сектор экономики, производителей пищевой и перерабатывающей промышленности, логистические структуры, потребителей, банки, страховые и лизинговые компании, научно-исследовательские организации, учебные заведения и другие институты. Их интеграция позволит беспрепятственно обмениваться информацией, технологиями, новыми знаниями, финансовыми ресурсами, что повысит результативность, оперативность, прозрачность взаимодействия всех субъектов экосистемы в целях оптимизации цепочек добавленной стоимости, минимизации затрат и рисков, повышения эффективности и совершенствования системы управления в агропродовольственном секторе.

Экосистема в АПК должна выполнять следующие функции: воспроизводственную, регулируемую, стимулирующую, адаптационную, инновационную, информационную, планирования, прогнозирования и контроля.

С точки зрения *воспроизводственной функции* экосистема АПК позволит, аккумулируя текущую и прошлую информацию, генерировать новую; отслеживать продвижение сельскохозяйственной продукции и продуктов питания по всем стадиям воспроизводства, оценивая всю цепочку создания добавленной стоимости; оперативно осуществлять все расчётные операции; в автоматизированном режиме оптимизировать процессы производства, распределения, обмена и потребления.

С точки зрения *регулирующей функции* ключевыми являются следующие задачи:

- формирование стандартов и правил институциональной среды, которые определяют аграрную политику, касаются совместимости цифровых платформ участников, вопросов защиты данных, ответственного использования технологий;
- регулирование управления данными, то есть обеспечение конфиденциальности, безопасности и защиты персональных данных субъектов экосистемы, разработка механизма контроля доступа к данным, их хранение и использование;
- создание институтов внедрения инноваций через поддержку стартапов, выдачу грантов на исследования и разработки, налоговые льготы и другие формы государственного стимулирования;
- достижение баланса спроса и предложения на агропродовольственном рынке.

*Стимулирующая функция* экосистемы АПК подразумевает постоянное совершенствование товаров, услуг, сервисов, платформенных решений в целях расширения их ассортимента, повышения конкурентоспособности и роста потребительского спроса.

*Адаптационная функция* цифровых экосистем агропромышленного комплекса связана с их способностью приспосабливаться к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды, минимизировать финансовые и нефинансовые риски, обеспечивая гибкость и самоорганизацию, повышая устойчивость и эффективность производства агропродовольственной продукции в условиях неопределённости.

*Инновационная функция* при условии многофункционального использования нескольких цифровых платформ — это внедрение новых технологий и методов в АПК. Применение биотехнологий, селекции и генетики, точного земледелия, цифровых двойников и других передовых инструментов становится возможным благодаря цифровой трансформации.

*Информационная функция* экосистемы предполагает предоставление участникам платформ опе-

ративных сведений об институциональной среде, включая направления и объёмы господдержки агропромышленного комплекса, объективной информации о наиболее востребованных товарах и услугах, производителях и поставщиках, конкурентной среде на агропродовольственном рынке, целевых аудиториях потребителей, а также генерирование и обмен новыми знаниями в сфере АПК.

*Функция планирования, прогнозирования и контроля* в контексте экосистем АПК охватывает комплекс мероприятий, направленных на эффективное управление ресурсами и финансовыми потоками, принятие оперативных решений и снижение рисков. В этих целях должны использоваться цифровые платформы с большими данными и встроенными аналитическими инструментами, машинное обучение (для обработки больших объёмов данных и построения точных прогнозов), геоинформационные системы (ГИС) (для картографирования полей), дроны и спутники (для мониторинга состояния полей, выявления проблемных участков и оценки урожайности), ERP-системы (для автоматизации учёта и управления ресурсами предприятия), Интернет вещей (сенсоры и датчики для сбора данных о состоянии животных, растений, рационах кормления, почве, погоде и др.).

**Структура цифровой экосистемы АПК.** Организатором предлагаемой экосистемы АПК должен стать

Минсельхоз России, который призван обеспечить эффективное взаимодействие множества участников из различных отраслей, подотраслей и регионов. Архитектуру цифровой экосистемы АПК (рис. 1) можно выстроить из трёх взаимосвязанных и дополняющих друг друга контуров, ядром которых будет Министерство сельского хозяйства Российской Федерации.

1. Федеральные и региональные органы исполнительной власти и другие структуры.

2. Проводящие структуры, которые обеспечивают ресурсную, финансовую и логистическую поддержку производителей и потребителей.

3. Товаропроизводители и потребители.

Данные контуры будут включать цифровые платформы для обеспечения технологического базиса всего АПК. Цифровые корпоративные платформы могут охватывать неограниченное количество надстраиваемых модулей, создавая архитектуру цифровых ведомств, предприятий и личных кабинетов потребителей любого уровня сложности. Экосистема АПК позволит автоматизировать и оптимизировать многие процессы и ресурсы и таким образом вывести отрасль на новый уровень социально-экономического и технологического развития.

*Первый контур* “Федеральные и региональные органы исполнительной власти и другие структуры” должен включать ведомства, выполняющие



Рис. 1. Блок-схема “Функциональная модель цифровой экосистемы АПК”

в основном функции планирования, прогнозирования, контроля и регулирующую функцию экосистемы, поскольку на начальном этапе необходима весомая государственная поддержка и контроль за выполнением национальных проектов и программ. Цифровое управление отраслью позволит государственным органам улучшить планирование, исполнение, контроль и анализ принимаемых решений.

Во второй контур “Проводящие структуры” будут входить сервисы для контрагентов в целях повышения эффективности оказания услуг и скорости внедрения инноваций. Проводящий контур позволяет охватить всю цепочку создания стоимости в АПК. Банки, страховые и лизинговые компании смогут с помощью цифровых платформ осуществлять приём заявок на кредиты и финансовые продукты, анализировать финансовую устойчивость агропроизводителей, заёмщиков, страхователей и лизингополучателей, рассчитывать залог при кредитовании или получении иного финансового продукта. Сервис логистических операторов просматривает и получает заявки на перевозку и хранение продукции, оформляет заказы на эти услуги по оптимальным маршрутам (с установленной стоимостью), осуществляет расчёты с клиентами.

Третий контур цифровой экосистемы АПК будет содержать набор цифровых платформ, обеспечивающих полный цикл создания и реализации продукции. Производители смогут на цифровом сервисе рассчитать инвестиционные проекты — от анализа и прогноза рынка, затрат на производство, получения субсидий, логистических издержек до продажи продукции переработчикам или на внутренние и внешние рынки с учётом транзакционных затрат. С помощью цифровых систем можно прогнозировать погодные условия, вести мониторинг состояния растений и животных, минимизировать риски потерь урожая или заболеваний скота. Всё это позволяет снижать финансовые потери производителей и стабилизировать цены на рынке. Важнейшим элементом третьего контура должна стать система комплексного мониторинга цен на агропродовольственном рынке, охватывающая всех участников производственно-сбытовой цепочки.

Согласно Федеральному закону “О развитии сельского хозяйства” (от 29.12.2006 г. № 264-ФЗ) одной из целей государственной аграрной политики признано наблюдение за индексом цен на сельскохозяйственную продукцию, сырьё и индексом цен (тарифов) на промышленную продукцию (услуги), используемую сельскохозяйственными товаропроизводителями, а также поддержание паритета индексов таких цен (тарифов) [17]. Что касается потребительского рынка, то распоряжением Правительства РФ от 27 февраля 2021 г. № 497-р утверждён перечень групп потребительских товаров и услуг, которые относятся к сфере ведения федеральных органов исполнительной власти, в целях

анализа причин роста потребительских цен и выработки мер экономического регулирования, направленных на обеспечение сбалансированности рынков потребительских товаров и услуг, а также организована межведомственная рабочая группа по мониторингу и оперативному реагированию на изменение потребительских цен на социально значимые товары [18, 19].

В Российской Федерации сформирован целый комплекс инструментов отслеживания цен на агропродовольственном рынке. Так, Федеральная служба государственной статистики и Минсельхоз России осуществляют мониторинг цен производителей сельскохозяйственной продукции, цен на промышленные товары и услуги, приобретённые сельскохозяйственными организациями, цен производителей пищевой промышленности, потребительских цен на продукты питания, на социально значимые продовольственные товары (предусмотренные перечнем отдельных видов социально значимых продовольственных товаров первой необходимости, в отношении которых могут устанавливаться предельно допустимые розничные цены) [20, 21]. С учётом положений Федерального закона “О развитии сельского хозяйства” Минсельхозом России создана система государственного информационного обеспечения в сфере сельского хозяйства, в которую включается информация о результатах проведения на рынках сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия мониторинга цен на основные продовольственные товары и материально-технические ресурсы, приобретаемые сельскохозяйственными организациями [17]. Кроме того, работает Центр агроаналитики — подведомственное учреждение Минсельхоза России, в обязанности которого входят сбор, обработка и анализ информации о ценах производителей и розничных ценах на продовольствие [22]. В рамках антимонопольного контроля ФАС России проводит еженедельный мониторинг формирования цен на 24 социально значимых продовольственных товара первой необходимости в федеральных торговых сетях [23].

Таким образом, различные органы государственной власти осуществляют сбор информации по ценам. Однако единая цифровая платформа (её можно было бы назвать “Цены и ценовые отношения в АПК”), которая объединяла бы эти разрозненные сведения и на которой они могли бы анализироваться, отсутствует. Возникает необходимость её создания, что позволило бы агрегировать информацию по ценам и принимать оперативные решения по стабилизации цен на агропродовольственную продукцию. В функционал данной цифровой платформы целесообразно включить мониторинг и контроль цен на перевозку и хранение продукции. В настоящее время подобная информация в открытых источниках не публикуется. С учётом отраслевой специфики данную платформу следует создать



Рис. 2. Блок-схема «Цифровая платформа «Цены и ценовые отношения в АПК»»

на базе Минсельхоза России. Блок-схема цифровой платформы представлена на рисунке 2.

Помимо прочего, такая платформа позволит объединить информацию по отдельным видам агропродовольственной продукции. В качестве примера приведём динамику цен на крупный рогатый скот за 2019–2023 гг. Цены производителей крупного рогатого скота (КРС) в этот период выросли на 28%, цены на комбикорма для КРС – на 37%, в пищевой промышленности динамика составляла от 31% на говядину замороженную до 45% на говядину парную, на потребительском рынке – от 50% на говядину бескостную до 61% на говядину (кроме бескостного мяса) (рис. 3). Представляя информацию в таком виде, можно более оперативно отслеживать происходящие изменения в динамике цен по всей производственно-сбытовой цепочке.

С учётом предлагаемого расширения мониторинга цен на агропродовольственном рынке в рам-

ках разрабатываемой цифровой платформы считаем целесообразным дополнить положения Федерального закона «О развитии сельского хозяйства» применительно к целям государственной аграрной политики, включив в их перечень наблюдение за ценами производителей пищевой промышленности, а также потребительские цены на продукты питания, предусмотрев конкретный механизм не только наблюдения за паритетом индексов таких цен, но и соблюдения их паритетности.

Цифровая экосистема полезна и потребителям. Можно будет отслеживать путь продукта от поля и фермы до прилавка магазина, что повышает доверие к качеству продовольствия, помогает бороться с контрафактом и фальсификацией. Благодаря цифровым платформам производители смогут получать обратную связь от потребителей и адаптировать свою продукцию под их потребности. Персонализированные предложения и рекомендации

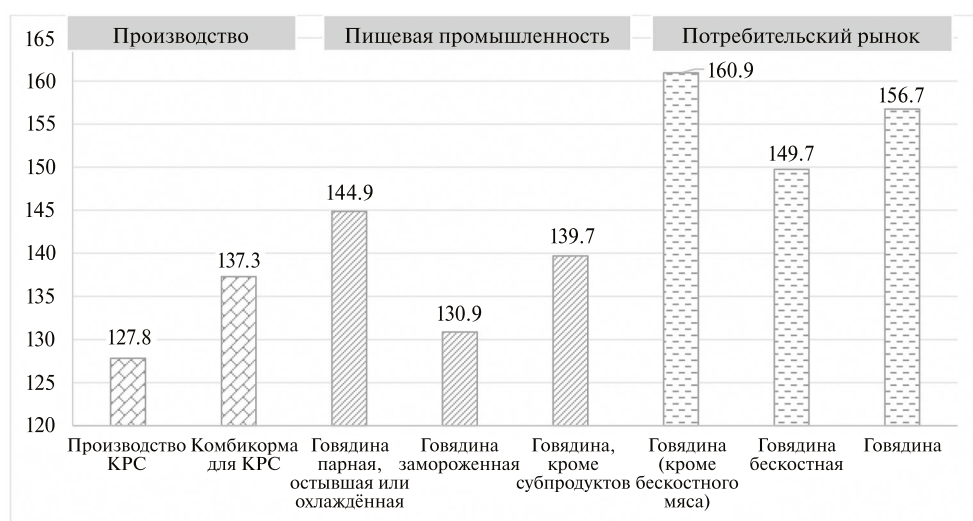


Рис. 3. Динамика индексов цен на крупный рогатый скот в различных сферах АПК и на потребительском рынке в России в 2019–2023 гг., %

Источник: составлено авторами на основе данных Росстата.

помогают увеличивать лояльность клиентов. Платформы электронной коммерции позволяют мелким фермерам и кооперативам выходить на новые рынки, минуя посредников. Это особенно важно для регионов с ограниченными возможностями сбыта продукции. Онлайн-платформы предлагают доступ к образовательным ресурсам, курсам и вебинарам, которые помогают фермерам повышать свои навыки и знания в области современных методов ведения сельского хозяйства.

\* \* \*

Таким образом, цифровая экосистема АПК должна объединить разноплановые, разнохарактерные, разнообъектные модели взаимодействия: G2B (government-to-business), B2G (business-to-government), B2B (business-to-business), так и B2C (business-to-consumer), C2C (consumer-to-consumer).

Безусловно, построение такой экосистемы — сложная, комплексная задача, требующая взаимодействия многих участников — институтов, министерств и ведомств, субъектов АПК. Но это перспективная задача, её решение позволит преодолеть инфраструктурные и организационные ограничения, оперативно реагировать на вызовы и риски внешней среды. Предложенная экосистема АПК — это не только инфраструктура взаимодействия субъектов в цифровой экономике, но, главное, *новая концептуальная модель* их функционирования и развития.

Экосистемный междисциплинарный подход и формирование цифровой экосистемы в АПК обеспечит беспрепятственный обмен информацией, технологиями, новыми знаниями и финансовыми ресурсами между всеми участниками, что повысит эффективность, скорость и прозрачность их взаимодействия. Это поможет оптимизировать цепочки создания стоимости в АПК, снизить затраты и риски, а также улучшить систему управления в агропродовольственной сфере. Одним из ключевых элементов предлагаемой экосистемы должна стать цифровая платформа “Цены и ценовые отношения в АПК”, объединяющая информацию о динамике цен в различных сферах АПК и на потребительском рынке, которая станет основой для принятия оперативных решений по поддержке товаропроизводителей в случае нарушения паритетности в экономических отношениях в агропродовольственной цепочке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года” // Президент России. Официальный сайт. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73986> (дата обращения 17.01.2025).
2. Гарифуллин Б.М., Зябриков В.В. Цифровая трансформация бизнеса: модели и алгоритмы // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 9. С. 1345–1358. Garifullin B.M., Zyabrikov V.V. Digital transformation of business: models and algorithms // Creative Economy. 2018, vol. 12, no. 9, pp. 1345–1358.
3. Панчишный Р.С. Особенности развития цифровых экосистем в государственном и корпоративном управлении и перспективы государственно-частного партнёрства // Молодой учёный. 2022. № 6 (401). С. 124–126. Panchishny R.S. Features of the development of digital ecosystems in public and corporate governance and prospects for public-private partnerships // Young scientist. 2022, no. 6 (401), pp. 124–126.
4. Абрамян Г.А., Аванесян К.А., Хусейн А.А.У.А.И. и др. Развитие экосистемного подхода в концептах и терминах новой экономики. Ростов-на-Дону: Нико, 2021. Abramyam G.A., Avanesyan K.A., Khusein A.A.U.A.I. et al. Development of the ecosystem approach in the concepts and terms of the new economy. Rostov-on-Don: Niko, 2021.
5. Moore J.F. Predators and prey — A new ecology of competition // Harvard Business Review. 1993, no. 71(3), pp. 75–86.
6. Audretsch D.B., Cunningham J.A., Kuratko D.F. et al. Entrepreneurial ecosystems: economic, technological, and societal impacts // J. Technol. Transf. 2019, vol. 44, pp. 313–325.
7. Клейнер Г.Б. Экономика экосистем: шаг в будущее // Экономическое возрождение России. 2019. № 1(59). С. 40–44. Kleiner G.B. Ecosystem Economics: Step into the Future // The Economic Revival of Russia. 2019, no. 1(59), pp. 40–44.
8. Морозов М.М., Морозов М.А. Концепция цифровой экосистемы индустрии туризма и гостеприимства // Современные проблемы сервиса и туризма. 2021. № 4. С. 27–36. Morozov M.M., Morozov M.A. The concept of the digital ecosystem of the tourism and hospitality industry // Service and Tourism: Current Challenges. 2021, no. 4, pp. 27–36.
9. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровая трансформация промышленных предприятий в цифровые бизнес-экосистемы: структурные компоненты и практические аспекты реализации // Фундаментальные исследования. 2024. № 9. С. 78–85. DOI: 10.17513/fr.43680

- Abramov V.I., Gordeev V.V., Stolyarov A.D.* Digital transformation of industrial enterprises into digital business ecosystems: structural components and practical aspects of implementation // *Fundamental research*. 2024, no. 9, pp. 78–85. DOI: 10.17513/fr.43680
10. *Иванов А.Л., Шустова И.С.* Исследование цифровых экосистем как фундаментального элемента цифровой экономики // *Креативная экономика*. 2020. Т. 14. № 5. С. 655–670. DOI: 10.18334/ce.14.5.110151  
*Ivanov A.L., Shustova I.S.* The study of digital ecosystems as a fundamental element of the digital economy // *Creative Economy*. 2020, vol. 14, no. 5, pp. 655–670. DOI: 10.18334/ce.14.5.110151
  11. *Костин К.Б., Березовская А.А.* Современные технологии цифровой экономики как драйвер роста мирового рынка товаров и услуг // *Экономические отношения*. 2019. № 2. С. 455–480. DOI: 10.18334/eo.9.2.40511  
*Kostin K.B., Berezovskaya A.A.* Modern technologies of the digital economy as a driver of growth of the global market of goods and services // *Journal of International Economic Affairs*. 2019, no. 2, pp. 455–480. DOI: 10.18334/eo.9.2.40511
  12. *Тихонова А.Д.* К вопросу о развитии инновационных экосистем в современной экономике // *Вопросы инновационной экономики*. 2019. № 4. С. 1383–1392. DOI: 10.18334/vinec.9.4.41449  
*Tikhonova A.D.* On the development of innovative ecosystems in the modern economy // *Russian Journal of Innovation Economics*. 2019, no. 4, pp. 1383–1392. DOI: 10.18334/vinec.9.4.41449
  13. *Трофимов О.В., Захаров В.Я., Фролов В.Г.* Экосистемы как способ организации взаимодействия предприятий производственной сферы и сферы услуг в условиях цифровизации // *Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Социальные науки*. 2019. № 4(56). С. 43–55.  
*Trofimov O.V., Zakharov V.Ya., Frolov V.G.* Ecosystems as a way of organizing interaction between enterprises in the manufacturing and service sectors in the context of digitalization // *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. Social Sciences*. 2019, no. 4(56), pp. 43–55.
  14. Указ Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 “О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы” // Гарант. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/> (дата обращения 17.01.2025).  
Decree of the President of the Russian Federation of May 9, 2017 No. 203 “On the strategy for the development of the information society in the Russian Federation for 2017–2030” // Garant. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/> (date of access 17.01.2025).
  15. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 ноября 2023 г. № 3309-р “Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г.” // Гарант. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408020499/> (дата обращения 17.01.2025).  
Decree of the Government of the Russian Federation of November 23, 2023 No. 3309-r “On approval of the strategic direction in the field of digital transformation of the agro-industrial and fisheries complexes of the Russian Federation for the period up to 2030” // Garant. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408020499/> (date of access 01/17/2025).
  16. Подведомственные организации. Минсельхоз России: официальный сайт. <https://mcx.gov.ru/ministry/subordinates/> (дата обращения 17.01.2025).  
Subordinate organizations. Ministry of Agriculture of Russia: official website. <https://mcx.gov.ru/ministry/subordinates/> (date of access 17.01.2025).
  17. Федеральный закон от 29 декабря 2006 г. № 264-ФЗ “О развитии сельского хозяйства” // Консультант Плюс. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64930/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64930/) (дата обращения 17.01.2025).  
Federal Law of December 29, 2006 No. 264-FZ “On the development of agriculture” // Consultant Plus. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64930/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64930/) (date of access 17.01.2025).
  18. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2021 г. № 497-р // Гарант. <https://base.garant.ru/400417404/> (дата обращения 17.01.2025).  
Decree of the Government of the Russian Federation of February 27, 2021 No. 497-r // Garant. <https://base.garant.ru/400417404/> (date of access 17.01.2025).
  19. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 июня 2024 г. № 1663-р “Об утверждении состава межведомственной рабочей группы по мониторингу и оперативному реагированию на изменение потребительских цен на социально значимые товары” // Гарант. <https://base.garant.ru/409264632/> (дата обращения 17.01.2025).  
Decree of the Government of the Russian Federation of June 27, 2024 No. 1663-r “On approval of the composition of the interdepartmental working group on monitoring and rapid response to changes in consumer prices for socially important goods” // Garant. <https://base.garant.ru/409264632/> (date of access 17.01.2025).
  20. Цены, инфляция. Федеральная служба государственной статистики. <https://rosstat.gov.ru/statistics/price> (дата обращения 17.01.2025).  
Prices, inflation. Federal State Statistics Service. <https://rosstat.gov.ru/statistics/price> (date of access 17.01.2025).

21. Приказ Минсельхоза России от 28 декабря 2017 г. № 652 “Об утверждении положения о департаменте регулирования рынков АПК”. Минсельхоз России: официальный сайт. <https://mcx.gov.ru/> (дата обращения 17.01.2025).  
Decree of the Ministry of Agriculture of Russia of December 28, 2017 No. 652 “On approval of the regulation on the department for regulation of agricultural markets”. Ministry of Agriculture of Russia: official website. <https://mcx.gov.ru/> (date of access 17.01.2025).
22. Цены. Аналитические материалы. Центр Агроаналитики. <https://specagro.ru/topics/ceny> (дата обращения 17.01.2025).  
Prices. Analytical materials. Agroanalytics Center. <https://specagro.ru/topics/ceny> (date of access 17.01.2025).
23. Федеральная антимонопольная служба: официальный сайт. <https://fas.gov.ru/> (дата обращения 17.01.2025).  
Federal Antimonopoly Service: official website. <https://fas.gov.ru/> (date of access 17.01.2025).

## ECOSYSTEM APPROACH TO EFFECTIVE DEVELOPMENT OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

I.G. Ushachev<sup>a\*</sup>, V.V. Maslova<sup>a\*\*</sup>, N.F. Zaruk<sup>a\*\*\*</sup>, M.V. Avdeev<sup>a\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia*

\*E-mail: [i.g.ushachev@vniiesh.ru](mailto:i.g.ushachev@vniiesh.ru);

\*\*E-mail: [maslova.ec-fin@vniiesh.ru](mailto:maslova.ec-fin@vniiesh.ru)

\*\*\*E-mail: [n.f.zaruk@vniiesh.ru](mailto:n.f.zaruk@vniiesh.ru)

\*\*\*\*E-mail: [avdeev.ec-fin@vniiesh.ru](mailto:avdeev.ec-fin@vniiesh.ru)

The article is devoted to the formation and development of digital ecosystems in the agro-industrial complex. It is emphasized that increasing the efficiency, technology and competitiveness of agricultural production requires the use of ecosystem principles. The theoretical and methodological approaches to the formation of ecosystems are analyzed, the regulatory legal field for the development of the data economy and digital transformation is characterized, and the directions of digitalization in the agro-industrial complex are considered. The need to form such an ecosystem of the agro-industrial complex that will allow seamless exchange of information, technologies, new knowledge, financial resources in order to increase the effectiveness, efficiency, transparency of interaction of all ecosystem entities, thereby optimizing value chains in the agro-industrial complex, minimizing costs and risks, increasing the efficiency of the management system in the agro-food sector. The architecture of the digital ecosystem of the agro-industrial complex is proposed to be built from three interconnected and complementary contours, the core of which will be the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. The most important element of the third circuit should be a system of comprehensive monitoring of prices in the agro-food market, covering all participants in the production and distribution chain.

**Keywords:** agro-industrial complex ecosystem, digital platforms, ecosystem interdisciplinary approach, Ministry of Agriculture of Russia, organizational and economic mechanism, prices, competitiveness, efficiency, digital platform “Prices and price relations in the agro-industrial complex”.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ В СФЕРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ИХ РЕШЕНИЕ

© 2025 г. А.Л. Иванов<sup>а,\*</sup>, Ю.А. Духанин<sup>а,\*\*</sup>, Л.О. Хорошева<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Москва, Россия

\*E-mail: [ivanov\\_al@esoil.ru](mailto:ivanov_al@esoil.ru)

\*\*E-mail: [dr.dukhanin@esoil.ru](mailto:dr.dukhanin@esoil.ru)

\*\*\*E-mail: [info@esoil.ru](mailto:info@esoil.ru)

Поступила в редакцию 10.03.2025 г.

После доработки 10.03.2025 г.

Принята к публикации 23.04.2025 г.

Земельный вопрос крайне важен для российского общества. В условиях современных геополитических, природно-климатических и социально-экономических вызовов нам предоставлен шанс найти оптимальное решение насущных проблем землепользования. Наряду со значительными достижениями последних лет сохраняется ряд нерешённых задач, касающихся разработки и применения новых подходов в землепользовании, ресурсном обеспечении АПК и аграрной технологической политике. В статье анализируются вопросы влияния на землепользование глобальных климатических изменений, эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения, научно-обеспечения рационального землепользования. Утверждается необходимость организации единого органа регулирования земельных отношений под эгидой Министерства сельского хозяйства РФ.

*Ключевые слова:* землепользование, земледелие, аграрная экономика, почвы, почвенные ресурсы.

DOI: 10.31857/S0869587325060045, EDN: FAPYFU

Земельный вопрос на протяжении нескольких столетий остаётся одним из важнейших для России. Об этом свидетельствует знаменитый манифест Александра II 1861 г.: “Осени себя крестным знаменем, православный народ, и призови с нами Божие благословение на твой свободный труд, залог твоего домашнего благополучия и блага общественного” [1]. Каждое новое поколение правителей, учёных, государственных деятелей пыталось подступиться к проблеме землеустройства, споры то обострялись, то угасали, но оптимальное реше-

ние так и не было найдено. Текущее положение дел несёт на себе отпечаток всех драматических событий минувших исторических эпох, включая как великие открытия и достижения, так и фатальные ошибки. Происходили движения народов, бунты, революции, реформы, народно-хозяйственные кампании, промышленные революции, освоение космического пространства и недр Земли, а деревня и сельское население продолжали кормить страну, при этом оставаясь хранителями национальных языков, культурных традиций и моральных устоев.



ИВАНОВ Андрей Леонидович — академик РАН, директор Почвенного института им. В.В. Докучаева. ДУХАНИН Юрий Александрович — доктор сельскохозяйственных наук, учёный секретарь, ведущий научный сотрудник Почвенного института им. В.В. Докучаева. ХОРОШЕВА Людмила Олеговна — референт Почвенного института им. В.В. Докучаева.

В современных реалиях, когда мы столкнулись с рядом геополитических, природно-климатических и социально-экономических вызовов, нам предоставлен ещё один шанс преодолеть разобщённость ведомственных и частных интересов и выстроить единое всенародное пространство путём интегрирования ведомственных и политических платформ и использования накопленного опыта.

К этому рубежу мы подошли с определённым багажом достижений. Во-первых, урожайность зерновых достигла мирового уровня (3,5 т/га), что стало результатом благоприятных климатических условий и начавшейся при поддержке государства модернизации. Во-вторых, путём совершенствования законодательства (принятые в последнее время законодательные акты и обновлённые нормативные документы) была обновлена фактура землепользования [2]. Надо понимать, что для получения каждого следующего центнера зерна придётся применять новые подходы к землепользованию, ресурсному обеспечению и аграрной технологической политике. Кроме того, следует учесть опыт негативных последствий некоторых управленческих решений (например, ошибочный курс на рыночное саморегулирование) и вывести аграрную экономику из либерального тупика, оптимизировать аграрно-экономическую систему путём развития стратегического планирования на альтернативной основе. Всё более явным становится изменение парадигмы развития — от глобализации к собственным ресурсам и ценностям.

Важная проблема — парадоксальное отсутствие в России земельной (землеустроительной) службы.

Представляется целесообразным использовать сохранившуюся в Минсельхозе России федеральную инфраструктуру для организации ведомственной (отраслевой) земельной службы (тем более что примерное понимание её функций уже сложилось) и не поддаваться на авантюрные предложения создать Единую (государственную) земельную службу [2].

**Проблемы и вызовы в сфере сельскохозяйственного землепользования.** Несмотря на достижения научно-технического прогресса, потребности в чистой воде, зерне, мясе, молоке во всём мире возрастают пропорционально увеличению населения планеты. Товарное продовольствие становится основным конвертируемым активом и альтернативой добывающим отраслям. В связи с этим на первый план выходит вопрос продовольственной безопасности России, которую обеспечивают разнообразие и значительные размеры территории страны. Следует подчеркнуть, что, несмотря на огромные площади, лишней земли у нас нет — и это основной тезис будущего развития.

На характер землепользования влияют глобальные климатические изменения. Прослеживаются две тенденции: с одной стороны, долговременную позитивную климатическую тенденцию нивелирует возросшая “нервозность” климата, с другой, процессы социального опустынивания приобретают чудовищные масштабы, в первую очередь в Нечернозёмной зоне. Общество столкнулось с новым вызовом — научиться использовать дополнительное тепло (табл. 1), в том числе за счёт регулирования структуры землепользования и качества проектирования [3].

**Таблица 1.** Суммы активных температур ( $\Sigma T^{\circ}\text{C}$ ) выше  $10^{\circ}\text{C}$  в период 2016–2020 гг. по сравнению с 1991–1995 гг. [3]

| Территория                                        | Средняя $\Sigma T^{\circ}\text{C}$<br>за 2016–2020 гг. | Средняя $\Sigma T^{\circ}\text{C}$<br>за 1991–1995 гг. | Разница $\Sigma T^{\circ}\text{C}$<br>за 2016–2020<br>и 1991–1995 гг. |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Лесотундра и северо-таёжное редколесье            |                                                        |                                                        |                                                                       |
| Архангельская область                             | 1561                                                   | 1399                                                   | 162                                                                   |
| Лесная зона, подзона тайги                        |                                                        |                                                        |                                                                       |
| Вологодская область                               | 2083                                                   | 1696                                                   | 387                                                                   |
| Кировская область                                 | 2004                                                   | 1894                                                   | 110                                                                   |
| Лесная зона, подзона смешанных и лиственных лесов |                                                        |                                                        |                                                                       |
| Нижегородская область                             | 2335                                                   | 2167                                                   | 168                                                                   |
| Псковская область                                 | 2272                                                   | 2077                                                   | 195                                                                   |
| Калужская область                                 | 2298                                                   | 2232                                                   | 66                                                                    |
| Лесостепь                                         |                                                        |                                                        |                                                                       |
| Орловская область                                 | 2580                                                   | 2310                                                   | 270                                                                   |
| Рязанская область                                 | 2419                                                   | 2354                                                   | 65                                                                    |
| Чувашская Республика                              | 2402                                                   | 2235                                                   | 167                                                                   |

Опустынивание — неопровержимый факт, но вызвано оно не только аридизацией, но и нерачительным землепользованием. Опустыниванием охвачена половина Сальских степей, около 37% Кулундинских степей, до 15% равнинных территорий Республики Тыва и даже Якутия. Самые крупные очаги антропогенного опустынивания в Европе находятся в Калмыкии и равнинной части Дагестана (~70%). Около половины территорий Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Самарской областей и Республики Татарстан подвержены деградации [4]. На базе Федерального научного центра агроэкологии РАН создан центр по борьбе с опустыниванием, сформировано чёткое представление о мерах предотвращения кризиса. Особый аспект проблемы — засухи. Их частота усиливается, а следовательно, нарастает угроза глобальной засухи.

Наблюдаемое повышение биоклиматического потенциала вследствие изменения климата создаёт некоторую иллюзию благоприятных условий для земледелия, однако ресурсный потенциал земель, пригодных для устойчивого производства продукции, остаётся на прежнем уровне (11.5% территории). Основной фонд сельскохозяйственных земель страны расположен южнее 60-й параллели и требует бережного использования и охраны (рис. 1).

Согласно экспертным оценкам, состояние почвенных ресурсов России заметно лучше, нежели у наших “заклятых” партнёров: ухудшение (уменьшение) гумуса в почве за 30 лет — 16%, в ЕС — 30%. Кроме того, площадь зон влияния технологических выбросов в России не превышает 3% [6–9]. Но это не повод расслабляться, поскольку деградация земель (естественная и антропогенно обусловленная)

уже наблюдается и может усилиться в случае учащения природных катаклизмов, связанных с изменением климата. Особое значение приобретает ведение государственного статистического учёта деградированных земель, который в настоящее время отсутствует. Такой учёт исключил бы спекуляции, в том числе со стороны экологов, которые склонны преувеличивать масштаб деградации в собственных интересах.

Сложившиеся геополитические и природно-климатические условия побуждают начать новый этап освоения Арктики, Нечерноземья, Восточной Сибири, Дальнего Востока, Южного Урала, но уже с привлечением новейших технологий, включая искусственный интеллект и дистанционные методы наблюдения. Этот процесс будет сопоставим с такими крупными народно-хозяйственными эпопеями XX в., как освоение целины и Нечернозёмной зоны, а также с осуществлением крупнейшей кампании по мелиорации. Весь накопленный опыт бесценен, и следует на него опираться. Так, история разработки целинных и залежных земель на востоке страны в 1950–1960-х годах даёт богатый материал для анализа и извлечения уроков на будущее. По этому поводу бытуют разные мнения. В частности, широко распространено одностороннее отношение к этой кампании как к ошибке, авантюре. По нашему мнению, такой взгляд слишком упрощён и не имеет под собой достаточно оснований, а туманные намёки на признаки колониальной политики носят провокационный характер. Академик РАН В.И. Кирюшин по этому поводу высказался так: “Можно было бы не обращать на это внимание, но с таких извращений, особенно в школьных учебниках, начинался национализм в современной Украине” [10].



Рис. 1. Качество почв под зерновые сельскохозяйственные культуры [5]

Успех любого начинания обеспечивают *правильное целеполагание и тщательная подготовка*, включая всестороннее детальное планирование. Основной целью освоения целины было увеличение производства зерна в условиях послевоенного дефицита продовольствия при ограниченных возможностях интенсификации земледелия. На это решение повлияли перспективы дальнейшего роста стратегического значения восточных регионов в экономике страны, где были разведаны огромные месторождения нефти и природного газа (70% всех разведанных запасов), угля (90%), железной руды (50%), дефицитных энергоёмких и коксующихся углей в зоне Южно-Якутского бассейна БАМа с перспективой открытого способа их добычи, а также меди, бокситов, нефелиновых и фосфоритовых руд, редких металлов, вольфрама, олова, цинка, золота, алмазов. Большую ценность представляли гидроэнергетические ресурсы (80%) и лесные запасы (100%). Уже в те годы нефть и газ Казахстана и Западной Сибири в значительной степени решали проблемы топливно-энергетического комплекса Урала и европейской территории страны. Получила развитие промышленная добыча пушнины.

Штурм целины начался весной 1954 г. [11]. За короткий период до 1962 г. было распаханно 42 млн га земель, в том числе 16 млн га на территории РСФСР, в основном в Сибири (11 млн га) и на Урале (3 млн га). В результате в течение первых пяти лет удавалось собирать в среднем 122 млн т зерна в год, то есть на 38 млн т больше, чем до того (в расчёте на душу населения производство зерна увеличилось с 450 до 610 кг). Кроме того, улучшилась структура производимого зерна. Но были и ошибки, и главная из них — территориальная экспансия, сплошная распашка без учёта ландшафтно-климатических условий. Ей подверглись сухостепные и полупустынные районы, что спровоцировало пыльные бури и потерю плодородного слоя. Только благодаря учёным, которые разработали почвозащитную систему земледелия, удалось спасти регион от экологической катастрофы. В результате, несмотря на все противоречия и сложности, на востоке страны была создана современная аграрная цивилизация. Сама же кампания вошла в число великихстроек социализма. В ней проявились все лучшие качества героического народа: беспримерный энтузиазм и самоотверженность, патриотизм, коллективизм и интернационализм.

Уроки освоения целины следует учитывать при реализации государственной программы *эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения* и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [12]. Особое внимание следует уделить подготовительному этапу, чтобы провести детальный анализ земель по качеству и состоянию окультуренности, иными словами, нужны инвентаризация земель и их агроэкологическая

и экономическая оценка. К сожалению, ни анализа состояния земель, ни научного обоснования их использования, ни разработки планов освоения пока нет. Это означает, что мы повторяем управленческие ошибки прошлого, в то время как могли бы оптимизировать использование земельных ресурсов с помощью инвентаризации и возродить землеустройство на новой технологической основе.

Другой пример — развитие *мелиоративного комплекса* страны. По большому счёту Россия не изжила в полной мере последствия мелиоративного нигилизма 1990-х годов. Развал мелиорации абсолютно соотносится с развалом СССР. Участие писателей-деревенщиков, взращённых этой кампанией (ими же погубленной), достойно особого разбора, возможно, даже покаяния. Тихо ушли в тень разговоры об угрозах фрескам Ферапонтова монастыря, исходящих от проектов переброски части стока северных рек, и прочие вымышленные страхи. Вместе с развалом проектов уничтожили мелиорацию и её инфраструктуру.

Большую тревогу сейчас вызывает *усиливающийся водodefицит*. К 2035 г. дефицит воды для орошаемого земледелия составит: в регионе Нижней Волги — 969.8 млн м<sup>3</sup>, в Западной Сибири — 677.5 млн м<sup>3</sup>, в Дальневосточном федеральном округе — 339.8 млн м<sup>3</sup>, в том числе в Омской области — 146 млн м<sup>3</sup>, Татарстане — 163 млн м<sup>3</sup>, Бурятии — 191 млн м<sup>3</sup>, Саратовской области — 341 млн м<sup>3</sup> [13]. Для питьевого водоснабжения и животноводства пресных водных ресурсов достаточно. Мелиоративный клин неизменен, но план на 2030 г. такой же, как в 1974 г. — 13 млн га. Такие вот grimасы истории. Теперь же Россия приросла новыми территориями в Новороссии — это ещё 109 тыс. км<sup>2</sup>, в том числе около 1 млн га орошаемых земель. Ранее был Крым — 27 тыс. км<sup>2</sup> с большой долей пашни, включая потенциальный мелиоративный клин 145–150 тыс. га. Целесообразно ли восстанавливать Каховскую ГЭС (не дававшую энергии уже 5 лет) — вопрос открытый. А вот восстановлением Каховской (426 тыс. га) и Приазовской (280 тыс. га) оросительных систем и канала Днепр—Донбасс протяжённостью 171 км (165 тыс. га) заниматься придётся. Работа с Новороссией уже началась. Здесь появилась уникальная возможность сформировать законодательство здравого смысла в части управления комплексом.

Структура мелиоративных систем в целом демонстрирует огромную имущественную разобщённость: в федеральной собственности находятся 3.3 млн га, в собственности субъектов РФ — 1.2 млн га, муниципальных образований, юридических и физических лиц — 2.9 млн га. Площадь бесхозных мелиоративных систем — более 2.1 млн га. Заброшенные гидротехнические сооружения есть в 55 субъектах РФ, это более 2.6 тыс. объектов. В этой области действуют две государственные программы: “Эффективного

вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации” [12] и “Комплексного развития сельских территорий” [14]. Несмотря на то, что они, по сути, направлены на одно и то же — сохранение АПК и русского народа, очень важна их согласованность, если не слияние.

**Решение проблем на основе научного подхода.** Предложения учёных относительно рационального землепользования обобщены в четырёх томах национального доклада “Глобальный климат и почвенный покров России”, посвящённого оценке рисков, системам и технологиям адаптации [15], опустыниванию и деградации земель [16], засухам [17], российской Арктике [18]. Кроме того, Комитет Совета Федерации по агропродовольственной политике и природопользованию подготовил “Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года” [3]. Бесспорно, затронет сельскохозяйственное производство и низкоуглеродный тренд, но особым образом. Для АПК он заключается в *сохранении и воспроизводстве плодородия*, в частности, гумуса в почве, предотвращении его минерализации, создании ряда углероддепонирующих и проградационных технологий. Многого удалось достичь в области оценки выбросов и поглощения парниковых газов. В основу формирования национальной системы оценки положены международные руководящие принципы, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, англ. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [19]. Согласно МГЭИК, оценка выбросов или поглощения выполняется отдельно по каждой категории/отрасли и различается по сложности и требованиям к исходной информации (методологии располагаются по возрастанию сложности от 1-го до 3-го уровня). В настоящее время в России оценка проводится по методологии 2-го уровня.

На основе фондовых результатов почвенного обследования советского землеустройства составлена и зарегистрирована база данных “Базовое содержание углерода в почвах сельскохозяйственного назначения Российской Федерации для климатических проектов” [20]. Обосновано её применение в разрезе субъектов РФ для оценки изменения запасов органического углерода в минеральных почвах при трансформации сельскохозяйственного использования. Необходима методика по сбору и обработке данных о запасах и бюджете углерода, надземной и подземной фитомассы полевых культур и многолетних насаждений. Чрезвычайно важен учёт землепользователей. Данные сельскохозяйственных переписей 2016 и 2021 гг. (согласно материалам академика РАН А.В. Петрикова [21]) показали следующее. В составе сельскохозяйственных организаций за 5 лет наблюдается сокращение общей площади сельскохозяйственных угодий на 13 млн га и факти-

чески используемых сельскохозяйственных земель на 9 млн га. При этом на 7% уменьшились все виды угодий (кроме многолетних насаждений и пашни), что говорит о росте спроса на земельные ресурсы.

В крестьянских (фермерских) хозяйствах и хозяйствах индивидуальных предпринимателей иная тенденция. Общая площадь сельскохозяйственных угодий возросла на 2 млн га (на 5%). Это произошло, несмотря на сокращение количества таких хозяйств на 56.5 тыс. (на 32%). Структурные изменения в этом секторе аналогичны сельскохозяйственным организациям. Всё это нужно учитывать при формировании среднесрочной земельной политики.

По мнению учёных-экономистов [2], рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения включает:

- проведение сельскохозяйственного районирования страны и разработку схемы развития и размещения производительных сил сельского хозяйства по подотраслям согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации;
- нормативное закрепление требований к землепользованию в соответствии с Федеральным законом “О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения”;
- стимулирование применения сельскохозяйственными товаропроизводителями почвозащитных (энергоэффективных) агротехнологий.

Следует также рассмотреть вопрос о *едином органе регулирования земельных отношений* и организации рационального использования и охраны земель. В России уже был печальный опыт деятельности аппарата управления землями в 1990-е годы (Роскомзем). Издержки управления и ряд других причин привели к чудовищным потерям сельскохозяйственных земель. Утраченные Минсельхозом функции по управлению сельхозземлями, правовому регулированию использования земли как сельскохозяйственного ресурса были частично восстановлены только к 2008 г. С тех пор министерство проводит мониторинг земель, создан Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [22], формируются определённая правовая база земельной политики и государственный реестр земель сельскохозяйственного назначения, Россельхознадзор стал контролировать процесс землепользования и т.д. Безусловно, проводимую работу следует совершенствовать, например, организовать под эгидой Минсельхоза России землеустроительную службу. При этом научное обеспечение землеустройства сильно запаздывает, особенно в отношении ландшафтно-экологической организации территории и ландшафтного планирования.

Привлекает внимание ещё один позитивный момент, который в то же время является вызовом. Мы наблюдаем долгожданное возрождение (опять же

в силу геополитики) внутреннего рынка минеральных удобрений — до 7–8 млн т в пересчёте на 100% питательных (действующих) веществ. Это соответствует научным прогнозам устойчивого получения 150 млн т зерна вне зависимости от природы и конъюнктуры [2].

Для освоения интенсивных и точных агротехнологий нужны проекты на основе *ИТ-технологий пятого технологического уклада*. За последние годы существенно улучшилось качество мониторинга почв, особенно наземного. С дистанционными методами дело обстоит хуже, хотя именно на этой информации часто строится государственная и ведомственная политика: страховая, кредитная и субсидиарная. Объём накопленной космической информации огромен. В Институте космических исследований РАН хранится порядка 10 петабайт. Но это “чемодан без ручки”, поскольку ни в России, ни в международной практике нет согласованной и утверждённой нормативной правовой базы и методологии использования данных дистанционного зондирования Земли. Без этого все рекомендации, в основу которых положены такие данные, нелегитимны, даже если верны. Но нормативная база не создаётся инициативно! Должен быть заказ от профильного федерального органа исполнительной власти.

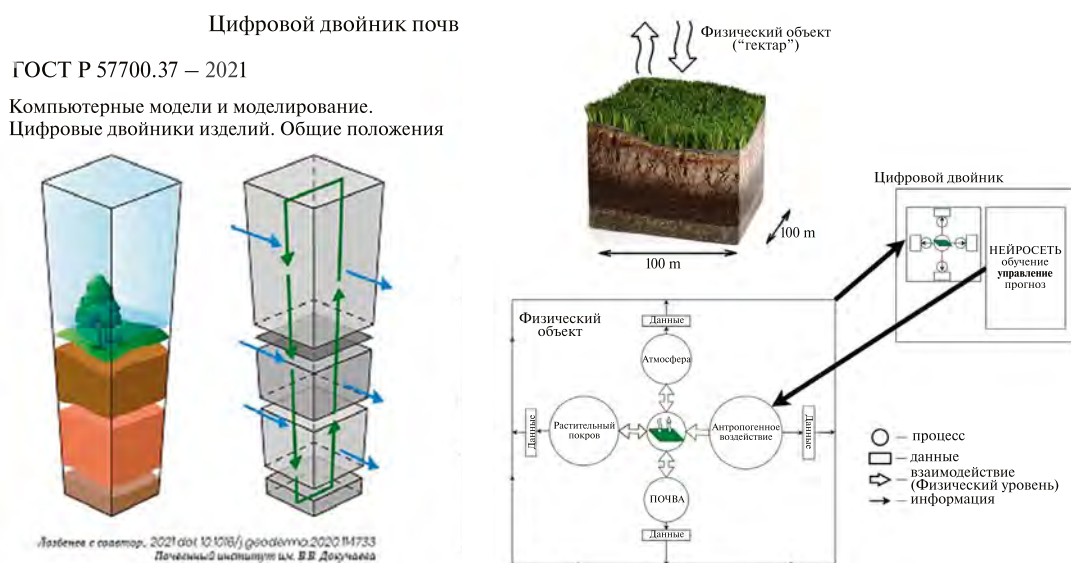
Научный подход предполагает *цифровизацию*, и она усиливается, хотя и медленнее, чем в других отраслях народного хозяйства. Нужно развивать новый информационный сервис с новыми задачами путём выдвижения инициатив, проб и ошибок, двигаться по своему компасу, зачастую быстрее графика утверждённых концепций и идеологий. Качество создаваемых продуктов, систем и платформ высокое, их в избытке, но они гармонизированы в большей мере с международными базами данных, неже-

ли с отечественными. Заимствование импортного программного обеспечения по-прежнему велико.

В России уровень информационных систем в сфере землепользования зависит от одной из главных производственно-экономических функций — качества почв. В ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева” (Почвенный институт) составлен новый ГОСТ Р 10229-2022 “Почвы. Показатели качества почв” [23]. Зарегистрированы программные продукты — базы данных для регионов [24–27]. В этом контексте *цифровые двойники* объектов растениеводства — ключевой и фундаментальный метод цифровизации АПК России. Совместно с Институтом системного программирования им. В.П. Иванникова РАН реализуется крупный научный проект “Разработка и научное обоснование системы — цифровой двойник почв в структуре агроландшафта как элемент Индустрии 5.0 для экономики России”. Создан ряд сервисов и алгоритмов обработки с использованием больших спутниковых данных и больших лингвистических моделей на основе технологий машинного обучения для разработки и реализации цифровых двойников почв и агроландшафтов (рис. 2).

19 февраля 2025 г. помощник Президента РФ Р.С.-Х. Эдельгериев и заместитель министра науки и высшего образования РФ Д.В. Пышный открыли Центр цифровых технологий в области почвоведения, который включает серверы виртуализации и хранения данных объёмом около 1 петабайта, рабочие станции с центральными и графическими процессорами общей производительностью 1 петафлопс.

Для улучшения дистанционного мониторинга важен процесс, свидетелем которого мы скоро станем: в науку и жизнь также стремительно, как и айфоны, ворвутся *малые спутники*. С их помощью можно будет локализовывать проявления и картировать



**Рис. 2.** Цифровой двойник почв

## Веб-сервис

Оценка рисков деградации земель от водной эрозии почв



Рис. 3. Веб-сервис по оценке рисков деградации земель от водной эрозии

эрозию, дефляцию, переувлажнение, засоление, опустынивание, карсты и термокарсты, нарушения почвенного покрова и др. Использование группировок малых спутников (то есть присутствие на орбите десятков и сотен аппаратов, регулярно сканирующих поверхность планеты) позволит добиться высокой частоты обновления данных, а передовые сенсоры обеспечат высокое разрешение снимков (до 1–5 м). Малые спутники, как и большие, могут нести на борту различные типы модернизированных сенсоров, включая мультиспектральные и гиперспектральные камеры и сканеры, радары, системы лазерного сканирования. Для удешевления, унификации схмотехники, размеров и технологии вывода их на орбиту в конце XX в. был разработан форм-фактор Кубсат (стандартизированный форм-фактор сверхмалых искусственных спутников с габаритами, кратными кубу со стороной 10 см).

За последние десятилетия был сделан большой скачок в области *эрозиоведения*. Огромный эмпирический материал обобщён в виде математических моделей, отражающих зависимость смыва почв от климатических, топографических, почвенно-литологических и хозяйственных факторов. Развитию этих методов способствуют данные дистанционного зондирования Земли. Более того, в СССР и современной России разработан широкий перечень почвозащитных мероприятий, различающихся по стоимости и эффективности. Таким образом, на сегодняшний день создана крепкая фундаментальная основа для урегулирования эрозии почв. В Почвенном институте разработан веб-сервис, который позволяет в среднесрочной перспективе оценивать риски деградации земель от плоскостной водной эрозии при сложившихся параметрах землепользования (рис. 3). Он позволяет адресно подбирать оп-

тимальные параметры и почвозащитные мероприятия для максимально эффективного управления рисками деградации земель от водной эрозии в будущем. Также возможно автоматическое создание карт рекомендуемого частичного залужения склонов с целью снижения рисков деградации земель.

Ожидаются новые открытия в области *биологии и биохимии почв* благодаря развитию почвенной вирусологии, а также метагенома с помощью биологической матрицы почв. Несмотря на то, что вирусы были открыты более 100 лет назад, причём на растительном материале в агросистемах, почвенный вириом (совокупность вирусов в образце) практически не изучен. Только в последнее время лавинообразно стали появляться публикации, посвящённые вирусам ризосферы и взаимосвязям растений и вириома. По нашему мнению, основные направления изучения вириома почвоведцами должны лежать в рамках экологии почвенных сообществ и почвенной агробиологии. Сейчас здесь открыто окно возможностей и вызовов. Отдельно нужно изучать взаимодействия “вириом—микробиом—растение” в ризосфере как в агроценозах, так и в естественных почвах.

Что касается *метагеномики*, традиционное секвенирование методом дробовика<sup>1</sup> и нанопоровое секвенирование<sup>2</sup> позволяют анализировать не просто таксономический состав почвенных микроорганизмов,

<sup>1</sup> Секвенирование методом дробовика (англ. Shotgun sequencing) — метод, используемый для секвенирования длинных участков ДНК. Его суть состоит в получении случайной массивированной выборки клонированных фрагментов ДНК организма, на основе которых может быть восстановлена исходная последовательность ДНК.

<sup>2</sup> Нанопоровое секвенирование — это технология, позволяющая проводить прямой анализ длинных фрагментов ДНК или РНК в режиме реального времени.



Рис. 4. Состав полного метагенома чернозёма Каменной степи на уровне субсистем генов

но и получать информацию о полном почвенном метагеноме. С помощью нанопорового секвенирования проанализированы полные метагеномы основных зональных типов почв России: дерново-подзолистой, серой лесной, чернозёма и каштановой. Выявлены десятки субсистем микробных генов, среди которых доминируют АТФ-транслоказы, системы генов пуринового обмена, метаболизма, аминокислот и пирувата (рис. 4).

Однако почвенная метагеномика сталкивается с проблемой избыточной информации. Количество генетического материала в 1 г почвы составляет около  $10^{15}$ – $10^{16}$  пар нуклеотидов, что идентично человеческому геному. Для решения этой проблемы предлагается создать почвенные метагеномные чипы (геочипы) — специализированные инструменты, позволяющие уменьшить количество получаемых данных и сосредоточиться на конкретных процессах и функциях. Первый этап — создание ДНК-суперматрицы — смеси ДНК, выделенных из представительной выборки, которая охватывает основное разнообразие почв России.

Земельный вопрос невероятно актуален. Сейчас отрасль сталкивается с беспрецедентными вызовами: геополитическими, природно-климатическими и социально-экономическими. Многие уже удалось сделать, наука стоит на пороге открытий, способных кардинально изменить диагностику состояния почв и бесконечно расширить возможности управления, мониторинга, земле- и природопользования. Настало время гармонизации, транспарентности и инкорпорирования всех существующих ведомственных платформ в единое пользовательское пространство.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Манифест 19 февраля 1861 г. “О всемилостивейшем даровании крепостным людям прав состояния свободных сельских обывателей”. Российское законодательство X–XX вв. В 9 т. Т. 7. Документы крестьянской реформы / Отв. ред. О.И. Чистяков. М.: Юридическая литература, 1989.
2. Иванов А.Л. Актуальные задачи современного землепользования в АПК России. Версия 4.0. М.: Изд-во МБА, 2024.
3. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. М.: Изд-во МБА, 2021.
4. Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного покрова, тенденции изменения, деградация, методология учёта. Прогнозы / Под редакцией Р.С.-Х. Эдельгериева, А.В. Гордеева, А.Л. Иванова. М.: Изд-во МБА, 2022.
5. Столбовой В.С., Гребенников А.М., Оглезнев А.К. и др. Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Версия 1.0. Иваново: ПресСто, 2021.

- Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Ogleznev A.K. et al.* Register of soil quality indicators of agricultural lands of the Russian Federation. Version 1.0. Ivanovo: PresSto, 2021. (In Russ.)
6. *Stolbovoy V.S., Ivanov A.L.* Carbon Balance in Soils of Northern Eurasia // *Soil Carbon. Progress in Soil Science.* Springer Cham, 2014. Pp. 381–391.
  7. *Ivanov A.L., Stolbovoy V.S.* The Initiative “4 per 1000” – a new global challenge for the soils of Russia // *Dokuchaev Soil Bulletin.* 2019, vol. 98, pp. 185–202.
  8. *Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S. et al.* Global climate and soil cover – implications for land use in Russia // *Dokuchaev Soil Bulletin.* 2021, vol. 107, pp. 5–32.
  9. *Ivanov A.L., Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Dukhanin Yu.A.* Contamination and suitability of soils for growing bio products in Russia // *Dokuchaev Soil Bulletin.* 2024, vol. 118, pp. 5–20.
  10. *Кирюшин В.И.* Уроки освоения целины // СССР в достижениях и катастрофах. Размышления по случаю 100-летия. М.: Голос, 2022. С. 387–426.  
*Kiryushin V.I.* Lessons of Virgin Land Development // *USSR in Achievements and Catastrophes. Reflections on the Occasion of the 100th Anniversary.* Moscow: Golos, 2022. Pp. 387–426. (In Russ.)
  11. Постановление пленума ЦК КПСС “О дальнейшем увеличении производства зерна в стране и об освоении целинных и залежных земель” 28 февраля – 2 марта 1954 г.  
Resolution of the Plenum of the Central Committee of the CPSU “On the further increase of grain production in the country and on the development of virgin and fallow lands” February 28 – March 2, 1954. (In Russ.)
  12. Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731 “О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации”.  
Resolution of the Government of the Russian Federation of May 14, 2021 no. 731 “On the State Program for the Effective Involvement of Agricultural Lands into Circulation and the Development of the Land Reclamation Complex of the Russian Federation”. (In Russ.)
  13. *Шевченко В.А., Исаева С.Д., Дедова Э.Б.* Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // *Вестник РАН.* 2023. № 4. С. 355–361.  
*Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B.* A new stage in the development of the melioration and water management complex of the Russian Federation // *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2023, no. 4, pp. 335–361. (In Russ.)
  14. Постановление Правительства РФ от 31 мая 2019 г. № 696 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации “Комплексное развитие сельских территорий”».
  - Resolution of the Government of the Russian Federation of May 31, 2019 no. 696 «On approval of the State Program of the Russian Federation “Integrated Development of Rural Areas”». (In Russ.)
  15. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)”. Т. 1 / Под ред. А.И. Бедрицкого. М.: Геос, 2018.  
National report “Global climate and soil cover of Russia: assessment of risks and ecological and economic consequences of land degradation. Adaptive systems and technologies for rational nature management (agriculture and forestry)”. Vol. 1 / Ed. by A.I. Bedritsky. Moscow: Geos, 2018. (In Russ.)
  16. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)”. Т. 2 / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: Изд-во МБА, 2019.  
National report “Global climate and soil cover of Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)”. Vol. 2 / Ed. by R.S.-Kh. Edelgeriev. Moscow: MBA Publishing House, 2019. (In Russ.)
  17. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)”. Т. 3 / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: Изд-во МБА, 2021.  
National report “Global climate and soil cover of Russia: manifestations of drought, prevention and control measures, elimination of consequences and adaptation activities (agriculture and forestry)”. Vol. 3 / Ed. by R.S.-Kh. Edelgeriev. Moscow: MBA Publishing House, 2021. (In Russ.)
  18. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: арктическая зона, мерзлотные почвы – будущему России”. Т. 4. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2024.  
National report “Global climate and soil cover of Russia: Arctic zone, permafrost soils – the future of Russia”. Vol. 4. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Institute, 2024. (In Russ.)
  19. Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2006. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006. Подготовлены Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Т. 1–5. / Под ред. С. Игглестона,

- Л. Буэндиа, К. Мива и др. Япония: ИГЕС. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006. Prepared by the IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 1–5. / Ed. by S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa et al. Japan: IGES. (In Russ.)
20. Базовое содержание углерода в почвах сельскохозяйственного назначения Российской Федерации для климатических проектов. Свидетельство № 2023623896.  
Basic carbon content in agricultural soils of the Russian Federation for climate projects. Certificate no. 2023623896. (In Russ.)
  21. Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года. Статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики. М.: ИИЦ “Статистика России”, 2022.  
Main results of the 2021 agricultural microcensus. Statistical digest / Federal State Statistics Service. Moscow: Research Center “Statistics of Russia”, 2022. (In Russ.)
  22. Единый государственный реестр почвенных ресурсов почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. <https://egrpr.esoil.ru/>  
Unified State Register of Soil Resources of Russia. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Institute, 2014. (In Russ.)
  23. ГОСТ Р 10229-2022 “Почвы. Показатели качества почв”. <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=4&month=8&year=-1&search=&id=245622>  
GOST R 10229-2022 “Soils. Soil quality indicators”. (In Russ.)
  24. Информационно-справочная база почв сельскохозяйственных угодий Северо-Западного Федерального округа Российской Федерации. Свидетельство № 2023624044.  
Information and reference database of agricultural soils of the Northwestern Federal District of the Russian Federation. Certificate no. 2023624044. (In Russ.)
  25. Информационно-справочная база почв сельскохозяйственных угодий Приволжского Федерального округа Российской Федерации. Свидетельство № 2023624429.  
Information and reference database of agricultural soils of the Volga Federal District of the Russian Federation. Certificate no. 2023624429. (In Russ.)
  26. Информационно-справочная база почв сельскохозяйственных угодий Уральского Федерального округа Российской Федерации. Свидетельство № 2023624028.  
Information and reference database of agricultural soils of the Ural Federal District of the Russian Federation. Certificate no. 2023624028. (In Russ.)
  27. Информационно-справочная база почв сельскохозяйственных угодий Дальневосточного Федерального округа Российской Федерации. Свидетельство № 2023624029.  
Information and reference database of agricultural soils of the Far Eastern Federal District of the Russian Federation. Certificate no. 2023624029. (In Russ.)

## CURRENT TASKS IN THE FIELD OF AGRICULTURAL LAND USE IN THE RUSSIAN FEDERATION AND THEIR SOLUTION

A.L. Ivanov<sup>a,\*</sup>, Yu.A. Dukhanin<sup>a,\*\*</sup>, L.O. Khorosheva<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: [ivanov\\_al@esoil.ru](mailto:ivanov_al@esoil.ru)*

<sup>\*\*</sup>*E-mail: [dr.dukhanin@esoil.ru](mailto:dr.dukhanin@esoil.ru)*

<sup>\*\*\*</sup>*E-mail: [info@esoil.ru](mailto:info@esoil.ru)*

The land issue is extremely important for Russian society. In the context of modern geopolitical, natural, climatic and socio-economic challenges, we are given a chance to find an optimal solution to pressing land use problems. Along with significant achievements of recent years, a number of unresolved problems remain concerning the development and application of new approaches to land use, resource provision of the agro-industrial complex and agricultural technology policy. The article analyzes the impact of global climate change on land use, effective involvement of agricultural lands in circulation, scientific support for rational land use. The need to organize a single body regulating land relations under the auspices of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation is affirmed.

*Keywords:* land use, agriculture, agricultural economy, soils, soil resources.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## АГРАРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БРИКС В СОВРЕМЕННОМ ГЕОЭКОНОМИЧЕСКОМ ЛАНДШАФТЕ

© 2025 г. А.Г. Папцов<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий —  
Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

\*E-mail: a.g.paptsov@vniiesh.ru

Поступила в редакцию 19.03.2025 г.

После доработки 10.04.2025 г.

Принята к публикации 23.04.2025 г.

Современный мировой геоэкономический ландшафт характеризуется рядом тенденций в организации межстрановых объединений, которые задают новые векторы развития мирохозяйственного комплекса. На этом фоне особенно заметно перспективное и динамично развивающееся объединение БРИКС. Одна из важнейших его задач — обеспечение продовольственной безопасности всех участников на основе научно-технологического развития, инвестиционной деятельности и внутрирегиональной торговли. Страны БРИКС обладают значительным научно-технологическим потенциалом, эффективное использование которого даёт возможность участникам объединения выйти на новый виток развития и обеспечить производство продукции, конкурентоспособной на мировом агропродовольственном рынке.

**Ключевые слова:** БРИКС, аграрный потенциал, агропродовольственный рынок, научно-технологическое развитие, инвестиционная деятельность.

DOI: 10.31857/S0869587325060052, EDN: FASAOQ

Рост международной политической напряжённости снижает возможности управления глобальными торгово-экономическими потоками. В этой ситуации усиливается роль межгосударственных объединений, из которых наиболее масштабным в последние годы стало БРИКС. В настоящее время БРИКС — авторитетная структура, влияние которой на международной арене растёт. Объединение поддерживает идею многополярного миропорядка, основанного на международном праве, при соблюдении ключевых принципов Устава ООН [1]. Кроме

того, БРИКС — это крупное торгово-экономическое объединение, оказывающее прямое воздействие на развитие мировой экономики.

Расширение членского состава БРИКС в 2024 г. создало новые возможности для его экономического развития. В настоящее время в состав БРИКС+ входят десять государств: Бразилия, Россия, Индия, КНР, ЮАР, ОАЭ, Иран, Египет, Эфиопия и Индонезия. Заявку на вступление в объединение подали ещё 18 стран, которые имеют статус кандидата в члены объединения. Вступление в БРИКС новых членов значительно увеличивает экономический потенциал группы. Новые участники привнесли в БРИКС ряд стратегических активов: новые рынки, природные ресурсы, связи с важнейшими интеграционными объединениями, такими как ОПЕК, Панарабская зона свободной торговли, Совет сотрудничества стран Персидского залива, Африканская континентальная зона свободной торговли. Привлечение новых членов и партнёров усилило позиции объединения на международной арене, поскольку в настоящее время в него входят самые крупные и значимые в регионах страны, которые играют важную роль в развитии мирового агропродовольственного



ПАПЦОВ Андрей Геннадьевич — академик РАН, и.о. директора ФНЦ ВНИИЭСХ.

рынка. На территории СНГ и постсоветских стран – Россия, в Азии – Китай, Индия, Индонезия, на Ближнем Востоке – Объединённые Арабские Эмираты и Иран, в Африке – Египет, ЮАР и Эфиопия, в Южной Америке – Бразилия [2, 3].

Огромный территориальный потенциал стран БРИКС создаёт основу для формирования специализированных программ развития различных отраслей, опираясь на масштабную ресурсную основу (рис. 1). Об этом свидетельствуют также абсолютные и относительные показатели, характеризующие человеческий потенциал объединения (табл. 1, рис. 2).



**Рис. 1.** Доля территории стран БРИКС в мире, 2024 г., %  
Источник: составлено по [4].

**Таблица 1.** Численность населения стран БРИКС, млн человек

| Страны   | Годы  |       |       |       |       |       |        |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|          | 2000  | 2015  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024   |
| Бразилия | 174.7 | 202.4 | 209.2 | 210.1 | 210.9 | 211.7 | 145.9  |
| Китай    | 1263  | 1380  | 1411  | 1412  | 1412  | 1411  | 1408.3 |
| Египет   | ...   | 90.6  | 100.6 | 102.0 | 103.6 | 105.2 | 107    |
| Эфиопия  | ...   | 90.1  | 100.8 | 103.0 | 105.2 | 107.5 | 127.1  |
| Индия    | 1002  | 1280  | 1353  | 1367  | 1380  | 1392  | 1462   |
| Иран     | 64.2  | 78.9  | 83.4  | 84.0  | 84.7  | 85.3  | 85.5   |
| Россия   | 146.6 | 147.0 | 147.7 | 147.2 | 146.7 | 146.3 | 212.6  |
| ЮАР      | ...   | 55.7  | 60.0  | 60.6  | 61.3  | 62.2  | 60.4   |
| ОАЭ      | 3.2   | 8,7   | 9.3   | 9.9   | 10.3  | 10.7  | 10.6   |

Источник: составлено по [4].



**Рис. 2.** Доля населения стран БРИКС в 2024 г., %  
Источник: составлено по [4].

Анализируя данные национальных счетов стран БРИКС, следует отметить следующие очевидные тенденции. В 2023 г. абсолютные величины демонстрируют достаточно сильный разброс в показателях. Впечатляет масштаб ВВП Китая (17,9 трлн долл.), за которым с большим отрывом следуют Индия (3,6 трлн долл.) и Россия (2,0 трлн долл.); если оценивать ВВП на душу населения, лидеры меняются местами: с большим отрывом впереди ОАЭ (48141 долл.), далее оказываются Россия (13900 долл.), Китай (12681 долл.) и Бразилия (10049 долл.) (табл. 2).

Сравнение БРИКС со странами “Большой семерки” (G7) позволяет констатировать его превосходство над G7 по численности населения, общей площади, площади сельскохозяйственных земель и ВВП (рис. 3) [7].

Говоря о потенциале БРИКС в агропродовольственной сфере, следует опираться на приводимые ниже показатели аграрного сектора в экономике

**Таблица 2.** Основные экономические показатели БРИКС

| Страны                                                    | Годы |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                           | 2000 | 2015  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
| <b>ВВП (в текущих ценах, млрд долл. США)</b>              |      |       |       |       |       |       |
| Бразилия                                                  | 655  | 1800  | 1476  | 1671  | 1952  | 2174  |
| Китай                                                     | 1211 | 11060 | 14694 | 17813 | 17911 | 17889 |
| Египет                                                    | ...  | 334   | 382   | 423   | 475   | 393   |
| Эфиопия                                                   | 8    | 66    | 108   | 111   | 127   | 164   |
| Индия                                                     | 468  | 2104  | 2676  | 3167  | 3348  | 3568  |
| Россия                                                    | 260  | 1370  | 1496  | 1844  | 2301  | 2033  |
| ЮАР                                                       | 151  | 346   | 338   | 420   | 407   | 381   |
| ОАЭ                                                       | ...  | 370   | 349   | 415   | 503   | 514   |
| <b>ВВП на душу населения (в текущих ценах, долл. США)</b> |      |       |       |       |       |       |
| Бразилия                                                  | 3771 | 8846  | 6970  | 7831  | 9085  | 10049 |
| Китай                                                     | 959  | 8015  | 10413 | 12613 | 12683 | 12681 |
| Египет                                                    | ...  | 3687  | 3794  | 4148  | 4587  | 3742  |
| Эфиопия                                                   | 135  | 744   | 1079  | 1092  | 1218  | 1549  |
| Индия                                                     | 460  | 1640  | 1974  | 2314  | 2421  | 2558  |
| Россия                                                    | 1772 | 9320  | 10131 | 12523 | 15681 | 13900 |
| ЮАР                                                       | 3466 | 6257  | 5677  | 6991  | 6693  | 6208  |
| ОАЭ                                                       | ...  | 41423 | 37636 | 42108 | 48897 | 48141 |

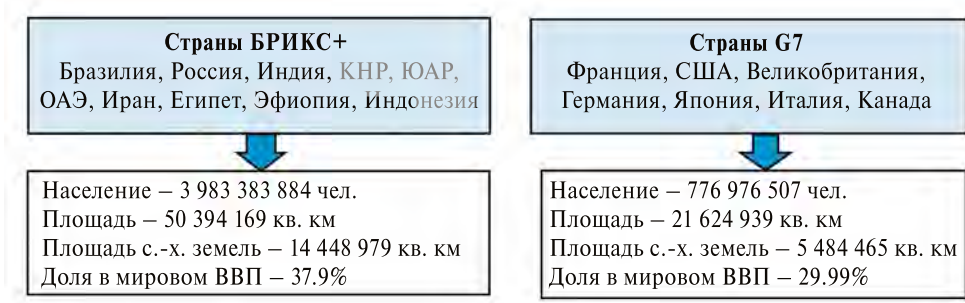
Источник: составлено по [4].

стран блока, а также данные о ресурсном обеспечении и производственных масштабах их основных аграрных отраслей. Бразилия и Китай лидируют по доле сельского хозяйства в ВВП. Однако постепенно и в этих странах данный показатель снижается ввиду масштабного наращивания мощностей и производства в лёгкой и тяжёлой промышленности, электронике, сфере услуг и машиностроении (табл. 3).

Что касается обеспечения сельскохозяйственными земельными ресурсами и производства важнейших видов сельскохозяйственной продукции (табл. 4), то в большинстве стран объединения площадь обрабатываемых земель стабильна. Исключение составляет Бразилия, расширяющая площади возделываемых культур за счёт вырубки лесных массивов и осушения болот. Эта политика уже в ближайшем будущем может создать массу экологических проблем, которые будут иметь последствия природно-климатического характера.

Вторым примером расширения ареала возделываемых земель является Эфиопия, хотя масштабы прироста угодий здесь несравнимы с Бразилией и применяемые методы не столь жёсткие. Прирост в основном касается посевов зерновых культур.

Анализ динамики производства продукции зернового хозяйства и основных отраслей животноводства позволяет сделать вывод о значительных темпах роста, особенно в Бразилии, Китае, России и Индии. Это обусловлено увеличением потребности в продукции массового потребления (staple products, по международной классификации относимые к разряду наиболее потребляемых видов продовольствия, особенно это касается зерна; мясо и мясные продукты включены в эту группу совсем недавно, причём лишь в ряде стран). Следует отметить, что по прогнозу ведущих специалистов в области мирового продовольственного рынка, Китай готов потреблять до половины всего производимого в мире мяса.



**Рис. 3.** Сравнительная характеристика стран БРИКС+ и стран G7  
Источник: составлено по [5–7].

**Таблица 3.** Доля сельского хозяйства в ВВП стран БРИКС, %

| Страны   | Годы |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 2009 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Бразилия | 5.6  | 5.3  | 4.3  | 5.7  | 6.6  | 5.8  | 6.2  |
| Россия   | 4.9  | 3.9  | 4.2  | 4.0  | 4.2  | 3.8  | 3.4  |
| Индия    | 17.7 | 18.2 | 17.0 | 16.0 | 16.8 | 18.8 | 15.0 |
| Китай    | 10.3 | 10.1 | 8.4  | 16.5 | 7.2  | 7.3  | 7.1  |
| ЮАР      | 2.9  | 2.6  | 2.4  | 2.4  | 2.4  | 2.8  | 2.6  |

Источник: составлено по [4, 8].

В последние полтора десятилетия прямые иностранные инвестиции в мировое сельское хозяйство (за исключением ряда лет) имеют чёткую тенденцию к росту (рис. 4). Расширение производства продовольствия в странах БРИКС также в значительной мере связано с увеличением зарубежных вложений в агропродовольственный комплекс. Лидерами по привлечению иностранных инвестиций стали Китай и Бразилия, при этом основными объектами инвестирования в обеих странах выступают животноводство, производство сои и аквакультура (табл. 5). Вместе с тем следует отметить, что лишь незначительная часть вложений, привлекаемых БРИКС, направляется непосредственно на развитие аграрного сектора – в основном на развитие сельских территорий (транспортная инфраструктура, меры по охране окружающей среды, системы водоснабжения, возобновляемые источники энергии). Среди стран БРИКС лидером по привлечению прямых иностранных инвестиций в аграрную сферу выступает Бразилия (600–700 млн долл. в год), далее следует Египет (20 млн долл. в год), который входит в третью десятку стран по этому показателю [10].

Важное направление экономического развития стран БРИКС – инвестиционное сотрудничество внутри блока, которое в последнее десятилетие неуклонно усиливалось как в абсолютном, так и в относительном выражении. По данным Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД), общий

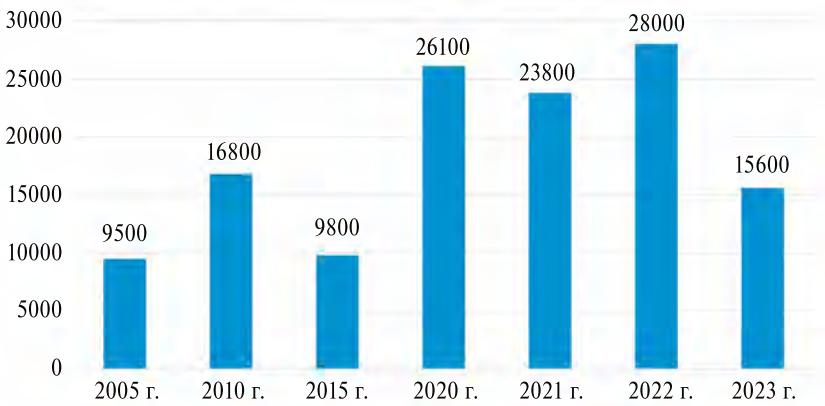
объём внутренних прямых иностранных инвестиций между странами объединения увеличился с 27 млрд долл. США в 2010 г. до 167 млрд долл. в 2020 г. Китай стал крупнейшим как донором, так и получателем внутри БРИКС. Бразилия и Индия также заметно увеличивают вложения в страны объединения. По оценкам международных экспертов, предполагается дальнейший рост внутренних инвестиций с учётом возросшего объёма внутрирегиональной торговли и вступлением в объединение новых членов. В последние годы в странах БРИКС за счёт внутренних инвестиций было реализовано несколько крупномасштабных проектов, в том числе и в сельском хозяйстве. Одним из них стал проект китайской фирмы “Чжундин Дайри Фармин” в России (Приморский край) по развитию животноводства стоимостью 750 млн долл. (2017). В 2020 г. китайская фирма “Ливэй” реализовала в России (Хабаровский край) крупный проект по производству продукции растениеводства стоимостью 335 млн долл. Одной из основных сфер для внутрирегиональных инвестиций является развитие инфраструктуры, которая имеет решающее значение с точки зрения долгосрочных перспектив аграрного сектора.

Одно из приоритетных направлений интеграции стран БРИКС в аграрной сфере – сотрудничество в инновационной и технологической областях. Общая цель состоит в том, чтобы перейти к высокотехнологичному инновационному сельскому хо-

**Таблица 4.** Земельный потенциал и производство важнейших видов сельскохозяйственной продукции в странах БРИКС

| Страны                                | Годы  |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 2000  | 2015  | 2020  | 2021  | 2022  |
| Площадь обрабатываемых земель, млн га |       |       |       |       |       |
| Бразилия                              | 52    | 77    | 83    | 87    | 91    |
| Китай                                 | 128   | 135   | 127   | 128   | 128   |
| Египет                                | 3.2   | 3.8   | 4     | 4     | 4.1   |
| Эфиопия                               | 8     | 10    | 11    | 15    | 18    |
| Индия                                 | 156   | 155   | 154   | 154   | ...   |
| Россия                                | 124   | 123   | 123   | 123   | 123   |
| ОАЭ                                   | ...   | 0.08  | 0.09  | 0.09  | 0.09  |
| Производство зерна, млн т             |       |       |       |       |       |
| Бразилия                              | 45    | 103   | 121   | 108   | 131   |
| Китай                                 | 405   | 618   | 617   | 633   | 633   |
| Египет                                | ...   | 104   | 115   | 111   | 108   |
| Эфиопия                               | 9,29  | 23    | 30    | 35    | 46    |
| Индия                                 | 186   | 235   | 285   | 288   | 304   |
| Россия                                | 65    | 105   | 133   | 121   | 158   |
| ЮАР                                   | 14    | 12    | 18    | 19    | 18    |
| ОАЭ                                   | ...   | 0.004 | 0.026 | 0.023 | 0.021 |
| Производство мяса, тыс. т             |       |       |       |       |       |
| Бразилия                              | 9857  | 22133 | 24299 | 24985 | 26073 |
| Китай                                 | 60139 | 87495 | 77484 | 89900 | 93284 |
| Египет                                | 705   | 974   | 672   | 726   | 803   |
| Эфиопия                               | ...   | 412   | 431   | 434   | 544   |
| Индия                                 | 1851  | 7020  | 8798  | 9292  | 9769  |
| Россия                                | 4446  | 9519  | 11222 | 11346 | 11744 |
| ЮАР                                   | 1666  | 3146  | 3321  | 3431  | 3433  |

Источник: составлено по [4].



**Рис. 4.** Прямые иностранные инвестиции в мировое сельское хозяйство, млн долл. США  
Источник: составлено по [9].

**Таблица 5.** Приток прямых иностранных инвестиций в сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство в странах БРИКС, млн долл. США

| Страна    | Годы  |        |        |       |       |        |       |
|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
|           | 2000  | 2010   | 2015   | 2020  | 2021  | 2022   | 2023  |
| Бразилия  | —     | 898.2  | 474.6  | 307.6 | 923.0 | 678.2  | —     |
| Россия    | 31    | 317.5  | 270.5  | 134.4 | 24.5  | —      | —     |
| Индия     | 14.0  | 43.9   | 84.6   | 117.1 | 258.5 | —      | —     |
| Китай     | 675.9 | 1911.9 | 1533.9 | 575.7 | 826.3 | 1242.0 | 721.9 |
| Египет    | —     | 171.2  | —      | –2.5  | 5.2   | 48.6   | 68.3  |
| ОАЭ       | —     | 88.7   | 35.0   | —     | —     | —      | —     |
| Индонезия | 525.9 | 337.0  | 4932.2 | –96.3 | –21.9 | –213.2 | 103.4 |

Источник: составлено по [8].

зяйству. Правовой основой взаимодействия в этой сфере стал “Меморандум о сотрудничестве в сфере науки, технологий и инноваций между правительствами Федеративной Республики Бразилия, Российской Федерации, Республики Индия, Китайской Народной Республики и Южно-Африканской Республики”, подписанный в 2015 г. В документе определены направления сотрудничества, в том числе в аграрной сфере:

- продовольственная безопасность и устойчивое сельское хозяйство;
- изменение климата и минимизация последствий природных катастроф;
- новые и возобновляемые источники энергии, сохранение энергии;
- биотехнологии;
- высокотехнологичные зоны, научные парки и инкубаторы;
- передача технологий.

В меморандуме указаны основные формы сотрудничества:

- реализация совместных программ и проектов;
- создание механизмов совместного финансирования проектов;
- программы обмена специалистами; организация практических семинаров, симпозиумов и конференций;
- проведение совместных конкурсов и сотрудничество национальных научных, инженерных и исследовательских организаций.

Финансирование научного сотрудничества осуществляется за счёт равных вкладов государств-участников БРИКС в рамках трёхлетних и пятилетних периодов. В 2021 г. министрами сельского хозяйства был принят План действий по сотрудничеству стран объединения в области сельского хозяйства на 2021–2024 гг., цель которого – обмен знаниями и опытом в области сельскохозяйственных

исследований и разработок. На встрече министров была представлена Платформа сельскохозяйственных исследований БРИКС, нацеленная на развитие сельского хозяйства, решение проблем голода, бедности и неравенства посредством сотрудничества стран объединения [10, 11]. С расширением состава БРИКС возникает необходимость принять долгосрочную стратегию научно-технологического развития аграрного сектора, в которой в максимальной степени были бы учтены потребности всех стран-членов.

В настоящее время страны БРИКС обладают внушительным научно-технологическим потенциалом в аграрной сфере (табл. 6). Это позволяет рассчитывать на эффективное сотрудничество в следующих областях:

- *использование генетических ресурсов растений и животных.* Накопленные странами национальные банки генетических ресурсов играют важную роль в селекции растений и животных, направленной на повышение их продуктивности, устойчивости к вредителям и болезням, неблагоприятным климатическим условиям и другим факторам;
- *развитие биотехнологии и ветеринарии.* В настоящее время существует ряд перспективных направлений, по которым сотрудничество в расширенном формате БРИКС может стать дополнительным объединяющим фактором. При этом особое значение будет иметь разработка мер регулирования и поддержки развития и применения биотехнологий в сельском хозяйстве;
- *обмен передовыми технологиями,* предназначенными для роста производительности сельского хозяйства, – развитие беспилотных авиационных систем, робототехники, искусственного интеллекта;
- *снижение негативного воздействия* климатических изменений на окружающую среду, включая разработку цифровой системы раннего предупреждения фермерских хозяйств на основе сотрудничества национальных гидрометеорологических структур.

**Таблица 6.** Научно-технологический потенциал стран БРИКС в аграрной сфере

| Страна    | Основные направления научно-технологического развития АПК                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Россия    | Принят ряд стратегических документов по научно-технологическому развитию АПК: техническая модернизация АПК, в том числе развитие беспилотных авиационных систем, робототехники; применение искусственного интеллекта (включая разработку датчиков, систем технического зрения, систем обработки больших данных и др.); развитие селекции и генетики, в том числе отечественной клоновой селекции, технологий производства лекарственных препаратов для ветеринарного применения, а также биотехнологий производства ферментов, витаминов и аминокислот, создание специализированных агробиотехнопарков. |
| Китай     | Страна объявила стратегической целью развитие агротехнологий, ведутся исследования в области разработки высокоэффективных методов снижения производственных затрат и создания новых возможностей для производства продуктов питания. Китайская академия сельскохозяйственных наук (CAAS) планирует сосредоточиться на исследованиях и разработках в области семеноводства, сельскохозяйственной техники и “зелёного” сельского хозяйства, использования робототехники в сельском хозяйстве. Китай планирует стать ведущей державой в мировой индустрии робототехники.                                   |
| Бразилия  | Бразилия находится на первом месте в мире по использованию цифровых технологий в сельском хозяйстве, опережая США и страны Евросоюза. Доля цифровизации агросектора достигает почти 50%. Осуществляются масштабные исследования в области орошения, разработки новых сортов с упором на соевые бобы, пшеницу, кукурузу, сахарный тростник, кофе, маниоку, ячмень, каучуковые деревья, фруктовые деревья, а также кормовые травы и бобовые.                                                                                                                                                              |
| Индия     | В Индии достигнут значительный прогресс в области биотехнологии. Страна вкладывает значительные средства в цифровизацию АПК, логистику, развитие телекоммуникационных систем и искусственного интеллекта. Внедрение ИИ является частью концепции “умного сельского хозяйства”. Правительство сотрудничает с компанией “Microsoft” с целью разработки механизмов контроля и прогнозирования цен на сельскохозяйственную продукцию. Важное направление исследований – вопросы изменения климата и инициативы в области возобновляемой энергетики.                                                         |
| ЮАР       | ЮАР ведёт исследования в области изменения климата. В стране действует Центр климатических инноваций – бизнес-инкубатор в сфере “зелёных” технологий. Это единственный высокотехнологичный производственный и логистический кластер ЮАР, лидирующий промышленный парк в Южной Африке, известный новаторскими решениями для различных отраслей, включая переработку сельскохозяйственной продукции и аквакультуру.                                                                                                                                                                                       |
| ОАЭ       | ОАЭ активно развивают исследования в области искусственного интеллекта, возобновляемой энергетики, умных городов. Страна лидирует в сфере передовых технологий организации вертикальных ферм, гидропонного земледелия, производства аквакультуры. Большое внимание уделяется развитию стартапов, что обеспечивает ускоренное технологическое развитие.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Иран      | Иран специализируется на внедрении робототехники и беспилотников в теплицах и полях, располагает разветвлённой сетью спутникового наблюдения за погодно-климатическими условиями.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Египет    | Египет проводит исследования по разработке новых сортов растений, устойчивых к засухе, болезням и вредителям, с высокой урожайностью. Разрабатываются и внедряются новые методы орошения сельскохозяйственных культур.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Эфиопия   | Страна специализируется на создании крупных агропромышленных технопарков для роста производительности и модернизации сельского хозяйства.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Индонезия | В Индонезии накоплен значительный опыт по созданию и функционированию особых экономических зон (ОЭЗ). Активно развиваются научные исследования в области цифровой экономики и передовых технологий для различных секторов экономики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Источник: составлено по [10, 11].

Следует отметить, что в большинстве стран БРИКС сдерживающим фактором создания инновационно-ориентированной экономики остаётся низкий уровень финансирования научных исследований. Практически все страны объединения по расходам на НИОКР значительно отстают от государств с развитой экономикой. Лидером по финансированию научно-исследовательского сектора среди членов объединения является Китай. Затраты Китая на НИОКР в 9.5 раз превышают аналогичные расходы Индии, более чем в 12.5 раз — России и Бразилии и почти в 97 раз — Южной Африки. В 2024 г. в Китае доля расходов на исследования и разработки достигла 2.43% ВВП, что значительно превышает аналогичный показатель других стран объединения (у Бразилии и России он составляет 1.15 и 0.94% соответственно, у Индии и ЮАР не превышает 0.7%). У новых членов БРИКС затраты на науку также находятся на низком уровне: ОАЭ — 1.5% ВВП, Египет — 1.02%, Иран — 0.8%, Индонезия — 0.28%, Эфиопия — 0.27%. В то же время в ведущих развитых странах этот показатель превышает 3%, в том числе в Израиле — 5.56%, Южной Кореи — 4.93%, США — 3.46%, Бельгии — 3.43%, Японии — 3.30%, Германии — 3.14%. (Для справки: в 2022 г. государственное и частное финансирование исследований и разработок достигло в США 923 млрд долл., или около 30% мировых расходов.) В ближайшие годы США планируют тратить на научные исследования и разработки до 1 трлн долл. в год [12].

По уровню расходов на НИОКР в аграрном секторе среди стран БРИКС лидерами являются Китай, Индия и Бразилия. За последнее десятилетие КНР увеличила свои расходы в 5 раз — с 1.3 млрд долл. до 6.6 млрд долл. По итогам 2022 г. Поднебесная вышла на первое место в мире по этому показателю, обогнав США, Индию и Бразилию, расходы которых в совокупности составили 5.6 млрд долл. На Китай, Бразилию и Индию вместе взятые приходится 15% мировых расходов на НИОКР аграрного профиля, которые составляют около 70 млрд долл. в год в мире. Россия и ЮАР значительно отстают от этих трёх стран по уровню финансирования НИОКР в области сельского хозяйства, расходы которых в год составляют 30–40 млн долл. и 130 млн долл. соответственно. Новые страны-участники БРИКС значительно уступают по данному показателю мировым лидерам, несмотря на то, что страны со средним уровнем развития в последние годы значительно увеличили долю ассигнований на поддержку научно-исследовательских работ в аграрном секторе, особенно это касается ОАЭ и Индонезии [10].

В настоящее время объединение БРИКС располагает определёнными наработками по механизму сотрудничества в научно-технологической сфере. Дальнейшее углубление кооперации в этой сфере предполагает:

- согласование приоритетов научно-технического сотрудничества между всеми членами интеграционного объединения;
- создание в рамках БРИКС особых организаций, которые будут ответственны за научно-технологическое сотрудничество, например, в форме научно-исследовательских институтов и институтов развития;
- реализацию на территории стран БРИКС отделений научно-исследовательских центров;
- развитие взаимодействия через Платформу сельскохозяйственных исследований БРИКС по различным вопросам развития аграрного сектора;
- эффективные коммуникации и партнёрские отношения с зарубежными научно-исследовательскими центрами;
- развитие национального законодательства, предусматривающего внедрение отдельных положений многосторонних соглашений о сотрудничестве в сфере науки и технологий на базе БРИКС в национальные стратегии стран-членов объединения;
- развитие сотрудничества в области обучения и подготовки кадров, разработку совместных учебных программ, включая краткосрочный обмен исследователями и техническими экспертами.

Однако, по мнению международных экспертов, расширение БРИКС может иметь неоднозначные последствия. С одной стороны, БРИКС+ становится своего рода противовесом, способным конкурировать со странами “Большой семёрки”. С ростом экономической значимости объединения следует ожидать усиления его влияния в международных организациях, на правила международной торговли и инвестиционную деятельность. С другой стороны, расширение БРИКС, возможно, осложнит процесс принятия решений внутри объединения, поскольку достигнуть консенсуса при участии многочисленных членов группы вместо прежних пяти окажется намного труднее. Несовпадение подходов к решению спорных вопросов может привести к обострению дискуссий, затруднит трансляцию достигнутых решений в практические действия, сделает процесс управления объединением более сложным [13].

В заключение ещё раз подчеркну, что развитие аграрного сектора входит в число приоритетных направлений сотрудничества в рамках БРИКС. Объединение включает страны, относящиеся к числу крупнейших в мире производителей продукции АПК, что делает его значимым игроком на глобальном рынке. При этом участниками БРИКС являются как нетто-экспортёры, так и нетто-импортёры сельскохозяйственных товаров. Основная цель взаимодействия в рамках организации — обеспечение продовольственной безопасности, повышение благосостояния населения, а также развитие современной, устойчивой и экологичной системы аграрного производства. Ввиду географических

и климатических различий аграрный сектор каждой из стран БРИКС обладает уникальной спецификой, что позволяет объединению производить широкий ассортимент сельскохозяйственных товаров. И это позитивно влияет на перспективы взаимовыгодного сотрудничества, имея в виду торговлю, обмен опытом и технологиями. В совокупности страны БРИКС производят треть мирового продовольствия, что подчёркивает глобальную значимость аграрного сектора объединения и его ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности не только государств-участников, но и всего мира [14].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Стенограмма выступления Владимира Путина на саммите БРИКС. 23 августа 2023 г. Неофициальный сайт Президента РФ. <http://president.org/tekst/stenogramma-vystuplenijavladimira-putina-na-sammite-briks-23-08-2023.html>  
Transcript of Vladimir Putin's speech at the BRICS summit. August 23, 2023. Unofficial website of the President of the Russian Federation. <http://president.org/tekst/stenogramma-vystuplenijavladimira-putina-na-sammite-briks-23-08-2023.html>
2. БРИКС и новая архитектура международной торговли // 1520 international: сайт. <https://1520international.com/content/2024/sentyabr-2024/>  
BRICS and the New Architecture of International Trade // 1520 international: website. <https://1520international.com/content/2024/sentyabr-2024/>
3. ПАПЦОВ А.Г. Тенденции глобального продовольственного обеспечения в условиях пандемии // Научные труды ВЭО России. 2021. Т. 230. № 4. С. 285–296. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-285-296  
*Paptsov A.G.* Trends in global food ensuring in the context of a pandemic // Scientific works of the VEO of Russia. 2021, vol. 230, no. 4, pp. 285–296. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-285-296
4. BRICS Joint Statistical Publication 2024. [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/BRICS%20Joint%20Statistical%20Publication-2024\(1\).pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/BRICS%20Joint%20Statistical%20Publication-2024(1).pdf)
5. BRICS and G7 countries in global economy // TASS: офиц. сайт. <https://tass.com/world/1664909?ysclid=m7nc9x191p744119530>
6. Основные показатели развития мировой экономики. Мир в 2023 г. // ИМЭМО РАН: офиц. сайт. [https://www.imemo.ru/index.php?page\\_id=1668](https://www.imemo.ru/index.php?page_id=1668)  
Basic indicators of global economic development. World in 2023 // IMEMO RAS: official website. [https://www.imemo.ru/index.php?page\\_id=1668](https://www.imemo.ru/index.php?page_id=1668)
7. Топ стран по земельным ресурсам: рейтинги 2023 года. <https://lindeal.com/rating/top-stran-po-zemelnym-resursam-rejtingi-2023-goda?ysclid=m6ukb8el4b504244233>  
Top Countries by Land Resources: 2023 Rankings. <https://lindeal.com/rating/top-stran-po-zemelnym-resursam-rejtingi-2023-goda?ysclid=m6ukb8el4b504244233>
8. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FDI>
9. World Investment Report 2024. [https://www.developmentaid.org/api/frontend/cms/file/2024/06/wir2024\\_en.pdf](https://www.developmentaid.org/api/frontend/cms/file/2024/06/wir2024_en.pdf); Unctadstat / UN Trade & development: <https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>
10. Сельское хозяйство стран БРИКС: расширение и углубление. Доклад 2024. Национальный координационный центр международного делового сотрудничества. [https://nccibc.ru/upload/iblock/cda/w7zm69k6biylumc66zv9\\_kk64dunc4mki.pdf7](https://nccibc.ru/upload/iblock/cda/w7zm69k6biylumc66zv9_kk64dunc4mki.pdf7)  
Agriculture of the BRICS countries: expansion and deepening. Report 2024. National Coordination Center for International Business Cooperation. [https://nccibc.ru/upload/iblock/cda/w7zm69k6biylumc66zv9\\_kk64dunc4mki.pdf7](https://nccibc.ru/upload/iblock/cda/w7zm69k6biylumc66zv9_kk64dunc4mki.pdf7)
11. Краснова Г. Состояние и перспективы многостороннего научного сотрудничества в рамках БРИКС // РСМД: офиц. сайт. <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/sostoyanie-i-perspektivy-mnogostoronnego-nauchnogo-s>  
*Krasnova G.* Status and Prospects of Multilateral Scientific Cooperation within the BRICS Framework // RIAC: official website. <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/sostoyanie-i-perspektivy-mnogostoronnego-nauchnogo-s>
12. Уровень расходов на НИОКР в странах мира // Гуманитарный портал. <https://gtmarket.ru/ratings/research-and-development-expenditure>  
R&D expenditure level in countries of the world // Humanitarian portal. <https://gtmarket.ru/ratings/research-and-development-expenditure>
13. Леонова О.Г. Расширение БРИКС и его геополитические последствия // Россия и мир в XXI веке. 2024. № 2. С. 55–71. DOI: 10.31249/rsm/2024.02.04  
*Leonova O.G.* BRICS expansion and its geopolitical consequences // Russia and the world in the 21st century. 2024, no. 2, pp. 55–71. DOI: 10.31249/rsm/2024.02.04
14. The BRICS Investment Report. United nations conference on trade and development. 2023. [https://unctad.org/system/files/official-document/diae2023d1\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/diae2023d1_en.pdf), United Nation

## AGRARIAN POTENTIAL OF BRICS IN THE MODERN GEOECONOMIC LANDSCAPE

**A.G. Paptsov<sup>a,\*</sup>**

*<sup>a</sup>Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research  
Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia*

*\*E-mail: a.g.paptsov@vniiesh.ru*

The modern global geoeconomic landscape is characterized by a number of trends in the organization of intercountry associations that set new vectors for the development of the global economic complex. Against this background, the promising and dynamically developing BRICS association is especially noticeable. One of its most important tasks is to ensure food security for all participants based on scientific and technological development, investment activities and intraregional trade. The BRICS countries have significant scientific and technological potential, the effective use of which enables the association participants to reach a new level of development and ensure the production of products competitive in the global agro-food market.

*Keywords:* BRICS, agricultural potential, agro-food market, scientific and technological development, investment activities.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

© 2025 г. Ю.Ф. Лачуга<sup>a,\*</sup>, С.Г. Мударисов<sup>b,c,\*\*</sup>, И.М. Фархутдинов<sup>b,\*\*\*</sup>,  
Ю.Х. Шогенов<sup>a,\*\*\*\*</sup>, Б.Г. Зиганшин<sup>d,e,\*\*\*\*\*</sup>, Н.Н. Устинов<sup>d,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Российская академия наук, Москва, Россия

<sup>b</sup>Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

<sup>c</sup>Академия наук Республики Башкортостан, Уфа, Россия

<sup>d</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

<sup>e</sup>Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

\*E-mail: akadema1907@mail.ru

\*\*E-mail: salavam@gmail.com

\*\*\*E-mail: ildar1702@mail.ru

\*\*\*\*E-mail: yh1961s@yandex.ru

\*\*\*\*\*E-mail: zigan66@mail.ru

\*\*\*\*\*E-mail: UstinovNikNik@mail.ru

Поступила в редакцию 28.02.2025 г.

После доработки 28.03.2025 г.

Принята к публикации 30.03.2025 г.

Цифровые двойники — инструмент повышения эффективности проектирования, оптимизации и ускорения вывода на рынок сельскохозяйственной техники, который позволит проводить её комплексное моделирование и анализ на всех этапах жизненного цикла. Рассматриваются методологические подходы к созданию цифровых двойников, анализируются их преимущества, помогающие ускорить переход между разными стадиями готовности технологий. Предложены практические рекомендации, нацеленные на быстрый вывод продукции на рынок. Применение цифровых двойников сокращает время разработки, помогает улучшить конструктивные параметры и снизить затраты на полевые испытания отечественной сельскохозяйственной техники, а следовательно, значительно повышает её эффективность и конкурентоспособность.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, сельскохозяйственное машиностроение, проектирование сельхозтехники, метод конечных элементов, метод дискретных элементов, вычислительная гидродинамика, моделирование почвы, пневматические системы, жизненный цикл продукции, ускорение вывода на рынок, уровни готовности технологий.

DOI: 10.31857/S0869587325060068, EDN: FASITA

Современное сельскохозяйственное машиностроение сталкивается с повышением требований к эффективности, надёжности и скорости разработки новой техники. В условиях глобальной конкуренции и необходимости быстрой адаптации к изменяющимся условиям рынка традиционные

ЛАЧУГА Юрий Фёдорович — академик РАН, член президиума РАН. МУДАРИСОВ Салават Гумерович — доктор технических наук, заведующий кафедрой мехатронных систем и машин аграрного производства БГАУ. ФАРХУТДИНОВ Ильдар Мавляирович — кандидат технических наук, доцент кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства БГАУ. ШОГЕНОВ Юрий Хасанович — академик РАН, начальник сектора механизации, электрификации и автоматизации Отделения сельскохозяйственных наук РАН. ЗИГАНШИН Булат Гусманович — доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе КГАУ. УСТИНОВ Николай Николаевич — кандидат технических наук, директор Инженерно-технологического института ГАУ Северного Зауралья.

методы проектирования и постановки на производство новых машин оказываются недостаточно гибкими и ресурсоёмкими. Решить эту проблему могут *цифровые двойники* — виртуальные модели, которые отражают не только конструктивные особенности техники, но и технологические процессы, связанные с её эксплуатацией. Они позволяют проводить комплексное моделирование, анализ и оптимизацию на всех этапах жизненного цикла изделия. В работах [1, 2] подчёркивается их роль в интеграции информации о продукте, производстве и эксплуатации, что помогает создавать более точные и адаптивные модели. В ряде исследований показано, что цифровые двойники способны значительно сократить время вывода продукции на рынок за счёт оптимизации проектирования и тестирования и повышения её эффективности [3, 4]. Эта технология ускоряет разработку и сертификацию авиационных двигателей [5], а также экономически обоснована, поскольку улучшает показатели производительности и рентабельности современных предприятий [6].

В последние годы интерес к цифровым двойникам возник и в области сельскохозяйственного машиностроения. Российские учёные разрабатывают методики и алгоритмы создания двойников высокотехнологичных рабочих органов, почвенной среды и биообъектов для оптимизации использования и прогнозирования их ресурса и качества обработки почвы [7, 8]. Согласно статье [9], применение цифровых двойников объектов или процессов позволит подбирать наилучшие режимы работы техники с целью повышения производительности и снижения потерь, включая улучшение рабочих параметров и снижение энергопотребления [10]. В исследованиях [11, 12] обсуждаются методологические подходы к созданию цифровых двойников с учётом информации с датчиков, данных машинного обучения и симуляции физических процессов. Эти подходы не только выводят проектирование на качественно новый уровень, но и обеспечивают непрерывное обновление моделей в ходе эксплуатации техники.

Тем не менее эта технология пока недостаточно распространена в сельском хозяйстве, а ведь она может сократить издержки на разработку, внедрение и обслуживание оборудования [13]. Отсутствуют научные публикации по практическому применению в сфере АПК цифровых двойников сельхозмашин [14]. В связи с этим перспективным становится развитие отечественных технологий сельскохозяйственного машиностроения на основе имеющихся научных разработок и создание цифровых двойников для повышения качества моделирования и планирования.

Цифровые двойники прошли путь от традиционного виртуального прототипа (предварительное проектирование) до виртуальной среды для прогнозирования поведения продукта [15], в которой вся необходимая информация о производительности,

работоспособности и обслуживании реального физического объекта поступает в модель с установленных датчиков и дополняется показаниями датчиков виртуальных. Однако, как свидетельствует практика, информации от физических датчиков зачастую недостаточно для выполнения ключевых задач цифрового двойника, например, оценки текущего состояния оборудования и систем в целом, определения оптимальных режимов и прогнозирования остаточного ресурса [15]. В этом случае, помимо физических датчиков, используются виртуальные, которые позволяют получать дополнительные данные о параметрах в любой точке оборудования с помощью компьютерного инженерного анализа, основанного на системных или имитационных моделях.

Цифровые двойники особенно важны при преодолении так называемой “долины смерти” — критическом переходе от разработки технологии к её коммерциализации и серийному производству. Этот этап с высокими рисками и значительными затратами часто становится препятствием для внедрения инноваций. Уровень готовности технологий (УГТ) служит ключевым показателем, характеризующим степень их зрелости. Переход от низких уровней (УГТ 1–3), связанных с фундаментальными исследованиями, к высоким (УГТ 7–9), соответствующим готовности к серийному производству, требует значительных усилий и ресурсов. Цифровые двойники ускоряют этот процесс за счёт виртуального тестирования, оптимизации и валидации технологий на ранних этапах. Они обеспечивают возможность моделирования различных сценариев эксплуатации, анализа производительности и надёжности машин, а также прогнозирования потенциальных проблем до их возникновения в реальных условиях. Это значительно снижает риски и затраты, связанные с физическими испытаниями и доработками, и позволяет быстрее переходить на следующий уровень готовности технологии.

**Методика.** Создание цифровых двойников сельскохозяйственных машин требует комплексного подхода, включающего несколько этапов. В первую очередь необходимо провести сбор и анализ исходных данных о конструктивных особенностях машины, технологических процессах её производства и эксплуатации. Для этого используются рабочие параметры (тяговое сопротивление, давление, вибрация и т.д.), зафиксированные реальными датчиками. Затем разрабатывается математическая модель, описывающая поведение машины в различных условиях. При этом применяются разные методы численного моделирования для учёта физических процессов (деформация, теплопередача, сопротивление, гидродинамика), которые зависят от вычислительного аппарата:

- метод конечных элементов (МКЭ);
- метод вычислительной гидродинамики (ВГД);
- метод дискретных элементов (МДЭ);

- гидродинамика сглаженных частиц (ГСЧ);
- динамика многотельных систем (ДМС) и др.

При моделировании почвообработки и создании цифрового двойника почвообрабатывающей машины, когда почва представляется в виде твёрдого, упругого, упругопластического тела или их комбинаций, используется метод конечных элементов; если почва представлена в виде дискретной среды, состоящей из мягких или твёрдых сфер, — метод дискретных элементов; для жидких частиц — метод сглаженных частиц, а модель почвы в виде вязкой среды реализуется методом вычислительной гидродинамики.

При разработке цифрового двойника, отражающего функционирование почвообрабатывающих орудий, на основе метода ВГД почва представляется в виде ньютоновской вязкой жидкости [16]. Исследования в этой области показали [17], что изменение давления, сил и моментов, действующих на рабочие органы, во многом зависит от вязкости и плотности имитируемой среды. Путём калибровки параметров модели на основе сопоставления результатов моделирования и тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин, полученных в лабораторных и полевых условиях, установлены соответствия механического состава и влажности реальных почв и физико-механических свойств (вязкость и плотность) предполагаемой почвенной среды для адекватной оценки энергетических параметров почвообрабатывающих машин [18]. Главный недостаток метода вычислительной гидродинамики при имитации процесса обработки почвы — невозможность визуализации образования трещин и крошения из-за гипотезы “сплошности” среды, что, в свою очередь, не позволяет провести агротехническую оценку качества обработки.

Метод конечных элементов также пригоден для численного моделирования почвы, поскольку он детально учитывает деформацию и напряжение, а обработка сложных граничных условий и контактных поверхностей довольно проста. Кроме того, этот метод совместим с различными моделями упругих и упругопластических материалов, которые калибруются по результатам испытаний почвы для прогнозирования силы рабочих органов с изменением их скорости и геометрических размеров. Согласно оценке [19], имитация взаимодействия “почва — рабочий орган” с последующим анализом конечных элементов даёт некоторые преимущества по сравнению с аналитическим и эмпирическим методами. В этом случае, если выбрать правильный определяющий закон, можно смоделировать любую геометрию орудия и нелинейное взаимодействие почвы и почвообрабатывающих орудий. Однако деформация почвы (особенно при обработке), связанная с разделением и перемешиванием её слоёв, образованием трещин и движением частиц, не может быть адекватно предсказана методом конечных элементов.

Методы на основе частиц используют как континуальный (например, ГСЧ), так и дискретный (МДЭ) подходы для описания поведения гранулированных материалов. В отличие от МКЭ, аппроксимации переменных поля зависят от частиц, а не от элемента на основе дискретизированной сетки. Ключевым аспектом метода дискретных элементов выступает формирование правил контакта между частицами, согласно которым уравнения движения частиц описываются с учётом объёмных и внешних сил, действующих на систему. Поведение системы определяется решением уравнений движения. При взаимодействии дискретных частиц возникают контактные силы, которые обычно разделяются на нормальные  $F_n$  и тангенциальные (касательные)  $F_t$ , составляющие по отношению к контактной поверхности. Кроме контактных сил, между частицами возникает сцепление за счёт адгезии и/или когезии, которое также необходимо учитывать при описании контактного взаимодействия, что характерно для почвы, особенно увлажнённой. Сдерживающим фактором эффективности метода дискретных элементов для моделирования почвы, с одной стороны, является высокая потребность в вычислительных ресурсах компьютера, с другой — высокие требования к калибровке параметров контактных моделей ввиду изменчивости физико-механических свойств почв и их анизотропности (изменение их свойств по вертикали и горизонтали).

Широкое применение находят пневматические системы: в посевных комплексах — для распределения и транспортирования семян; в протравливателях — для создания и распределения капель рабочей жидкости и семян; в системах очистки зерноуборочных комбайнов и зерноочистительных машинах — для сортировки примесей, а также транспортировки различных материалов. В этих системах происходит взаимодействие воздушного потока с твёрдыми или жидкими частицами. Для моделирования их цифровых двойников можно использовать методы вычислительной гидродинамики, в частности, метод двухфазных течений.

Основное условие успешности метода двухфазных течений, где в качестве несущей фазы выступает воздушный поток, создаваемый вентилятором технического средства, а в качестве дисперсной — семена, твёрдые примеси или капли, — интенсивность межфазного взаимодействия, определяемая в первую очередь объёмной концентрацией частиц в потоке. От неё зависят возможность реализации моделей пневматических систем вычислительными методами и сложность используемых моделей [20]. Так, при  $10^{-6} < \alpha_c \leq 10^{-3}$  двухфазные течения относят к слабозапылённым. В этом случае контакт между частицами уменьшается, однако дисперсная фаза оказывает обратное воздействие на несущую фазу, что необходимо учитывать при моделировании. Двухфазные течения при  $\alpha_c \geq 10^{-3}$  относят к силь-

нозапылённым. Здесь при реконструкции технологических процессов пневматических систем нужно учитывать обратное воздействие частиц друг на друга, а также их взаимодействие (режим взаимодействия фаз). Для разработки более сложных цифровых двойников сельскохозяйственных машин составляются различные комбинации методов моделирования (МДЭ+ВГД, МДЭ+ДМС, МДЭ+ГСЧ, МДЭ+МКЭ), полученные благодаря современным прикладным компьютерным программам инженерного расчёта.

Таким образом, при создании цифрового двойника почвообрабатывающей машины методом дискретных элементов используется прямоугольный параллелепипед, заполняемый на определённую высоту дискретными частицами с заданными формой, размерами и параметрами. Большинство исследователей при моделировании почвы данным методом выбирают усовершенствованную модель Герца–Миндлина, в которой для описания нормальных сил  $F_n$  используется модель Герца, для тангенциальных (касательных) сил  $F_t$  – модель Кулона, а для сил сцепления – модель Джонсана–Кендала–Робертса. Проведена калибровка параметров контактной модели Герца–Миндлина в сочетании с моделью Джонсана–Кендала–Робертса, для чернозёмных почв тяжело-, средне- и легкосуглинистого механического состава.

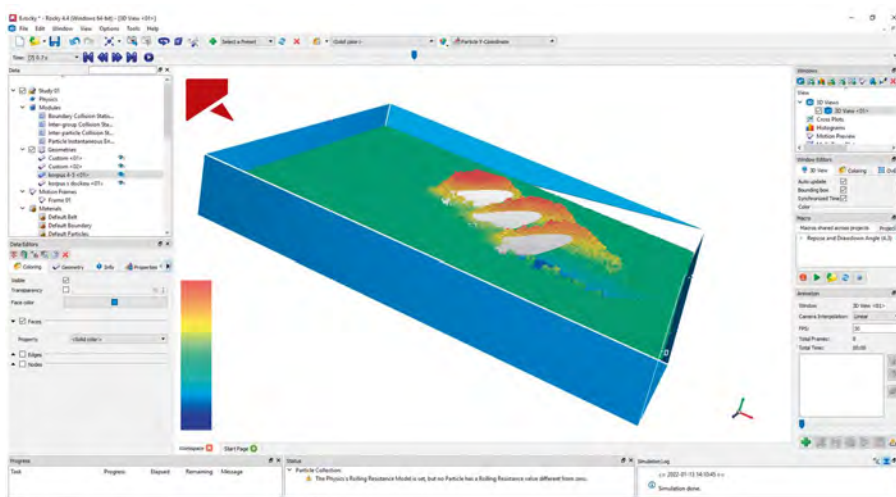
Первоначально калибровка производилась путём сопоставления угла естественного откоса почв и модельных частиц [21, 22], в дальнейшем – сопоставлением горизонтальной, вертикальной и поперечной составляющих тягового сопротивления корпуса плуга, полученных в полевых условиях, с модельными данными. Оценка значимости изучаемых параметров показала, что на характер изменения составляющих тягового сопротивления корпуса плуга значительно влияют поверхностная энергия и диа-

**Таблица 1.** Параметры контактной модели Герца–Миндлина для моделирования почвы

| Параметр контактной модели                             | Значение |
|--------------------------------------------------------|----------|
| Модуль Юнга $E$ , МПа                                  | 100      |
| Коэффициент Пуассона $\nu$                             | 0.3      |
| Коэффициент статического трения почвы о почву $f_{st}$ | 0.7      |
| Коэффициент динамического трения почвы о почву $f_d$   | 0.7      |
| Поверхностная энергия $G_s$ , Дж/м <sup>2</sup>        | 270–400  |
| Диаметр частиц $d$ , мм                                | 10       |
| Коэффициент статического трения $f_{st,k}$             | 0.3      |
| Коэффициент динамического трения $f_{d,k}$             | 0.3      |

метр частиц. Установлено, что при варьировании поверхностной энергии  $G_s$  в пределах 270–400 Дж/м<sup>2</sup> результаты силового анализа корпуса плуга методом дискретных элементов наиболее точные и соответствуют полевым исследованиям. Показатели, полученные при калибровке параметров контактной модели, представлены в таблице 1.

Полученные данные позволяют выбрать параметры контактной модели Герца–Миндлина при моделировании состояния почвы при взаимодействии с рабочими органами почвообрабатывающих и посевных машин. Спроектированный почвенный канал заполняется частицами с заданными параметрами, куда внедряется рабочий орган или орудие (рис. 1). Для исключения влияния на технологический процесс стенок канала размеры сторон параллелепипеда должны быть намного больше зоны деформации, создаваемой рабочим органом, но не слишком большими для уменьшения и опти-



**Рис. 1.** Цифровой почвенный канал, заполненный дискретными частицами

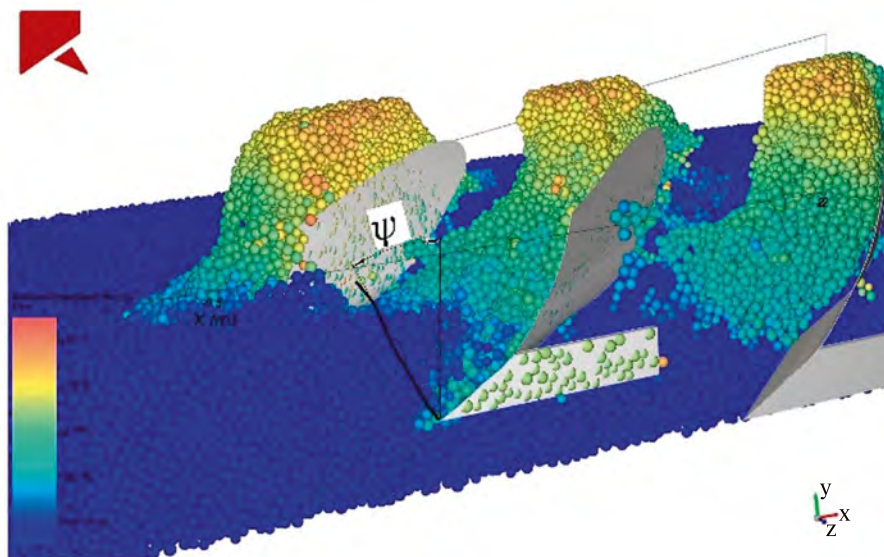


Рис. 2. Формирование трещины и оборота пласта корпусом плуга

мизации расчётного времени при решении задачи. Трёхмерные твердотельные модели почвообрабатывающей машины (например, плуга) и почвенного канала выполняются по оригинальным размерам и сохраняются в формате STL для импортирования в программу инженерного расчёта (Rocky DEM, EDEM и др.). Скорость движения и глубина хода плуга принимается идентичной результатам полевых экспериментов.

На рисунке 2 представлен процесс вспашки корпусом плуга в цифровом почвенном канале, наглядно демонстрирующий образование трещины, вырезание пласта, его перемещение по рабочей поверхности отвала и оборот на открытую преды-

дущим корпусом борозду, что соответствует общепринятым схемам работы плуга.

Цифровая модель почвенного канала позволяет обосновать конструктивно-технологические параметры рабочих органов почвообрабатывающих машин. На рисунке 3 показано взаимодействие рабочих органов культиватора для полосовой обработки почвы с модельной почвой в виртуальном почвенном канале.

На рисунке 4 представлены цифровой двойник технологического процесса работы посевной секции для прямого посева по нулевой технологии и посевные секции, которые были изготовлены на

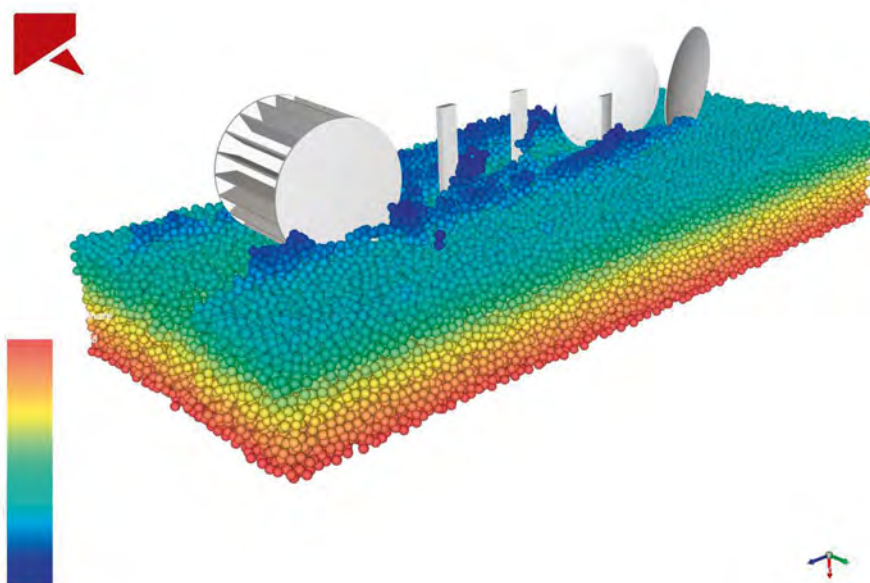


Рис. 3. Цифровая модель культиватора для полосовой обработки почвы

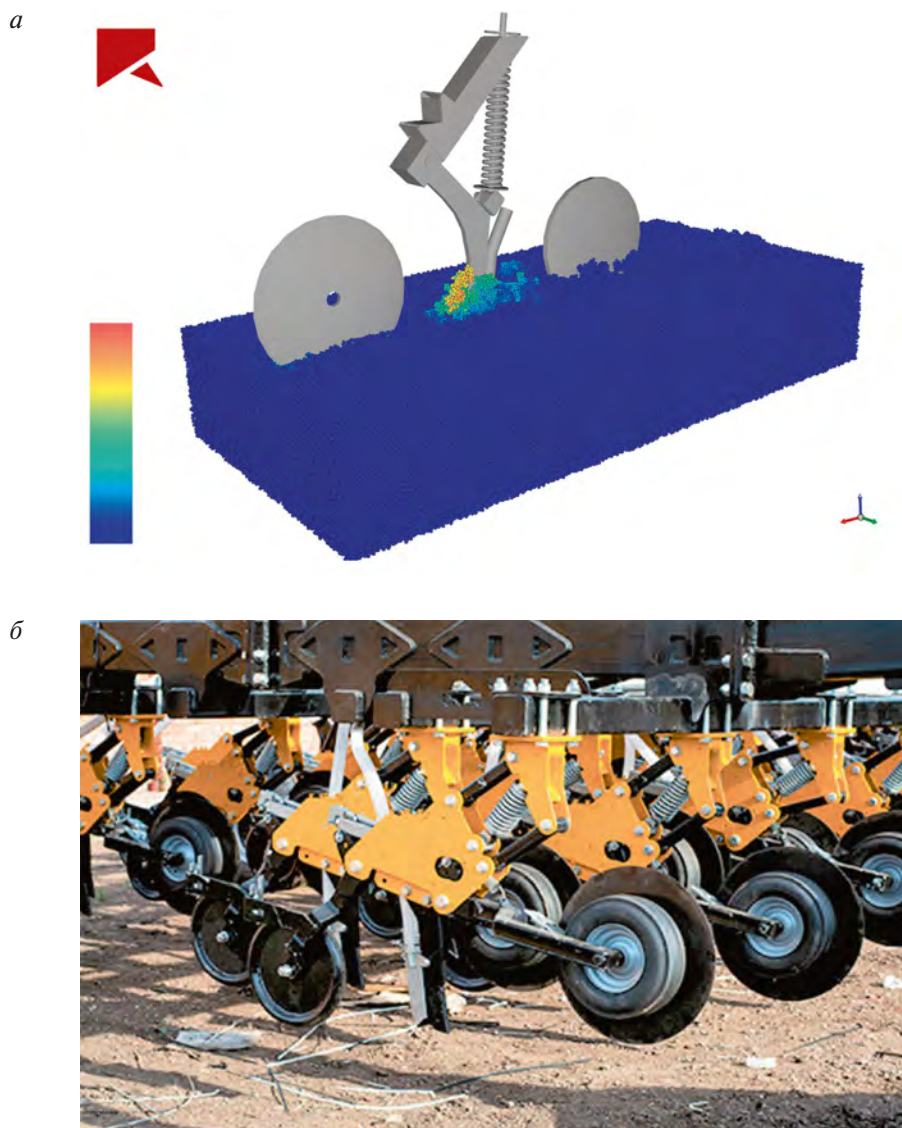


Рис. 4. Цифровой двойник посевной секции (а) и изготовленные посевные секции (б)

Челябинском компрессорном заводе по конструктивно-технологическим параметрам, обоснованным в цифровом двойнике. Испытание секций в полевых условиях доказало их работоспособность и соответствие качества выполнения процесса агротехническим требованиям. Использование цифрового двойника при разработке почвообрабатывающе-посевной части посевного комплекса позволило ускорить процесс его постановки на производство и сократить ресурсы на изготовление опытных образцов посевных секций, а также смоделировать их испытания в лабораторных и полевых условиях.

С помощью метода дискретных элементов было воссоздано взаимодействие рабочих органов с почвой с учётом таких параметров контактной модели, как поверхностная энергия и диаметр

частиц. Калибровка модели на основе данных полевых испытаний обеспечила высокую точность прогнозирования тягового сопротивления и других параметров. Цифровой двойник позволил оптимизировать конструкцию плуга и культиватора, сократив тем самым время на разработку и испытания. Пневматические дозирующие и распределительные устройства данного посевного комплекса были обоснованы в двойниках, созданных с использованием методов двухфазных течений вычислительной гидродинамики. На рисунке 5 показаны трёхмерная модель распределительной системы посевного комплекса и модель технологического процесса транспортировки и распределения семян воздушным потоком.

Цифровой двойник пневмосистемы помог обосновать конструктивные параметры пневмокана-

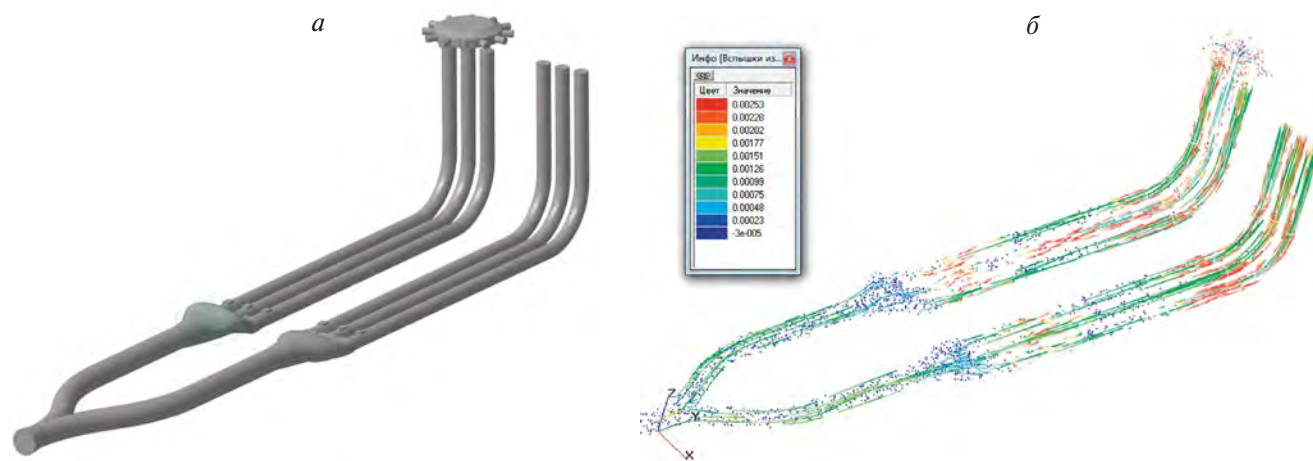


Рис. 5. Трёхмерная модель распределительной системы посевного комплекса (а) и её цифровой двойник (б)

лов, распределительных устройств и вертикальных коллекторов. Пневматическая система обеспечивает равномерное поступление семян в выходы коллектора, а скорость воздушного потока позволяет транспортировать и распределять семена и удобрения.

\* \* \*

Цифровые двойники способны значительно повысить эффективность сельскохозяйственного машиностроения, сокращая время и затраты на внедрение новой техники, оптимизируя конструктивные и технологические параметры, улучшая точность прогнозирования и снижая риски, связанные с физическими испытаниями. Их разработка требует комплексного подхода, включающего сбор данных, создание математических моделей и их валидацию, различные методы численного моделирования (МКЭ, МДЭ, ВГД и др.) и их комбинации, в зависимости от задач и характеристик процессов, что позволяет учитывать сложные физико-механические свойства сельскохозяйственных материалов. Цифровые двойники почвообрабатывающих машин и пневматических систем для посевных комплексов нацелены на оптимизацию их конструктивно-технологических параметров.

Несмотря на очевидные преимущества, технология цифровых двойников пока недостаточно широко применяется в сельскохозяйственном машиностроении. Чтобы решить эту проблему, необходимо совершенствовать методологические подходы, включая использование виртуальных датчиков, машинного обучения и более точную калибровку моделей. Важно интегрировать данные цифровых двойников с реальными данными от датчиков, установленных на технике, что значительно увеличит точность прогнозирования и позволит оптимизировать разработку новой техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дудник М. Интеграция цифровых двойников оборудования и процесса // Control Engineering Россия. 2020. № 2 (86). С. 63–66.  
*Dudnik M. Integration of digital twins of equipment and process // Control Engineering Russia. 2020, no. 2 (86), pp. 63–66. (In Russ.)*
2. Чигиринский Ю.Л., Плотников А.Л., Фирсов И.В., Жданов А.А. К вопросу о необходимости создания цифровых двойников технологических процессов механической обработки деталей машин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2024. № 3 (286). С. 37–41.  
*Tchigirinsky Yu.L., Plotnikov A.L., Firsov I.V., Zhdanov A.A. About the necessity to create digital twins of technological processes for mechanical processing of machine parts // Izvestia Volgograd State Technical University. 2024, no. 3 (286), pp. 37–41. (In Russ.)*
3. Гавриленков С.И., Старостин И.Е. История становления метода математического прототипирования энергетических процессов как математической основы цифровых двойников авиационного оборудования // Наука. Техника. Человек: исторические, мировоззренческие и методологические проблемы. 2022. № 12. С. 90–96.  
*Gavrilenkov S.I., Starostin I.E. The history of the formation of method of mathematical prototyping of energy processes as the mathematical basis of digital twins of aircraft equipment // Science. Technic. Man: historical, ideological and methodological problems. 2022, no. 12, pp. 90–96. (In Russ.)*
4. Митрофанов Д.Ю., Перерва О.Л. Оптимизация производственных процессов с использованием цифровых двойников // Экономика и предпринимательство. 2023. № 9 (158). С. 884–888.  
*Mitrofanov D.Yu., Pererva O.L. Optimization of production processes using digital doubles // Economics and entrepreneurship. 2023, no. 9 (158), pp. 884–888. (In Russ.)*

5. Сычев В., Кулаков С., Шишин А. Цифровой двигатель. Применение технологии цифровых двойников позволяет ускорить разработку и сертификацию авиационных двигателей // САПР и графика. 2020. № 8 (286). С. 44–47.  
*Sychev V., Kulakov S., Shishkin A.* Digital engine. The use of digital twin technology makes it possible to accelerate the development and certification of aircraft engines // CAD and Graphics. 2020, no. 8 (286), pp. 44–47. (In Russ.)
6. Цыганов В.Н. Влияние цифровых двойников на улучшение производственных процессов и экономическое обоснование их применения // Вопросы природопользования. 2024. № 1. С. 55–63.  
*Tsyganov V.N.* The influence of digital twins on the improvement of production processes and the economic justification of their use // Environmental management issues. 2024, no. 1, pp. 55–63. (In Russ.)
7. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве // Техника и оборудование для села. 2024. № 5 (323). С. 2–9.  
*Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.K.* Innovative achievements of agricultural engineering scientific institutions in the context of the development of digital systems in agriculture // Machinery and equipment for rural areas. 2024, no. 5 (323), pp. 2–9. (In Russ.)
8. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве // Техника и оборудование для села. 2024. № 6 (324). С. 2–5.  
*Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.Kh.* Innovative achievements of agricultural engineering scientific institutions in the context of the development of digital systems in agriculture // Machinery and equipment for rural areas. 2024, no. 6 (324), pp. 2–5. (In Russ.)
9. Дидманидзе О.Н., Пуляев Н.Н., Гузалов А.С. Формирование подхода к созданию цифрового двойника трактора сельскохозяйственного назначения // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 61. С. 33–37.  
*Didmanidze O.N., Pulyaev N.N., Guzalov A.S.* Forming an approach to creating a digital twin of agricultural tractor // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2022, no. 61, pp. 33–37. (In Russ.)
10. Stark R., Freseman C., Lindow K. Development and operation of Digital Twins for technical systems and services // CIRP Annals. 2019, vol. 68, no. 1, pp. 129–132.
11. Kritzinger W. et al. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification // Ifac-PapersOnline. 2018, vol. 51, no. 11, pp. 1016–1022.
12. Schluse M. et al. Experimentable digital twins – Streamlining simulation-based systems engineering for industry 4.0 // IEEE Transactions on industrial informatics. 2018, vol. 14, no. 4, pp. 1722–1731.
13. Дорохов А.С., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Технологии цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения // Агроинженерия. 2023. № 4. С. 14–25.  
*Dorokhov A.S., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S.* Technology of digital twins in agriculture: prospects for use // Journal of Agricultural Engineering. 2023, no. 4, pp. 14–25. (In Russ.)
14. Кислицкий М.М., Миронов Д.А., Лылов А.С. Цифровые двойники сельскохозяйственных машин и оборудования в системе обеспечения продовольственной безопасности: значение и перспективы // Теория и практика мировой науки. 2022. № 12. С. 27–29.  
*Kislitsky M.M., Mironov D.A., Lylov A.S.* Digital twins of agricultural machinery and equipment in the food security system: significance and prospects // Theory and Practice of the World Science. 2022, no. 12, pp. 27–29. (In Russ.)
15. Хитрых Д. Цифровые двойники в промышленности: истоки, концепции, современный уровень развития и примеры внедрения // САПР и графика. 2022. № 7 (309). С. 4–11.  
*Hitryh D.* Digital twins in industry: origins, concepts, current level of development and examples of implementation // CAD and graphics. 2022, no. 7 (309), pp. 4–11. (In Russ.)
16. Мударисов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 7. С. 27–30.  
*Mudarisov S.G.* Modeling the process of interaction of working bodies with the soil // Tractors and agricultural machine. 2005, no. 7, pp. 27–30. (In Russ.)
17. Мударисов С.Г., Рахимов З.С., Ямалетдинов М.М., Фархутдинов И.М. Оценка технологического процесса обработки почвы на основе уравнений динамики сплошных сред // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 63–65.  
*Mudarisov S.G., Rahimov Z.S., Yamaletdinov M.M., Farkhutdinov I.M.* Assessment of technological process of soil treatment on the basis of continuum dynamics equations // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2010, no. 1, pp. 63–65. (In Russ.)
18. Мударисов С.Г., Габитов И.И., Лобачевский Я.П. et al. Modeling the technological process of tillage // Soil & Tillage Research. 2019, vol. 190, pp. 70–77.

19. *Shmulevich I.* State of the art modeling of soil-tillage interaction using discrete element method // *Soil and Tillage Research*. 2010, vol. 111, no. 1, pp. 41–53.
20. *Волков К.Н., Емельянов В.Н.* Течения газа с частицами. М.: Физматлит, 2008.  
*Volkov K.N., Yemelyanov V.N.* Gas flows with particles. Moscow: Fizmatlit, 2008. (In Russ.)
21. *Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al.* Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing // *Journal of Terramechanics*. 2023, vol. 109, pp. 37–44.
22. *Mudarisov S., Farkhutdinov I., Khamaletdinov R. et al.* Evaluation of the significance of the contact model particle parameters in the modelling of wet soils by the discrete element method // *Soil & Tillage Research*. 2022, vol. 215, 105228.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL MACHINERY DESIGN USING DIGITAL TWINS

**Yu.F. Lachuga<sup>a,\*</sup>, S.G. Mudarisov<sup>b,c,\*\*</sup>, I.M. Farkhutdinov<sup>b,\*\*\*</sup>, Yu.Kh. Shogenov<sup>d,\*\*\*\*</sup>,  
B.G. Ziganshin<sup>d,e,\*\*\*\*\*</sup>, N.N. Ustinov<sup>d,\*\*\*\*\*</sup>**

<sup>a</sup>*Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia*

<sup>c</sup>*Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia*

<sup>d</sup>*Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia*

<sup>e</sup>*Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia*

\*E-mail: [akadema1907@majl.ru](mailto:akadema1907@majl.ru)

\*\*E-mail: [salavam@gmail.com](mailto:salavam@gmail.com)

\*\*\*E-mail: [ildar1702@mail.ru](mailto:ildar1702@mail.ru)

\*\*\*\*E-mail: [yh1961s@yandex.ru](mailto:yh1961s@yandex.ru)

\*\*\*\*\*E-mail: [zigan66@mail.ru](mailto:zigan66@mail.ru)

\*\*\*\*\*E-mail: [UstinovNikNik@mail.ru](mailto:UstinovNikNik@mail.ru)

Digital twins are a tool for improving the efficiency of design, optimization and acceleration of agricultural machinery market launch, which will allow for its comprehensive modeling and analysis at all stages of the life cycle. Methodological approaches to the creation of digital twins are considered, their advantages are analyzed, which help accelerate the transition between different stages of technology readiness. Practical recommendations aimed at rapid product launch are offered. The use of digital twins reduces development time, helps optimize design parameters and reduce the cost of field testing of domestic agricultural machinery, and therefore significantly increase its efficiency and competitiveness.

**Keywords:** digital twins, agricultural machinery, agricultural machinery design, finite element method, discrete element method, computational fluid dynamics, soil modeling, pneumatic systems, product lifecycle, acceleration of market launch, technology availability levels.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ И УДОБРЕНИЙ ПРИ РАЗВИТИИ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

© 2025 г. И.А. Тихонович<sup>а,\*</sup>, А.А. Завалин<sup>б,\*\*</sup>

<sup>а</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>б</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии  
им. Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

\*E-mail: igor.tikhonovich49@mail.ru

\*\*E-mail: zavalin.52@mail.ru

Поступила в редакцию 24.03.2025 г.

После доработки 20.04.2025 г.

Принята к публикации 05.05.2025 г.

В статье рассматриваются микробные препараты и удобрения как элемент природоподобных технологий в сельском хозяйстве. Выращивание растений становится более эффективным благодаря использованию микробно-растительных систем. Генетические факторы растений при этом дополняются полезными генами симбиотической микрофлоры. Описаны механизмы адаптации микросимбионтов к потребностям растения-хозяина. Впервые предложено изготавливать биопрепараты нового поколения на основе эндофитных отселектированных штаммов. Показана целесообразность применения микробных препаратов и химических средств интенсификации земледелия (включая биоминеральные удобрения) для развития природоподобных технологий.

**Ключевые слова:** микробно-растительные системы, биопрепараты, биомодифицированные удобрения, природоподобные технологии.

**DOI:** 10.31857/S0869587325060073, **EDN:** FAUMKS

Высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство находится в числе приоритетных направлений научно-техно-

логического развития, утверждённых Указом Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529. Достижению этой цели способствуют природоподобные технологии [1], которые имитируют природные системы и процессы, могут быть интегрированы в естественный цикл использования ресурсов и наиболее востребованы в агропромышленном комплексе [2].

Природоподобные технологии воспроизводят системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов, интегрированных в естественный природный ресурсооборот [1, 2]. Среди них — интеграция генетических систем микроорганизмов и растений в единую микробно-растительную систему для мобилизации ресурсов микрофлоры, повышения эффективности сельскохозяйственного производства и получения высококачественной продукции с минимальным экологическим риском. Примером может служить биологическая фиксация атмосферного азота клубеньковыми бактериями, находящимися в симбиозе с бобовыми рас-



ТИХОНОВИЧ Игорь Анатольевич — академик РАН, научный руководитель ВНИИСХМ. ЗАВАЛИН Алексей Анатольевич — академик РАН, научный руководитель ВНИИ агрохимии.

тениями, что позволяет заменить энергоёмкие, экологически и взрывоопасные минеральные удобрения биологическим азотом. Несмотря на очевидные преимущества биологического подхода, многие аспекты взаимодействия микробов и растений, в частности, формирование и использование микробно-растительной системы, требуют досконального анализа механизмов сосуществования про- и эукариот в ризосфере и других задействованных в сельском хозяйстве экологических нишах с собственным микробиомом.

**Значение микробиома.** В последние годы особую актуальность приобретает мобилизация функционала природных почвенных микробиомов, что согласуется с постулатом микробной экологии, который более 100 лет назад сформулировал голландский микробиолог и ботаник М. Бейеринк: “Everything is everywhere, the environment selects” (всё есть везде, но среда отбирает).

По мнению Е.Е. Андропова [3], современные достижения в области почвенной метагеномики позволили оценить реальное разнообразие почвенных микробиомов обширных территорий России. Именно в них кроются решения проблем, с которыми почва сталкивалась на протяжении миллионов лет. В случае чрезвычайной ситуации или экологического кризиса эффективные механизмы селекции помогут в кратчайшие сроки найти решение благодаря компонентам почвенного микробиома [4]. Работы по поиску этих механизмов ведутся по двум основным направлениям: мобилизация существующих решений и поиск механизмов их адаптации к изменяющейся среде. На данный момент установлены закономерности формирования микробных ассоциаций, способных эффективно разлагать растительные остатки. Учёные не только пришли к пониманию технологических основ селекции сообществ, но и раскрыли принципы построения геномов и метагеномов, адаптированных для активного разложения растительных остатков [4]. Микробиомы различных экологических ниш играют роль депозитариев генетической информации, которая в любой момент может быть извлечена оттуда.

**Совершенствование коллекции штаммов клубеньковых бактерий.** Повысить эффективность выращивания растений можно с помощью традиционных или новых микробно-растительных систем, при этом генетические факторы растений дополняются полезными генами симбиотической микрофлоры. Исследованием функциональной генетической интеграции факультативных внутриклеточных симбиотических систем занимается относительно новое направление — *симбиогенетика* [5]. Во внутриклеточные, азотфиксирующие факультативные симбиозы<sup>1</sup>

вступают такие виды-сожители, которые способны выживать вне симбиоза и образуют его только при адекватных условиях окружающей среды и с “разрешения” организма-хозяина. Учёные регулярно наблюдают последовательность событий от узнавания партнёрами друг друга в ризосфере, населённой миллиардами микроорганизмов, до разрушения симбиотических структур по окончании онтогенеза.

Генетические коллекции — залог успешной работы микробиологов и генетиков. В случае факультативного симбиоза коллекция должна состоять из двух частей — пула генов микросимбионта и генов растения-хозяина, вовлечённых во взаимодействие, которое повышает адаптацию микробно-растительной системы к внешним условиям (экологическим нишам). При этом фактором эволюции выступает способность к симбиозу, а не его эффективность. Таким образом, наиболее важные гены эффективности в ходе селекции могут теряться [6]. Для поиска таких симбиотических факторов были впервые изучены микросимбионты реликтовых бобовых. Как и предполагалось, эти микроорганизмы отличаются большим биоразнообразием и обладают значительно более широким пулом генов, влияющих на успешность симбиоза, по сравнению со штаммами, выделенными из окультуренных растений [7]. Была сформирована обширная коллекция реликтовых микросимбионтов с уникальными комбинациями генов, ответственных за становление симбиотических отношений и влияющих на их эффективность. Выделены микробные консорциумы, в которых разные штаммы и виды бактерий в процессе симбиоза выполняют взаимодополняющие задачи, что повышает симбиотическую эффективность в 1.5–2 раза [8].

Получены новые возможности для генетического конструирования эффективных штаммов для производства биопрепаратов с инновационными хозяйственно ценными характеристиками путём включения в селекционный процесс реликтовых микроорганизмов с редкими аллелями симбиотических генов. Отметим, что это открытие согласуется с концепцией центров происхождения культурных растений Н.И. Вавилова [9], где присутствует генетическое разнообразие не только растений, но и микросимбионтов, эволюционирующих совместно с хозяином. В связи с этим необходимы адекватные методы долгосрочного поддержания коллекции в генетически стабильном состоянии. Для этого разработаны роботизированные системы, в частности, станция низкотемпературного автоматизированного хранения биологических образцов при  $-80^{\circ}\text{C}$ , где сберегают Ведомственную коллекцию полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения Россельхозакадемии (ВКСМ) — основу коллекции ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ). Станция предполагает использование компьютерных ключей для доступа к штаммам, работает по принципу криобанка и по-

<sup>1</sup> Факультативный симбиоз — форма симбиоза, при которой совместное существование взаимовыгодно, но, в отличие от облигатного симбиоза (где сосуществование организмов жизненно необходимо для каждого из них), не является обязательным, то есть каждый организм при отсутствии партнёра может жить самостоятельно.

зволяет развивать цепочки автоматизированных процессов, связанных с операциями по контролю качества поддерживаемых генетических ресурсов. Благодаря этому коллекция снабжает штаммами более 80 различных партнёров, которые находят необходимый генетический материал среди десятков тысяч образцов.

Ещё один источник пополнения коллекционного фонда — дикорастущие бобовые растения Крайнего Севера России, что прописано в Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [10, 11]. На данный момент в коллекции ВКСМ при ВНИИСХМ депонировано более 200 штаммов ризобий, выделенных из дикорастущих бобовых растений Арктики и обладающих ценными практическими свойствами.

**Адаптация микробно-растительных систем к потребностям микросимбионта.** Закономерности образования микробно-растительных систем распространяются и на ассоциативный симбиоз<sup>2</sup> ризосферной микрофлоры с небобовыми растениями. Академик С.П. Костычев писал: “Вокруг корней каждого определённого зелёного растения в почве располагаются специальные микробы, привыкшие к выделениям, производимым этими корнями; в сообществе с ними растение чувствует себя прекрасно. Но если по каким-нибудь причинам вместо обычных соседей, вытесняя их, начнут поселяться различные непрошенные гости, зелёное растение чувствует себя болезненно” [12, с. 336, 337].

Установлена изменчивость растений по составу корневых выделений [12]. В частности, диплоидные пшеницы выбрасывают углерод в основном в виде органических кислот, тогда как интенсивные современные сорта — в виде сахаров [13]. Ризобактерии активно заселяют корневую систему примитивной пшеницы, гораздо эффективнее используя корневые выделения, обогащённые органическими кислотами. Такие микробно-растительные системы приобретают полезные свойства, например, способность противостоять патогенным микроорганизмам [14]. Тем не менее селекционеры пока не используют регуляцию состава корневых выделений в своих исследованиях.

**Эндифиты.** Кроме ризосферной микрофлоры, с растениями пребывают эндифиты — микроорганизмы, населяющие ткани живых растений и обуславливающие важные свойства микробно-расти-

тельных систем [15]. Они используют внутреннюю среду растения — эндосферу — в качестве уникальной экологической ниши, которая сформировалась в результате миллионов лет совместной эволюции и защищает его от неблагоприятных факторов внешней среды. Во ВНИИСХМ впервые в мире стали рассматривать эндифитные бактерии как основу новых биопрепаратов. Они колонизируют те же экологические ниши в растениях, что и болезнетворные микроорганизмы, и поэтому являются перспективным биологическим средством для борьбы с фитопатогенами, так называемым “биоконтрольным” агентом [15]. Установлено, что бактериальные эндифиты способны ингибировать развитие насекомых-фитофагов и нематод путём синтеза биологически активных соединений, обладающих антипатогенным действием. Изучение такого биохимического оружия позволит выделить и идентифицировать химические соединения, которые могут использоваться при создании новых препаратов для борьбы с болезнями растений, животных и даже человека.

Эндифиты оптимизируют азотное и фосфорное питание растений, продуцируют ауксины, витамины и сидерофоры. Кроме того, они могут регулировать осмотическое давление, работу устьиц и модифицировать развитие корневой системы, улучшая общее состояние растений. В связи с этим целесообразно разрабатывать экономически обоснованные приёмы использования данного свойства в различных областях растениеводства. Отметим, что для максимальной эффективности микробных препаратов необходимо проводить не только отбор бактерий из эндосферы растений, но и заниматься селекцией высококомплемментарных (восприимчивых) к взаимодействию с микроорганизмами видов/сортов сельскохозяйственных растений.

**Особенности симбиотических генов хозяина.** Генетическая коллекция содержит в основном регуляторные гены растений-хозяев, которые определяют судьбу бактериальной клетки, проникающей в корневую волосок через инфекционную нить [16]. В отсутствие сигналов клубеньковых бактерий эти гены не экспрессируются и поэтому определяют признаки, которые не проявляются вне симбиоза. ВНИИСХМ располагает наиболее полной коллекцией мутантов симбиотических генов, в основном гороха. Их количество невелико, однако они играют важнейшую роль во взаимодействии растений и микробов, например, при взаимном узнавании партнёров.

Формирование симбиотических отношений между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями начинается с обмена сигналами [17], инициативную роль в которых играют флавоны и флавоноиды растений. В ответ на их появление в ризосфере начинают экспрессироваться гены синтеза сигнальных молекул клубеньковых бактерий,

<sup>2</sup> Ассоциативный симбиоз — это многокомпонентная система, включающая хозяина в качестве макропартнёра, стабильного доминантного микросимбионта (нормальная микрофлора) и минорных ассоциированных микросимбионтов (патогенные, условно-патогенные и другие микроорганизмы). При этом организм-хозяин является центром системы, а доминантный партнёр и сопутствующие ассоциативные компоненты регулируют жизнеспособность симбиоза.

производящих специфичные для разных бобовых сигнальные молекулы — Nod-факторы с уникальной структурой. Nod-факторы, будучи узанными и связанными рецепторными киназами растений, стимулируют работу компонентов сигнального пути, что активирует экспрессию целевых генов. Некоторые из них изучают во ВНИИСХМ под руководством Е.А. Долгих [18]. Эти белки контролируют ряд ранних реакций растений, обуславливающих проникновение ризобий в клетки корня и формирование нового симбиотического органа — корневого клубенька. Оpozнание Nod-фактора вызывает сигнальный каскад, обеспечивающий передачу информации в ядро клетки путём индукции кальциевых всплесков. В ядре происходит декодирование сигнала посредством активации кальций-кальмодулин-зависимой киназы DM13, которая, в свою очередь, активирует регуляторы транскрипции (IPD3, NSP1, NSP2, NIN), определяющие экспрессию генов-мишеней симбиотических факторов. Генетический контроль образования клубеньков тесно связан с микоризным симбиозом [17].

Грибы арбускулярной микоризы (АМ) также выделяют сигнальные молекулы — Мус-факторы, которые воспринимаются специальными рецепторами и активируют комплекс схожих регуляторов в клетке. Набор этих регуляторов назван “общим сигнальным путём” для клубеньковых бактерий и грибов (АМ DM12, DM11, CNGC15, DELLA1, IPD3, NSP1, NSP2). Возникает вопрос, как растение различает эти общие для разных симбиозов сигнальные пути. Механизм пока не расшифрован, но определён ряд белков-кандидатов на участие в регуляции. В частности, описаны гетеротримерные G-белки, которые могут непосредственно взаимодействовать с рецепторами, что приводит к диссоциации комплекса субъединиц G-белка и дальнейшей передаче сигнала [18]. Так происходит в клетках животных, но практически не исследовано у растений. Выявление этих механизмов вносит важный вклад в изучение сигнальных путей. На данный момент можно констатировать, что главную роль в формировании симбиотических структур играют регуляторные гены, в частности, транскрипционные регуляторы, и им должно быть уделено особое внимание при создании небобовых растений, способных к симбиотической азотфиксации. Описанные механизмы можно сравнить с симфоническим оркестром, в котором одни и те же инструменты играют разные мелодии в зависимости от партитуры и дирижёра.

**Сигналлинг и специфичность.** Фундаментальные исследования молекулярно-генетических механизмов узнавания друг друга партнёрами по симбиозу имеют важное практическое значение. Суть проблемы была сформулирована академиком Д.Н. Прянишниковым ещё в прошлом веке, но только сейчас мы подошли к её решению: “Нельзя сказать, чтобы азотистые удобрения на эти растения совершенно

не действовали... Обильное снабжение бобовых нитратами... может даже действовать неблагоприятно” [19, с. 303]. “Замечено, что после того, как произошло заражение корней какой-либо расой клубеньковых бактерий, проникновение в них других бактерий затрудняется. Следовательно, если в почве имеются малоактивные... бактерии, то первоначальное заражение ими может тормозить деятельность более активных рас, хотя бы они и были в почве” [19, с. 338]. Таким образом, возникла необходимость сужения специфичности взаимодействия и исключения неэффективных штаммов, обитающих в ризосфере, даже если они того же вида, что и “окультуренные” штаммы. Эта задача решается во ВНИИСХМ в рамках проекта “Создание микробно-растительной системы на базе гороха и клубеньковых бактерий с суженной специфичностью и повышенной отзывчивостью на эффективные штаммы (Умный горох)” совместно с научно-технологическим университетом “Сириус”. Изучается возможность управления специфичностью для повышения урожайности гороха при применении биопрепаратов, содержащих эффективные клубеньковые бактерии.

В рамках проекта РНФ “Молекулярно-генетические основы симбиотической отзывчивости гороха посевного (*Pisum sativum* L.)” рассматривается реакция растений на инокуляцию клубеньковыми бактериями и грибами арбускулярной микоризы [20]. Цель проекта — создать технологии получения сортов гороха с искусственно суженной специфичностью взаимодействия с клубеньковыми бактериями, что позволит защитить растения от аборигенной микрофлоры и обеспечить образование клубеньков только с высокоэффективными штаммами, поступающими с биопрепаратами. Важным шагом к достижению этого свойства стало определение структуры рецептора. Одновременно был создан молекулярный маркер, позволяющий вести селекцию классическими методами доноров признака узкой специфичности [21]. На данное изобретение получен патент РФ № 2815453 от 21.10.2023 г.

Полевой эксперимент показал, что интрогрессия нужных аллелей гена *Sym2* в геном гороха сорта Рондо обеспечивает проникновение нужных штаммов в 95% клубеньков. У исходного сорта данный штамм оккупировал лишь 7% клубеньков. Оказалось, что для опознания эффективных штаммов нужно в LysM1-домене рецептора заменить гуанин на пролин в положении 299 экзона 1 [22–24]. Заменить нуклеотид в гене можно с помощью модификации системы CRISPR/Cas9 — системы Prime editing, которую сейчас адаптируют во ВНИИСХМ к использованию на бобовых растениях. В отличие от классического метода CRISPR/Cas9, система Prime editing позволяет не просто сломать ген, но также внести в него желаемое изменение. Для этого были подобраны мишень рядом с местом внесения

мутации и матрица для обратной транскрипции, содержащая изменённый нуклеотид. Далее был разработан дизайн будущих конструкций. Исходный вектор, предназначенный для редактирования однодольных, был модифицирован путём поставки Cas9 и внесения обратной транскриптазы под контроль промотора, который работает в горохе. Затем был сконструирован вектор для редактирования гена рецептора *LykX*. Вектор содержит ген никазы Cas9, сшитый с геном обратной транскриптазы, модуль для экспрессии *pegRNA* (prime editing guide RNA) и последовательности, необходимые для агробактериальной трансформации. Изменённый таким образом рецептор способен связываться только со специфической бактериальной сигнальной молекулой (Nod-фактор), в структуру которой был внедрён остаток фукозы. Такие сигнальные молекулы не встречаются в дикой природе, поэтому только избранные штаммы могут образовывать клубеньки на растениях с отредактированным рецептором.

Следующий этап на пути к управлению специфичностью — получение трансгенных растений. Бобовые с трудом трансформируются, во многом из-за низкой способности к регенерации. Далеко не все генотипы гороха способны регенерировать побеги или соматические эмбрионы из каллусов. Одним из возможных решений этой проблемы могут стать морфогенетические регуляторы, которые исследуются в лаборатории генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) под руководством профессора Л.А. Лутовой. Это гены, кодирующие стимуляторы регенерации, в основном регуляторы развития меристем. Их можно добавить в конструкцию для трансформации или редактирования, и тогда трансформированные клетки будут активно делиться и образовывать новые растения за счёт экспрессии гена морфогенетического регулятора. Один из таких регуляторов — ген *MtWOX9-1* — был обнаружен у люцерны. Его сверхэкспрессия значительно повышает эффективность трансформации. Для оценки работы известных морфогенетических регуляторов у гороха и поиска новых регуляторов была составлена система трансформации зрелых семян, с помощью которой можно получать трансгенные ткани в системе *in vitro*. Однако применяемый способ окрашивания не позволяет сохранить живую трансгенную ткань, поэтому были подобраны витальные флуоресцентные маркеры *DsRed* и *GFP*, которые можно использовать для отбора трансгенных тканей гороха.

Проверка мишеней осуществляется путём получения трансгенных корней. Этот метод позволяет в короткие сроки получить трансгенные ткани, в данном случае со встроенной последовательностью для редактирования. С помощью мишени можно оценить эффективность редактирования в трансгенных корнях. Кроме того, их получение с помощью *Agrobacterium rhizogenes* будет полезным в новом методе редактирования с использованием

дальнего транспорта мРНК Cas9 и гидовой РНК. В этом случае к генам, кодирующим Cas9 и гидовую РНК, пришивают специальные последовательности (TLS), которые позволяют РНК перемещаться по растению из корня в побег. Имея растение с трансгенными корнями, можно редактировать его побег, при этом сам побег и семена остаются нетрансгенными. Таким образом, разработана схема получения платформы для геномного редактирования бобовых растений, что открывает новые перспективы для регуляции симбиотической азотфиксации.

**Совместное применения микробных препаратов и агрохимикатов.** Быстрый рост численности населения планеты обуславливает интенсификацию сельскохозяйственного производства. Серьёзную угрозу растениеводству несут сорняки и насекомые-вредители. В последние годы значительно возросло количество вносимых на поля химических пестицидов. При этом не вполне ясно их влияние на растения, в частности, на симбиоз бобовых с клубеньковыми бактериями, играющий важнейшую роль в развитии экологического сельского хозяйства.

Сотрудники лаборатории молекулярной и клеточной биологии ВНИИСХМ изучили действие гербицидов Спрут Экстра (глифосат), Форвард (квизалоп-П-этил) и инсектицидов Имидор Про (имидаклоприд), Фаскорд (альфа-циперметрин) на развитие симбиотических клубеньков гороха [25]. Удалось выявить ряд аномалий на ультраструктурном уровне, которые могут служить цитологическими маркерами влияния пестицидного стресса на симбиотические клубеньки. Под руководством профессора В.Е. Цыганова выявлены следующие аномалии: нарушения структуры клеточной стенки, появление разнообразных включений в вакуолях, а также стресс-индуцированные изменения бактериоидов с их дальнейшей деградацией, специфические аномалии в ультраструктуре клубеньков гороха, возникающие только при одном или нескольких вариантах обработки пестицидами. Обработка растений гербицидами Спрут Экстра и Форвард, а также инсектицидом Фаскорд имеет своим следствием конденсацию хроматина в ядрах клеток. Инсектицид Имидор Про приводит к уникальному явлению — увеличению размера инфекционных капель в клубеньках.

Отметим, что упомянутые гербициды и инсектициды различаются по степени негативного влияния на растения и клубеньки. Так, гербицид Спрут Экстра сильнее влияет на клубеньки, чем Форвард, а из двух инсектицидов наибольший негативный эффект оказывает Имидор Про [26]. Также были обнаружены нарушения транскрипционных профилей в клубеньках, обработанных пестицидами Спрут Экстра и Имидор Про, которые связаны с изменением экспрессии генов, контролирующих модификацию клеточной стенки, защитные реакции

и гистоны [25]. Для оптимального использования химикатов в сельском хозяйстве необходимо более глубокое понимание причин неблагоприятного воздействия пестицидов на бобовые культуры [26].

**Биоминеральные удобрения.** Консенсус между химией и микробиологией возможен путём создания более эффективных удобрений, обработанных активными штаммами [27], которые получены в СПбГУ совместно с индустриальным партнёром ООО “Евробиохим”. Разработан новый тип минеральных удобрений — биоминеральные удобрения нового поколения, которые повышают урожайность культур до 20%, уменьшают нормы внесения в почву без снижения продуктивности. Компания “Евробиохим” в сотрудничестве с ВНИИСХМ и СПбГУ разработала линейку препаратов для биомодификации минеральных удобрений с повышенной эффективностью (на 25–50%). Показано, что споровые формы бактерий хорошо сохраняются на биомодификаторах в течение 12 месяцев. Была заложена основа новой отрасли — производства биоминеральных удобрений, которые, наряду с высокой усвояемостью, более экологичны. Разработано 10 марок биомодификаторов, специализированных под азотные, фосфорные и комплексные NPK-удобрения. Получено 8 патентов РФ, поданы заявки на международное патентование. Заказчики — “ЕвроХим”, “УралХим”, “Акрон”, “ФосАгро”. Технология испытана на площади 82 тыс. га, в 2025 г. планируется обработать до 100 тыс. га. На стадии проектирования находится комплекс для производства 2 тыс. т бимодификатора и 1 млн т биоминеральных удобрений (на 5 млн га). Технология обладает экспортным потенциалом, налажено сотрудничество со странами Средней и Юго-Восточной Азии, Аравийского полуострова. Средняя цена производителей азотных удобрений — 28 тыс. руб. за 1 тонну (на внутреннем рынке — 19.4 тыс. руб. за тонну, на экспортном — 39.2 тыс. руб.).

**Перспективы использования микробных препаратов.** В настоящее время для практического применения полезных микроорганизмов доступны: инокулянты для основных видов бобовых растений, включая их различные формы и модификации (более 30 препаратов практически для всех бобовых, культивируемых в России); ростостимуляторы и препараты с биоконтрольными свойствами для широкого перечня культур (более 15); вещества с инсектицидными свойствами, а также для борьбы с мышевидными грызунами (более 10) [28]. Препараты широко применяются на территории Российской Федерации и ближнего зарубежья как в традиционном, так и в органическом сельском хозяйстве. Достоверно доказана их высокая эффективность. Ежегодная площадь обработанных микробиологическими препаратами ВНИИСХМ сельскохозяйственных угодий превышает 1.5 млн га, а общий выпуск микробиологической продукции — около 500 т [29]. Отдельно следует упомянуть работы

Ю.В. Лактионова и его коллег во ВНИИСХМ по совершенствованию технологий производства и внесения препаратов. Они позволяют получать инокулюм с содержанием бактерий до 20 млрд клеток на 1 мл, сохраняющих свою активность до полугода и допускающих нанесение на семена одновременно с высевом или заранее с активностью до нескольких суток.

Несмотря на высокую конкуренцию применение микробиологических средств ВНИИСХМ, в том числе инокулянтов-азотфиксаторов, будет расширяться. По сути, рынок сбыта инокулянтов охватывает все посевные площади бобовых культур в России. По данным за 2024 г. под зерновые и зернобобовые культуры было занято 46 млн га, в частности под зернобобовые (горох, нут, чечевица, фасоль) — 4.2 млн га, сою — 4.36 млн га [30]. Потенциальный объём производства биопрепаратов-азотфиксаторов для нута, сои и гороха на ближайшие годы, учитывая прогнозную посевную площадь данных культур не менее 7 млн га, — более 2 млн литров (2.5–3 млрд руб.).

Подводя итог, напомним, что в постановлении бюро Отделения сельскохозяйственных наук РАН от 27 февраля 2025 г. говорилось, что развитие биотехнологических производств микробных препаратов для земледелия и других отраслей АПК не соответствует современным потребностям, хотя есть предпосылки для значительного увеличения отечественного рынка и импортозамещения. Сейчас активно формируется спрос на микробиологические препараты и другие средства, стимулирующие рост и развитие растений. Укрепить сельскохозяйственную отрасль можно путём использования микробно-растительных систем, изучение которых вносит весомый вклад в понимание фундаментальных механизмов симбиоза про- и эукариот.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование подготовлено в рамках гранта Научного центра мирового уровня “Агротехнологии будущего” и гранта РФФ 24-16-00068.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность В.Е. Цыганову, А.В. Цыгановой, Е.А. Долгих, В.И. Сафроновой, А.А. Белимову, В.А. Жукову, Е.Е. Андронову, В.К. Чеботарю, Ю.В. Лактионову, М.Л. Румянцевой, Л.А. Лутовой, В.Е. Твороговой, А.А. Алфёрову, Л.С. Черновой за предоставленные материалы, а также И.А. Колесник за помощь в подготовке рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755> (дата обращения 13.02.2025).

2. Поляков В.В. Природоподобные технологии как инновационный ответ на вызовы XXI века // Экономика и экология территориальных образований. 2024. Т. 8 (3). С. 27–33.  
Polyakov V.V. Nature-like technologies as an innovative response to the challenges of the 21st century // Economics and ecology of territorial entities. 2024, vol. 8 (3), pp. 27–33. (In Russ.)
3. Zverev A.O., Kimeklis A.K., Orlova O.V. et al. Creation of Cellulolytic Communities of Soil Microorganisms – A Search for Optimal Approaches // Microorganisms 2024, vol. 12, no. 11, 2276.
4. Kimeklis A.K., Gladkov G.V., Orlova O.V. et al. Metagenomic insights into the development of microbial communities of straw and leaf composts // Front Microbiol. 2025, vol. 15, 1485353.
5. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. № 5. С. 821–831.  
Provorov N.A., Tikhonovich I.A. Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agro-cenoses (review) // Agricultural Biology. 2022, no. 5, pp. 821–831. (In Russ.)
6. Safronova V.I., Guro P.V., Sazanova A.L. et al. Rhizobial Microsymbionts of Kamchatka *Oxytropis* Species Possess Genes of the Type III and VI Secretion Systems, Which Can Affect the Development of Symbiosis // Mol. Plant–Microbe Interact. 2020, vol. 33 (10), pp. 1232–1241.
7. Safronova V., Sazanova A., Kuznetsova I. et al. Increasing the Legume–Rhizobia Symbiotic Efficiency Due to the Synergy between Commercial Strains and Strains Isolated from Relict Symbiotic Systems // Agronomy. 2021, vol. 11 (7), 1398.
8. Safronova V., Sazanova A., Belimov A. et al. Synergy between Rhizobial Co-Microsymbionts Leads to an Increase in the Efficiency of Plant–Microbe Interactions // Microorganisms. 2023, vol. 11, 1206.
9. Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений. Избранные произведения в 2-х т. Ленинград: Наука, 1967. С. 89–202.  
Vavilov N.I. Centers of origin of cultivated plants. Selected works in 2 vols. Leningrad: Nauka, 1967. Pp. 89–202. (In Russ.)
10. Кузнецова И.Г., Карлов Д.С., Гуро П.В. и др. Генетическое разнообразие и симбиотическая эффективность клубеньковых микросимбионтов остролодочника таймырского (*Oxytropis taimyrensis* (Jurtz.) A. et D. Love), астрагала холодного (*Astragalus frigidus* (L.) A. Gray) и астрагала тугаринова (*Astragalus tugarinovii* Basil.) из Арктической Якутии // Сельскохозяйственная биология. 2024. № 5. С. 927–942.  
Kuznetsova I.G., Karlov D.C., Guro P.V. et al. The genetic diversity and symbiotic efficiency of the nodule microsymbionts isolated from *Oxytropis taimyrensis* (Jurtz.) A. et D. Love, *Astragalus frigidus* (L.) A. Gray and *Astragalus tugarinovii* Basil. from Arctic Yakutia // Agricultural biology. 2024, no. 5, pp. 927–942. (In Russ.)
11. Kuznetsova I.G., Karlov D.S., Sazanova A.L. et al. Genetic Diversity of Microsymbionts of Legumes *Lathyrus pratensis* L., *Vicia cracca* L., *Trifolium repens* L., and *Astragalus schelichowii* Turcz. Growing Near Norilsk in Arctic Russia // Russ. J. Plant Physiol. 2023, vol. 70, 187.
12. Костычев С.П. Избранные труды по физиологии и биохимии микроорганизмов. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 510 с.  
Kostychev S.P. Selected works on the physiology and biochemistry of microorganisms. Vol. 1, 2. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1956. (In Russ.)
13. Шапошников А.И., Моргунов А., Акин Б. и др. Сравнительные характеристики корневых систем и корневой экссудации синтетического, примитивного и современного сортов пшеницы // Сельскохозяйственная биология. 2016. № 1. С. 58–78.  
Shaposhnikov A.I., Morgunov A., Akin B. et al. Comparative characteristics of root systems and root exudation of synthetic, landrace and modern wheat varieties // Agricultural biology. 2016, no. 1, pp. 58–78. (In Russ.)
14. Шапошников А.И., Белимов А.А., Азарова Т.С. и др. Взаимосвязь состава корневых экссудатов и эффективности взаимодействия растений пшеницы с микроорганизмами // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. № 3. С. 260–274.  
Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Azarova T.S. et al. Relationship between the Composition of Root Exudates and the Efficiency of Interaction of Wheat Plants with Microorganisms // Applied Biochemistry and Microbiology. 2023, no. 3, pp. 260–274. (In Russ.)
15. Chebotar V.K., Gancheva M.S., Chizhevskaya E.P. et al. Endophyte *Bacillus vallismortis* BL01 to Control Fungal and Bacterial Phytopathogens of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plants // Horticulturae. 2024, vol. 10 (10), 1095.
16. Tsyganov V.E., Tsyganova A.V. Symbiotic regulatory genes controlling nodule development in *Pisum sativum* L. // Plants. 2020, vol. 9, no. 12, 1741.
17. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2009.  
Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Symbioses of plants and microorganisms: molecular genetics of agricultural systems of the future. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 2009. (In Russ.)
18. Bovin A.D., Pavlova O.A., Dolgikh A.V. et al. The role of heterotrimeric G-protein beta subunits during

- nodulation in *Medicago truncatula* Gaertn and *Pisum sativum* L. // *Frontiers in Plant Science*. 2022, vol. 12, 808573.
19. Прынишников Д.Н. Избранные сочинения. Т. 1. Агрохимия. М.: Колос, 1965.  
*Pryanishnikov D.N. Selected works. Vol. 1. Agrochemistry. Moscow: Kolos, 1965. (In Russ.)*
  20. Sulima A.S., Zhukov V.A., Kulaeva O.A. et al. New sources of *Sym2<sup>4</sup>* allele in the pea (*Pisum sativum* L.) carry the unique variant of candidate LysM-RLK gene *LykX* // *PeerJ*. 2019, vol. 7, e8070.
  21. Sulima A.S., Zhuravlev I.Y., Alexeeva E.A. et al. The Genomic and Phenotypic Characterization of the *Sym2<sup>4</sup>* Introgression Line A33. 18 of Pea (*Pisum sativum* L.) with the Increased Specificity of Root Nodule Symbiosis // *Plants*. 2025, vol. 14, no. 3, 427.
  22. Kuzmina D.O., Zorin E.A., Sulima A.S. et al. Transcriptomic analysis of the symbiotic responsivity trait in pea (*Pisum sativum* L.) // *Vavilov J. Genet. Breed*. 2025, vol. 29, no. 2, pp. 248–258.
  23. Tvorogova V.E., Fedorova Y.A., Potsenkovskaya E.A. et al. The WUSCHEL-related homeobox transcription factor MtWOX9-1 stimulates somatic embryogenesis in *Medicago truncatula* // *Plant Cell Tiss. Organ Cult*. 2019, vol. 138, 517–527.
  24. Yakovleva D.V., Efremova E.P., Smirnov K.V. et al. The WOX Genes from the Intermediate Clade: Influence on the Somatic Embryogenesis in *Medicago truncatula* // *Plants*. 2024, vol. 13, 223.
  25. Gorshkov A.P., Kusakin P.G., Borisov Y.G. et al. Effect of herbicides Sprut Extra (glyphosate) and Forward (quizalofop-P-ethyl) on the development of pea (*Pisum sativum* L.) symbiotic nodules // *Symbiosis*. 2024, vol. 94, pp. 191–206.
  26. Gorshkov A.P., Kusakin P.G., Vorobiev M.G. et al. Effect of insecticides Imidacloprid and Alpha-Циперметрин on the development of pea (*Pisum sativum* L.) nodules // *Plants*. 2024, vol. 13, no. 23, 3439.
  27. Аналитический обзор рынка инокулянтов (2023–2025). <https://agroinvestor.ru/analytics>  
Analytical review of the inoculant market (2023–2025). (In Russ.)
  28. Рыночные исследования биопрепаратов в РФ. <https://ab-centre.ru/>  
Market research of biological products in the Russian Federation. (In Russ.)
  29. Минсельхоз России. Оперативные данные о посевных площадях в 2024 г. <https://mcx.gov.ru>  
The Ministry of Agriculture of Russia. Operational data on acreage in 2024. (In Russ.)
  30. Росстат. Посевные площади сельскохозяйственных культур в Российской Федерации на 2024 г. <https://rosstat.gov.ru/>  
Rosstat. Acreage of agricultural crops in the Russian Federation for 2024. (In Russ.)

## INTEGRATED USE OF MICROBIAL PREPARATIONS AND FERTILIZERS IN THE DEVELOPMENT OF NATURE-LIKE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE

I.A. Tikhonovich<sup>a,\*</sup>, A.A. Zavalin<sup>b,\*\*</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Scientific Research Institute for Agricultural Microbiology,  
St. Petersburg, Russia

<sup>b</sup>All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry  
named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

\*E-mail: igor.tikhonovich49@mail.ru

\*\*E-mail: zavalin.52@mail.ru

The article discusses microbial preparations and fertilizers as an element of nature-like technologies in agriculture. Plant cultivation becomes more efficient due to the use of microbial-plant systems. Genetic factors of plants are supplemented with useful genes of symbiotic microflora. The mechanisms of adaptation of microsymbionts to the needs of the host plant are described. For the first time, it is proposed to produce new-generation biopreparations based on endophytic selected strains. The expediency of using microbial preparations and chemical means of intensification of agriculture (including biomineral fertilizers) for the development of nature-like technologies is shown.

**Keywords:** microbial and plant systems, biological products, biomodified fertilizers, nature-like technologies.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИТОСАНИТАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

© 2025 г. В.И. Долженко<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>Санкт-Петербургское отделение РАН, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: dolzhenko@icrz.ru

Поступила в редакцию 02.04.2025 г.

После доработки 12.04.2025 г.

Принята к публикации 22.04.2025 г.

Актуальной проблемой обеспечения продовольственной безопасности страны является защита сельскохозяйственных культур от вредных организмов, негативное воздействие которых приводит к потере до 50% урожая. Фитосанитарная безопасность может быть достигнута разными методами, средствами и технологиями. Возделывание генетически защищённых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, а также использование биологического метода обеспечивают ресурсосбережение, получение экологически чистой продукции и снижение пестицидной нагрузки на агроценозы. Однако 98% применяемых в нашей стране средств защиты растений составляют химические пестициды, используемые на площади около 100 млн га. На примере совершенствования ассортимента инсектицидов, фунгицидов, гербицидов и технологий их применения показаны достижения по снижению норм использования, токсичности для человека и окружающей среды, оптимизации препаративных форм пестицидов и увеличению доли препаратов 3 и 4 классов опасности. Доказана перспективность технологии предпосевной обработки семян пестицидами и разработки комбинированных препаратов, позволяющих одновременно защищать растения от вредителей и болезней. Определены задачи по научно-технологическому обеспечению фитосанитарной безопасности.

**Ключевые слова:** фитосанитарная безопасность, защита растений, вредные организмы, пестициды, инсектициды, фунгициды, гербициды, препаративные формы, интегрированная защита растений, энтомофаги, энтомопатогены.

DOI: 10.31857/S0869587325060088, EDN: FBBSCS

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции и экспорта продовольственных культур, интенсификация растениеводства, расширение торговых связей, изменение климата и технологического уклада — факторы, требующие усиления

мер, обеспечивающих фитосанитарную и продовольственную безопасность страны.

Защита растений — система мероприятий по борьбе с организмами, наносящими урон посевам в открытом или защищённом грунте, окультуренным угодьям и естественной растительности. Подобные меры направлены на предупреждение проникновения, распространения и массового размножения или развития, а также на регулирование или ликвидацию популяций вредных организмов. В то же время защита растений — это раздел прикладной биологии, в рамках которого разрабатываются теоретические и методологические основы соответствующих мероприятий.

Роль защиты растений от вредных организмов в получении урожая сельскохозяйственных культур и его качества весьма велика. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО), ежегодно до 37% про-



ДОЛЖЕНКО Виктор Иванович — академик РАН, руководитель Центра биологической регламентации использования пестицидов ВИЗР.

довольственных культур в мире погибает от вредных организмов. В нашей стране при совокупном негативном воздействии вредителей, возбудителей болезней и сорных растений может теряться до 50% урожая [1].

В зависимости от уровня развития науки формировались разные концепции защиты растений — от сохранения урожая любой ценой и полного уничтожения вредных организмов до современной адаптивно-интегрированной защиты при условии рационального применения химических и биологических средств. Интегрированная защита растений сформирована в 1970-е годы, однако представления о необходимости использования природных факторов, ограничивающих развитие вредных организмов, высказывались и ранее [2, 3]. В основу этой концепции положены биологизированные и экологизированные подходы к обеспечению равновесия в агроэкосистемах, ориентированные не только на применение агротехнических, биологических, генетических, химических и других методов, но и на использование природных факторов, в том числе полезной фауны и флоры [4]. В целях успешной реализации приоритетных исследовательских программ, решения важнейших практических задач в сфере защиты растений академик М.С. Соколов с соавторами [5] предложил перейти к адаптивно-интегрированной защите растений. Изначально эта концепция научно обоснована академиком А.А. Жученко [6, 7]. Она представляет собой систему взаимосвязанных научно обоснованных фундаментальных положений, отвечающих требованиям современной экономической и социально-экологической политики, задаче ускоренного создания перспективных отечественных технологий для АПК страны [8].

**Генетическая защита растений.** Ежегодно на посевах сельскохозяйственных культур в Российской Федерации используется около 230 000 т пестицидов более 2000 наименований на площади, превышающей 100 млн га. Возделывание генетически защищённых сортов и гибридов позволяет снижать пестицидную нагрузку, сберегать ресурсы, получать экологически чистую органическую продукцию. Устойчивость возделываемых сортов предотвращает чрезвычайные ситуации, связанные с эпифитотиями вредных организмов, и обеспечивает конкурентоспособность сортов и гибридов.

Исследования Всероссийского НИИ защиты растений (ВИЗР), ФНЦ биологической защиты растений (ФНЦ БЗР), Всероссийского НИИ фитопатологии (ВНИИФ), ФИЦ “Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова” (ВИР) по разработке эффективной генетической защиты растений базируются на изучении механизмов изменчивости популяций фитопатогенных организмов, интенсивности генного потока, дрейфа генов, выявлении генетического разнообразия

устойчивости растений к вредным организмам. Заметный вклад в создание запаса генов устойчивости, разработку биотехнологий использования генов устойчивости в селекции вносят ВИЗР, ВИР, Институт цитологии и генетики СО РАН (ИЦиГ), Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии (ВНИИСБ), ВНИИФ, Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко), ФИЦ “Немчиновка”, Татарский НИИ сельского хозяйства (ТатНИИСХ) и ряд других учреждений. Если в 2010 г. количество сортов пшеницы озимой с устойчивостью к ржавчинным заболеваниям в Госреестре селекционных достижений составляло 41 наименование, то в 2023 г. уже 73. В НЦЗ им. П.П. Лукьяненко созданы сорта, не подверженные трём видам ржавчины, — Юмпа, Антонина, Безостая 100, Веха, Гурт [9].

Особое значение для предотвращения эпифитотий имеют сорта с групповой устойчивостью к пяти и даже шести возбудителям болезней. Например, сорт озимой пшеницы Адель не подвержен жёлтой и стеблевой ржавчинам, пыльной головне, мучнистой росе, септориозу и фузариозу колоса [10]. Успехи селекционеров в создании таких сортов можно оценить как мировое достижение, поскольку разрушена отрицательная корреляция между устойчивостью сорта к болезням и его продуктивностью: то есть теперь устойчивый сорт может быть ещё и высокоурожайным.

В связи с освоением нового инструментария и развития геномных и постгеномных технологий в ВИЗРе в сотрудничестве с ВИР и ИЦиГ разрабатывают технологии по изучению генетического разнообразия устойчивости ячменя и пшеницы к гембиотрофным патогенам, картофеля к возбудителям карантинных болезней [11–15]. Идентификация и картирование “главных” генов и локусов количественных признаков (QTL) устойчивости — это многоплановые исследования, в которых участвуют фитопатологи, генетики и биоинформатики.

Современное состояние исследований и достижений в области генетической защиты растений можно охарактеризовать, с одной стороны, как накопление фундаментальных знаний по генетическому разнообразию устойчивости, структурной и функциональной организации генетических детерминант устойчивости растений и вирулентности патогенов, а с другой — как расширение практического использования генетически защищённых сортов сельскохозяйственных растений.

**Биологическая защита растений.** В биологической защите растений применяются термины макро- и микробиометод. Микробиометод предполагает использование микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности в защите растений, макробиометод — использование макроорганизмов.

Самым безопасным и наиболее эффективным методом защиты растений в теплицах и при орга-

ническом земледелии, где применение химических пестицидов запрещено или ограничено, являются насекомые и клещи — агенты биологического контроля. Выпуски энтомофагов (естественных врагов вредителей) — важный элемент экологически чистых технологий выращивания растений [16].

Активное развитие технологий тепличного растениеводства, в том числе появление теплиц нового поколения, вносит коррективы в систему биологической защиты растений, что, в свою очередь, требует новых подходов к отбору энтомофагов. В частности, меняются критерии их эффективности. Одновременно с введением новых технологий возделывания тепличных культур расширяется видовой состав вредителей, в том числе за счёт инвазионных видов<sup>1</sup>, поэтому постоянный поиск новых видов хищников и паразитов для биологического контроля вредителей — одна из актуальных задач науки [17]. Биоресурсы энтомофагов и акарифагов<sup>2</sup> весьма обширны. Потенциально в защите растений могут быть использованы представители как минимум 15 семейств перепончатокрылых (Hymenoptera), двукрылых (Diptera), жесткокрылых (Coleoptera), полужесткокрылых (Homoptera) и сетчатокрылых (Neuroptera) насекомых, а также клещей (Arachnida). В практику биологической защиты растений введено не более 300 видов, из которых коммерчески доступны 230. Иными словами, несмотря на вековую историю применения энтомофагов в защите растений, их природные ресурсы во многом остаются неосвоенными.

Большинство из используемых энтомофагов — это паразитические перепончатокрылые с узкой пищевой специализацией. Они сфокусированы на целевых вредителях и, как правило, более эффективны как агенты биологического контроля. Биоресурсы паразитических перепончатокрылых обширны. Только в отечественной фауне их известно около 10 тыс. видов, а в мировой фауне их по разным оценкам в 56 раз больше. При этом только несколько сотен их видов уже апробированы в биологическом контроле, из которых 179 активно используются методом сезонной колонизации для защиты овощных, плодовых и других культур. Второе место по масштабам производства и применения в мире занимают клещи семейства Phytoseiidae (Arachnida): 54 вида данного семейства используют в системах биологического контроля вредителей в основном против паутинных клещей, трипсов и белокрылок. Одним из первых представителей этого семейства, который был успешно внедрён в защиту растений,

стал специализированный хищник паутинных клещей *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. Из-за его узкой пищевой специализации для разведения фитосейулуса необходимы вегетирующие растения, на которых накапливают его жертву — паутинного клеща.

Переход на современные технологии производства энтомофагов требует выполнения двух условий. Во-первых, необходимы культуры хищников и паразитов с заданными свойствами, которые обеспечат эффективный контроль вредителей в современных теплицах. Во-вторых, нужны существенные капиталовложения в строительство нового поколения биофабрик. ВИЗР располагает обширной коллекцией энтомофагов, специалистами по их видовой диагностике и селекции, методическими разработками по сохранению высокого качества коллекционных культур при длительном хранении. В коллекцию ВИЗРа входят виды, на использовании которых базируются современные системы биологической защиты [18]. Общее число энтомофагов в 2024 г. достигло 42 видов. В коллекции хранятся уникальные селекционные линии энтомофагов. В течение последних пяти лет коллекцию пополнили новые виды восточноазиатской фауны, которые в ближайшем будущем найдут применение в защите растений.

В соответствии с тенденциями развития тепличного растениеводства в России стала очевидной необходимость создания отечественного промышленного производства энтомофагов, которое обеспечит широкий ассортимент биологических средств защиты растений, стабильность поставок в течение всего года, строгий контроль качества энтомофагов (прежде всего видовую чистоту культур), рентабельность массового разведения энтомофагов, основанную на значительных объёмах производства и сопряжении технологических циклов разных видов энтомофагов. Примером взаимовыгодного сотрудничества в области крупномасштабного производства полезных насекомых для защиты растений может служить биотехнологическое производство ООО «НПП ИНАППЕН» и ВИЗРа. Институт предложил патенты и технологии, а коммерческая структура — производственные мощности. Проект должен обеспечить потребности отечественного растениеводства и сопредельных стран.

Огромным потенциалом в биологической защите растений обладают микроорганизмы. Микробиологические препараты, разрабатываемые и используемые в России, основаны на вирусах, бактериях и грибах. Вирусные инсектициды высокоспецифичны для целевых вредных организмов, безопасны для теплокровных, птиц, рыб и полезных насекомых. Основные энтомопатогенные вирусные препараты, как правило, создают на основе представителей семейства Baculoviridae. Бактериальные препараты для борьбы с вредными насекомыми и клещами разрабатывают на основе разных штам-

<sup>1</sup> Инвазионный (инвазивный) вид — биологический вид, распространение которого угрожает биологическому многообразию. Типичная первоначальная причина распространения инвазионных видов — непреднамеренная интродукция организмов за пределы мест их естественного обитания.

<sup>2</sup> Организмы, которые истребляют вредных насекомых, называются энтомофагами, а хищники и паразиты, уничтожающие клещей, — акарифагами.

мов *Bacillus thuringiensis*. Основу препаратов для борьбы с фитопатогенами составляют бактерии родов: *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. nigrum*, *B. amyloliquefaciens*), *Pseudomonas* (*Ps. aureofaciens*, *Ps. fluorescens*). Грибные препараты для борьбы с вредителями созданы на основе *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* и др., а для борьбы с фитопатогенами — на основе рода *Trichoderma* (*Tr. veride*, *Tr. asperellum*, *Tr. harzianum*, *Tr. virens*). В 2025 г. для применения в Российской Федерации разрешены 36 инсектицидов: на основе энтомопатогенных вирусов (2), бактерий (12), грибов (5), продуктов вторичного метаболизма актиномицетов (18), 48 фунгицидов на основе бактерий (31), грибов (3), бактерий и грибов (4), а также шесть феромонов [19–21]. Доля биопестицидов на мировом рынке средств защиты растений составляет около 10% [22].

Следует отметить, что разработка и внедрение микробиологических средств осуществляются недостаточно активно. В 2004 г. можно было использовать 37 препаратов, в 2018 — 60, в 2025 г. — 90. Есть тенденция на постепенное увеличение микробиопрепаратов, но работу по этому важному направлению экологизации защитных мероприятий необходимо интенсифицировать.

В настоящее время быстро развиваются технологии защиты растений, основанные на РНК-интерференции. Несмотря на очевидные преимущества РНК-препаратов и/или внедрения в геном растений генов, кодирующих смертоносные для насекомых молекулы малых РНК, привлекает к себе внимание комбинированное использование искусственных (в виде спреев препаратов двухцепочечных РНК (дцРНК)) и природных механизмов регулирования численности популяций вредителей с помощью естественных “контролёров”, в качестве которых перспективны эндофитные бактерии *Bacillus thuringiensis* [23, 24].

**Химическая защита растений.** Первые упоминания об использовании химических веществ для

защиты продовольственных культур появились в третьем тысячелетии до н.э. Человечество использовало серу и соли меди. В настоящее время в нашей стране 98% общего объёма средств защиты растений составляют химические пестициды [25]. Масштабы мероприятий по защите сельскохозяйственных культур постоянно растут. Площади фитосанитарных обработок пестицидами выросли с 58.9 млн га в 2010 г. до 100 млн га в 2023 г.

Благодаря научно-технологическим разработкам ВИЗРа, ФНЦ БЗР, ВНИИФ, ВНИИЗР, ряда других научных учреждений и аграрных университетов (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, Санкт-Петербургский ГАУ), а также коммерческих структур (АО Фирма “Август”, АО “Щёлково-Агрохим”, ООО “Агро Эксперт Груп” и др.) постоянно расширяется и совершенствуется ассортимент средств защиты растений, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. В настоящее время он насчитывает более 2000 наименований (табл. 1). Как видим за 65 лет количество пестицидов разного назначения с момента регулирования оборота средств защиты растений (1961 г.) увеличилось в 35 раз. Совершенствуются действующие вещества, комбинации, препаративные формы и технологии применения. Особое внимание научные учреждения уделяют разработке технологических регламентов эффективного и безопасного использования средств защиты растений [26, 27].

На примере химических средств борьбы с вредителями можно проследить совершенствование ассортимента препаратов и действующих веществ (табл. 2). Сокращается количество неорганических и фосфорорганических соединений, прекращено использование хлор- и броморганики. Увеличивается количество неоникотиноидов и комбинированных препаратов.

Дальнейшее совершенствование ассортимента инсектицидов можно проиллюстрировать на при-

**Таблица 1.** Средства защиты растений, разрешённые для применения в сельском хозяйстве Российской Федерации

| Средства защиты растений | Количество препаратов по годам |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                          | 1961                           | 1971 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 | 2019 | 2025 |
| Инсектициды и акарициды  | 34                             | 72   | 141  | 153  | 109  | 213  | 372  | 449  |
| Фунгициды                | 11                             | 37   | 93   | 174  | 130  | 208  | 444  | 597  |
| Гербициды                | 10                             | 35   | 163  | 277  | 193  | 380  | 799  | 900  |
| Родентициды              | 7                              | 6    | 9    | 12   | 5    | 18   | 27   | 16   |
| Нематициды               | 0                              | 9    | 6    | 16   | 5    | 3    | 2    | 4    |
| Прочие *                 | 5                              | —    | —    | 130  | 58   | 100  | 152  | 179  |
| Всего                    | 62                             | 162  | 412  | 762  | 500  | 922  | 1796 | 2145 |

\* Дефолианты, десиканты, феромоны, регуляторы роста растений, моллюскоциды, репелленты.

**Таблица 2.** Химические средства борьбы с вредителями

| Химический класс          | Количество препаратов / действующих веществ |        |        |        |        |        |
|---------------------------|---------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                           | 1960                                        | 1980   | 2000   | 2010   | 2019   | 2025   |
| Неорганические            | 6/5                                         | 5/3    | 3/1    | 4/1    | 4/1    | 3/1    |
| Хлорорганические          | 11/4                                        | 21/10  | —      | —      | —      | —      |
| Броморганические          | —                                           | 3/2    | 1/1    | —      | —      | —      |
| Фосфорорганические        | 5/5                                         | 55/29  | 21/10  | 45/8   | 72/7   | 42/6   |
| Неоникотиноиды            | —                                           | —      | 4/3    | 26/5   | 77/5   | 86/5   |
| Комбинированные препараты | —                                           | 7      | 6      | 14     | 77     | 121    |
| Всего                     | 34/26                                       | 127/69 | 111/50 | 175/45 | 358/50 | 408/55 |

**Таблица 3.** Инсектициды для защиты картофеля от колорадского жука

| Показатели                                     | Количество по годам |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                | 1986                | 1992 | 2000 | 2003 | 2005 | 2019 | 2025 |
| Препараты                                      | 35                  | 51   | 49   | 65   | 89   | 136  | 139  |
| Действующие вещества                           | 16                  | 29   | 18   | 21   | 27   | 31   | 30   |
| Химические классы                              | 5                   | 5    | 6    | 7    | 7    | 8    | 8    |
| Препаративные формы                            | 6                   | 7    | 8    | 13   | 13   | 19   | 18   |
| Биопрепараты                                   | 2                   | 6    | 6    | 8    | 8    | 8    | 9    |
| Средняя норма применения препаратов (л, кг/га) | 1.3                 | 0.9  | 0.4  | 0.4  | 0.2  | 0.2  | 0.2  |
| Умеренно опасные препараты                     | 17                  | 20   | 17   | 27   | 36   | 50   | 54   |

мере средств защиты картофеля от колорадского жука (табл. 3). Анализ данных таблицы 3 по годам позволяет утверждать, что постепенно увеличивается количество используемых препаратов и биопрепаратов, сохраняются низкие нормы применения, снижается опасность инсектицидов для теплокровных животных за счёт увеличения количества умеренно опасных препаратов. В наших исследованиях представлен подробный анализ результатов научно-исследовательских работ по изучению средств защиты растений от вредных насекомых и клещей, разработке регламентов их эффективного и безопасного применения, совершенствованию ассортимента, методологии и стратегии их использования с учётом современных требований [28].

Важное направление в обеспечении фитосанитарной безопасности — разработка технологий, методов и средств борьбы с возбудителями болезней растений. На протяжении многих лет в целях снижения потерь, вызываемых фитопатогенами, использовали различные средства: серу, медь и её соли, известь, формалин и препараты на основе ртути [29]. Совершенствование фунгицидов осуществлялось путём изъятия препаратов на основе сильнодействующих ядовитых веществ, создания препаратов на основе действующих веществ 3 и 4 классов опас-

ности<sup>3</sup> из новых химических классов, создания комбинированных препаратов с меньшими нормами применения и токсичностью для человека и теплокровных животных. Принципиальные изменения в ассортименте фунгицидов представлены в таблице 4.

Количество используемых препаратов увеличилось с 11 в 1961 г. до 597 в 2025 г., расширился спектр действующих веществ, появились новые химические классы, развивается применение комбинированных препаратов, позволяющих защищать растения от нескольких болезней и снижать токсическую нагрузку. Отчётливо видна тенденция сокращения норм применения фунгицидов — от 12.9 л, кг/га в 1961 г. до 0.8 л, кг/га в 2025 г. Снижается токсичность препаратов, их основу составляют средства 3 и 4 классов опасности.

Особую роль в эффективности, технологии применения, безопасности для человека и окружающей среды играют препаративные формы пестицидов,

<sup>3</sup> Класс опасности — условная величина вредного воздействия, которая устанавливается в соответствии с нормативными отраслевыми документами. 1-й класс — вещества чрезвычайно опасные; 2-й — вещества высокоопасные; 3-й — вещества умеренно опасные; 4-й — вещества малоопасные.

**Таблица 4.** Ассортимент фунгицидов

| Показатели                                 | Количество по годам |      |      |      |      |
|--------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|
|                                            | 1961                | 1980 | 2009 | 2019 | 2025 |
| Препараты                                  | 11                  | 88   | 173  | 407  | 597  |
| Действующие вещества                       | 7                   | 41   | 59   | 89   | 101  |
| Химические классы                          | 7                   | 17   | 26   | 38   | 44   |
| Биологические препараты                    | —                   | 3    | 21   | 34   | 48   |
| Комбинированные препараты                  | 2                   | 16   | 61   | 240  | 322  |
| Средняя норма применения (л, кг/га)        | 12.9                | 6.1  | 0.9  | 0.9  | 0.8  |
| Средняя ЛД <sub>50</sub> (для крыс, мг/кг) | 1714                | 2151 | 3316 | 3320 | 3330 |

сочетающие требуемые физико-химические свойства веществ с особенностями их распределения в окружающей среде. Эти формы постоянно совершенствуются. Уходят из оборота такие формы, как дуст (порошок), так как они пылят при работе, их заменяют на смачивающиеся порошки, гранулы, а также жидкие формы: концентрат эмульсии, концентрат суспензии, водный раствор, микрокапсулированная суспензия и др. (табл. 5).

В последнее время широкое распространение получили коллоидные системы — мицеллярные растворы (концентрат коллоидного раствора) и микроэмульсии. Эти инновационные препаративные формы имеют ряд преимуществ. Размер частиц меньше 0.1 мкм, что позволяет частицам действующего вещества быстро проникать в защищаемое растение и оказывать защитное и куративное (лечащее) действие. Они обладают высокой дождестойкостью, полным смачиванием поверхности растений и хорошей адгезией.

Перспективный технологический приём в защите растений — предпосевная обработка семян. Этот приём эффективен для защиты зерновых, зернобобовых, овощных и технических культур от большинства возбудителей болезней и многих вредителей [30]. Обработка семян сельскохозяйственных культур вне полевых условий позволяет защитить высеваемое семя как от внешней, так и от внутренней инфекции, а молодое растение — от фитогенов и фитопатогенов. Данный приём имеет неоспоримые преимущества по сравнению с другими способами использования химических средств: он экономичен (не нужно обрабатывать посевы тракторным опрыскивателем), экологичен (исключается загрязнение пестицидами окружающей среды), не зависит от погодных условий. О перспективности этого направления можно судить по постоянно расширяющемуся ассортименту препаратов для предпосевной обработки семян. Доля таких веществ в общем объёме пестицидов составляет 40%.

**Таблица 5.** Препаративные формы фунгицидов

| Препаративная форма                   | Количество по годам |      |      |      |      |
|---------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|
|                                       | 1961                | 1982 | 2009 | 2019 | 2025 |
| Дуст (Д)                              | 2                   | 6    | —    | —    | —    |
| Порошок (П)                           | 2                   | 3    | 1    | —    | —    |
| Паста (ПС)                            | 1                   | 3    | 4    | —    | —    |
| Смачивающийся порошок (СП)            | 1                   | 57   | 35   | 49   | 41   |
| Концентрат эмульсии (КЭ)              | —                   | 7    | 25   | 80   | 98   |
| Водно-диспергируемые гранулы (ВДГ)    | —                   | —    | 14   | 34   | 53   |
| Концентрат коллоидного раствора (ККР) | —                   | —    | 2    | 3    | 6    |
| Микроэмульсия (МЭ)                    | —                   | —    | 3    | 10   | 17   |
| Концентрат микроэмульсии (КМЭ)        | —                   | —    | —    | 1    | 9    |
| Суспензионная микроэмульсия (СМЭ)     | —                   | —    | —    | 1    | 2    |
| Текущая суспензия (ТС)                | —                   | —    | —    | 2    | 6    |

Таблица 6. Ассортимент гербицидов

| Показатели                | Количество по годам |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 1962                | 1971 | 1982 | 1992 | 2000 | 2009 | 2019 | 2025 |
| Препараты                 | 18                  | 61   | 183  | 276  | 164  | 267  | 798  | 903  |
| Действующие вещества      | 11                  | 52   | 90   | 97   | 76   | 65   | 96   | 101  |
| Комбинированные препараты | —                   | 7    | 35   | 49   | 37   | 75   | 177  | 320  |

Важное условие получения стабильных урожаев — борьба с сорными растениями. Посевы большинства культур засорены, а при наличии многолетних корневищных и корнеотпрысковых сорняков потери урожая достигают 30–40% [31]. Сорные растения отличаются от других групп вредных организмов тем, что они распространены повсеместно и постоянно оказывают отрицательное влияние на культурные растения, конкурируя с ними за свет, влагу и питательные вещества.

Арсенал средств защиты сельскохозяйственных культур от сорных растений к концу прошлого столетия включал широкий набор химических препаратов. Однако в связи с возделыванием новых культур, изменением климатических условий и видового состава сорных растений, а также возникновением их резистентных популяций ассортимент гербицидов и технологии их применения постоянно совершенствуются (табл. 6). В начале XXI в. были исключены из оборота высокотоксичные действующие вещества и препараты, к 2025 г. разработаны инновационные, более безопасные действующие вещества (101), в несколько раз увеличилось количество препаратов на их основе (903). Предпочтение отдают гербицидам с более низкими нормами применения, менее токсичным, избирательно действующим, более экологичным и безопасным.

Расширение сферы применения и повышение безопасности во многом достигнуто за счёт создания комбинированных препаратов, количество которых достигло 320 (35% от общего количества гербицидов). Продолжают совершенствоваться препаративные формы гербицидов. Значительное место занимают водно-диспергируемые гранулы и концентраты эмульсий, снижается количество порошкообразных форм. Появились новые препаративные формы, позволяющие снижать нормы применения, и технологии обработки полей. Например, препараты Зонтран (концентрат коллоидного раствора) и Лазурит Супер (концентрат нано-эмульсий) за счёт инновационных препаративных форм можно применять не только до всходов культуры, но и в ранние фазы роста растений. При этом удалось снизить норму применения действующего вещества гербицидов на единицу обрабатываемой площади практически в 3 раза.

Научно-технологические разработки фундаментального и поискового характера по защите расте-

ний соответствуют Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации о переходе к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, разработке и внедрению систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений, Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период о разработке и внедрении новых природоподобных, биологических и химических средств защиты растений, Указу Президента РФ № 529 от 18.06.2024 г. о подготовке технологий создания биологических и химических средств для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, их защиты от болезней и вредных организмов, а также технологий сохранения биологического разнообразия и борьбы с чужеродными (инвазивными) видами животных, растений и микроорганизмов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Санин С.С. Фитосанитарная экспертиза — основа управляемой защиты растений // Современные системы и методы фитосанитарной экспертизы и управления защитой растений. Большие Вязёмы, 2015. С. 4–13.  
*Sanin S.S. Phytosanitary examination — the basis of controlled plant protection // Modern systems and methods of phytosanitary examination and plant protection management. Bol'shiye Vyazyomy, 2015. Pp. 4–13.*
2. Фадеев Ю.Н. Интегрированная система защиты растений // Вестник АН СССР. 1978. № 4. С. 75–82.  
*Fadeev Yu.N. Integrated plant protection system // Bulletin of the USSR Academy of Sciences. 1978, no. 4, pp. 75–82.*
3. Фадеев Ю.Н., Новожилов К.В., Байку Г. Принципы интегрированной защиты растений. М.: Колос. 1981. С. 19–49.  
*Fadeev Yu.N., Novozhilov K.V., Baiku G. Principles of integrated plant protection. Moscow: Kolos, 1981. P. 19–49.*
4. Долженко В.И. Защита растений: Настоящее и будущее // Плодородие. 2018. № 1. С. 24–26.

- Dolzhenko V.I.* Plant Protection: Present and Future // Fertility. 2018, no. 1, pp. 24–26.
5. *Соколов М.С., Санин С.С., Долженко В.И. и др.* Концепция фундаментально-прикладных исследований защиты растений и урожая // *Агрохимия*. 2017. № 4. С. 3–9.  
*Sokolov M.S., Sanin S.S., Dolzhenko V.I. et al.* The concept of fundamental and applied research on plant and crop protection // *Agrochemistry*. 2017, no. 4, pp. 3–9.
  6. *Жученко А.А.* Эколого-генетические основы интегрированной системы защиты растений // Сборник трудов Всероссийского съезда по защите растений “Проблемы оптимизации фитосанитарного состояния растениеводства”. С.-Петербург, 1997. С. 9–24.  
*Zhuchenko A.A.* Ecological and genetic foundations of the integrated plant protection system // Collection of works of the All-Russian Congress on Plant Protection “Problems of Optimization of the Phytosanitary State of Plant Growing”. St. Petersburg, 1997. Pp. 9–24.
  7. *Жученко А.А.* Основы адаптивно-интегрированной системы защиты агроценозов, агроэкосистем и агроландшафтов от вредных видов // Роль мобилизации генетических ресурсов цветковых растений. Саратов, 2012. С. 180–195.  
*Zhuchenko A.A.* Fundamentals of an adaptive-integrated system for protecting agroecosystems, agroecosystems and agrolandscapes from harmful species // The role of mobilization of genetic resources of flowering plants. Saratov, 2012. Pp. 180–195.
  8. *Захаренко В.А.* Особенности развития технологий защиты растений в агроэкосистемах в условиях рыночной экономики России // *Агрохимия*. 2023. № 8. С. 45–57.  
*Zakharenko V.A.* Features of the development of plant protection technologies in agroecosystems in the conditions of the market economy of Russia // *Agrochemistry*. 2023, no. 8, pp. 45–57.
  9. *Беспалова А.А., Романенко А.А., Кудряшов И.Н. и др.* Сорты пшеницы и тритикале. Краснодар: НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2020.  
*Bespalova A.A., Romanenko A.A., Kudryashov I.N. et al.* Wheat and triticale varieties. Krasnodar: P.P. Lukyanenko Scientific Center for Plant Protection, 2020.
  10. *Афанасенко О.С.* Генетическая защита зерновых культур: итоги и перспективы // Защита и карантин растений. 2020. № 9. С. 3–7.  
*Afanasenko O.S.* Genetic protection of grain crops: results and prospects // Plant protection and quarantine. 2020, no. 9, pp. 3–7.
  11. *Хютти А.В., Рыбаков Д.А., Гавриленко Т.А., Афанасенко О.С.* Устойчивость к возбудителям фитофтороза и глободероза современного сортимента семенного картофеля и его фитосанитарное состояние в различных агроклиматических зонах европейской части России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 4. С. 363–375. <https://doi.org/10.18699/VJ20.629>  
*Hyutti A.V., Rybakov D.A., Gavrilenko T.A., Afanasenko O.S.* Resistance to pathogens of late blight and globoderosis of the modern assortment of seed potatoes and its phytosanitary state in various agroclimatic zones of the European part of Russia // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020, no. 4, pp. 363–375. <https://doi.org/10.18699/VJ20.629>
  12. *Кочетов А.В., Гавриленко Т.А., Афанасенко О.С.* Новые генетические технологии защиты растений от паразитических нематод // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 125(3). С. 337–343. [Doi.org/10.18699/VJ21.037](https://doi.org/10.18699/VJ21.037)  
*Kochetov A.V., Gavrilenko T.A., Afanasenko O.S.* New genetic technologies for plant protection from parasitic nematodes // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021, no. 125(3), pp. 337–343. [Doi.org/10.18699/VJ21.037](https://doi.org/10.18699/VJ21.037)
  13. *Афанасенко О.С., Лашина Н.М., МIRONENKO N.V. et al.* Evaluation of responses of potato cultivars to different strains of potato spindle tuber viroid and symptoms of mixed viroid/viral infection // *Agronomy*. 2022, no. 12, 2916. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122916>
  14. *Jambuthenne D.T., Riaz A., Athiyannan N. et al.* Mining the Vavilov wheat diversity panel for new sources of adult plant resistance to stripe rust // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022, no. 135, pp. 1355–1373. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04037-8>
  15. *Лашина Н.М., МIRONENKO N.B., Зубкович А.А., Афанасенко О.С.* Ювенильная устойчивость сортов и образцов ячменя к net-, spot- и гибридной (net × spot) формам *Pyrenophora teres* // Микология и фитопатология. 2023. № 1. С. 48–59. DOI: 10.31857/S0026364823010099  
*Lashina N.M., Mironenko N.V., Zubkovich A.A., Afanasenko O.S.* Juvenile resistance of barley varieties and accessions to net-, spot- and hybrid (net × spot) forms of *Pyrenophora teres* // *Mycology and phytopathology*. 2023, no. 1, pp. 48–59. DOI: 10.31857/S0026364823010099
  16. *Белякова Н.А.* Современные тренды в скрининге и селекции энтомофагов // Материалы V Всероссийского конгресса по защите растений. С.-Петербург, 2024. С. 241.  
*Belyakova N.A.* Modern trends in screening and selection of entomophages // Proceedings of the V All-Russian Congress on Plant Protection. St. Petersburg, 2024. P. 241.
  17. *Белякова Н.А., Павлюшин В.А.* Скрининг биоресурсов насекомых и клещей для биологического контроля вредителей в защищённом грунте // Вестник защиты растений. 2023. № 1. С. 49–70.  
*Belyakova N.A., Pavlyushin V.A.* Screening of bioresources of insects and mites for biological control of pests in protected ground // *Bulletin of Plant Protection*. 2023, no. 1, pp. 49–70.

18. *Белякова Н.А., Павлюшин В.А., Попов Д.А.* Освоение биоресурсов энтомофагов: проблемы и дальнейшие пути развития // Труды Русского энтомологического общества. С.-Петербург. 2022. С. 5–20.  
*Belyakova N.A., Pavlyushin V.A., Popov D.A.* Development of bioresources of entomophages: problems and further development paths // Transactions of the Russian Entomological Society. St. Petersburg, 2022. P. 5–20.
19. *Долженко Т.В., Долженко В.И.* Инсектициды на основе энтомопатогенных вирусов // Агрохимия. 2017. № 4. С. 26–33.  
*Dolzhenko T.V., Dolzhenko V.I.* Insecticides based on entomopathogenic viruses // Agrochemistry. 2017, no. 4, pp. 26–33.
20. *Долженко Т.В.* Бактериальные инсектоакарициды для защиты растений: изучение и перспективы применения // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. № 3(160). С. 50–62.
21. *Долженко Т.В., Буркова Л.А., Долженко О.В.* Методы оценки биологической эффективности применения синтетических половых феромонов фитофагов // Садоводство и виноградарство. 2018. № 4. С. 52–56.  
*Dolzhenko T.V., Burkova L.A., Dolzhenko O.V.* Methods for assessing the biological efficiency of using synthetic sex pheromones of phytophages // Gardening and Viticulture. 2018, no. 4, pp. 52–56.
22. *Мироненко О.В., Асатурова А.М., Шипиевская Е.Ю. и др.* Органическое земледелие в Российской Федерации. Биопестициды в производстве органической продукции. Краснодар: Просвещение – Юг, 2024.  
*Mironenko O.V., Asaturova A.M., Shipievskaya E.Yu. et al.* Organic farming in the Russian Federation. Biopesticides in organic production. Krasnodar: Prosveshchenie–Yug, 2024.
23. *Хайруллин Р.М., Сорокань А.В., Габдрахманова В.Ф., Максимов И.В.* Перспективные свойства *Bacillus thuringiensis* и направления их использования для защиты растений // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. № 4. С. 337–354.  
*Khairullin R.M., Sorokan A.V., Gabdrakhmanova V.F., Maksimov I.V.* Promising properties of *Bacillus thuringiensis* and directions of their use for plant protection // Applied Biochemistry and Microbiology. 2023, no. 4, pp. 337–354.
24. *Gal'chinsky N.V., Yatskova E.V., Sharmagiy A.K., Plugatar Yu.V., Oberemok V.V.* Mixed insect pest populations of diaspidae species under control of oligonucleotide insecticides: 3'-end nucleotide matters // Pesticide Biochemistry and Physiology. 2024, vol. 200, p. 105838.
25. *Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова А.А.* Применение пестицидов. Год 2023-й // Защита и карантин растений. 2024. № 4. С. 9–10.  
*Govorov D.N., Zhivikh A.V., Shabelnikova A.A.* Use of pesticides. Year 2023 // Plant protection and quarantine. 2024, no. 4, pp. 9–10.
26. *Долженко В.И., Сухорученко Г.И., Лантеев А.Б.* Развитие химического метода защиты растений в России // Защита и карантин растений. 2021. № 4. С. 3–13.  
*Dolzhenko V.I., Sukhoruchenko G.I., Laptiev A.B.* Development of chemical plant protection methods in Russia // Plant protection and quarantine. 2021, no. 4, pp. 3–13.
27. *Долженко В.И., Лантеев А.Б.* Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность // Плодородие. 2021. № 3. С. 71–75.  
*Dolzhenko V.I., Laptiev A.B.* Modern range of plant protection products: biological efficiency and safety // Plodorodie. 2021, no. 3, pp. 71–75.
28. *Долженко В.И., Сухорученко Г.И., Буркова Л.А. и др.* Совершенствование ассортимента средств борьбы с вредителями растений в XXI веке // Агрохимия. 2021. № 1. С. 31–40.  
*Dolzhenko V.I., Sukhoruchenko G.I., Burkova L.A. et al.* Improving the range of plant pest control products in the 21st century // Agrochemistry. 2021, no. 1, pp. 31–40.
29. *Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Кунгурцева О.В. и др.* Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов // Агрохимия. 2020. № 9. С. 32–47.  
*Grishechkina L.D., Dolzhenko V.I., Kungurtseva O.V. et al.* Development of research on the formation of a modern assortment of fungicides // Agrochemistry. 2020, no. 9, pp. 32–47.
30. *Гришечкина Л.Д.* Фунгициды для защиты пшеницы яровой от семенной и почвенной инфекции // Защита и карантин растений. 2022. № 3. С. 13–17.  
*Grishechkina L.D.* Fungicides for the protection of spring wheat from seed and soil infections // Plant protection and quarantine. 2022, no. 3, pp. 13–17.
31. *Маханькова Т.А., Долженко В.И., Голубев А.С.* Формирование ассортимента гербицидов в России // Агрохимия. 2022. № 11. С. 50–61.  
*Makhankova T.A., Dolzhenko V.I., Golubev A.S.* Formation of the assortment of herbicides in Russia // Agrochemistry. 2022, no. 11, pp. 50–61.

## SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SUPPORT OF PHYTOSANITARY SAFETY

V.I. Dolzhenko<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup>*All-Russian Research Institute for Plant Protection, St. Petersburg, Russia*

<sup>b</sup>*St. Petersburg Branch of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

*\*E-mail: dolzhenko@icrzr.ru*

A pressing issue of ensuring food security in the country is protecting agricultural crops from harmful organisms, the negative impact of which can lead to a loss of 50% of the harvest. Phytosanitary safety can be achieved by various methods, means and technologies. Cultivation of genetically protected varieties and hybrids of agricultural crops, as well as the use of the biological method ensure resource conservation, the production of environmentally friendly products and a reduction in the pesticide load on agrocenoses. However, 98% of the plant protection products used in our country are chemical pesticides used on an area of about 100 million hectares. The example of improving the range of insecticides, fungicides, herbicides and technologies for their application shows achievements in reducing the standards of use, toxicity for humans and the environment, optimizing the preparative forms of pesticides and increasing the share of drugs of hazard classes 3 and 4. The prospects of pre-sowing seed treatment technology with pesticides and the development of combined drugs that allow simultaneous protection of plants from pests and diseases have been proven. The tasks for scientific and technological support of phytosanitary safety have been defined.

**Keywords:** phytosanitary safety, plant protection, harmful organisms, pesticides, insecticides, fungicides, herbicides, formulations, integrated plant protection, entomophages, entomopathogens.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ПИЩЕВОЙ МЕТАИНЖЕНЕРИИ

© 2025 г. А.Г. Галстян<sup>a,\*</sup>, А.Н. Петров<sup>a,\*\*</sup>, Е.А. Юрова<sup>a,\*\*\*</sup>, З.С. Зобкова<sup>a,\*\*\*\*</sup>,  
Н.С. Пряничникова<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>, С.А. Фильчакова<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

\*E-mail: a\_galstyan@vnimi.org

\*\*E-mail: a\_petrov@vnimi.org

\*\*\*E-mail: e\_yurova@vnimi.org

\*\*\*\*E-mail: z\_zobkova@vnimi.org

\*\*\*\*\*E-mail: n\_pryanichnikova@vnimi.org

\*\*\*\*\*E-mail: s\_filchakova@vnimi.org

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.

После доработки 25.03.25 г.

Принята к публикации 14.04.2025 г.

В современном мире проблема обеспечения населения высококачественными продуктами питания становится всё более актуальной. Это связано с рядом факторов, таких как рост численности населения Земли, глобализация, которая вносит существенные изменения в привычные модели и структуру питания, недостаточная эффективность традиционных технологий переработки сельскохозяйственной продукции и др. Важный элемент в решении проблемы — применение киберфизических систем (КФС), представляющих собой интеграцию вычислительных, физических и сетевых компонентов в частные процессы и системные технологии. В пищевой промышленности КФС находят применение в управлении производственными линиями, контроле качества продукции, логистике, прогностических моделях спроса, способствуют персонализации питания. В будущем развитие КФС и технологий искусственного интеллекта может привести к созданию полностью автономных пищевых производств, где робот-ассистированные технологии будут управлять всеми процессами — от выращивания сырья до доставки готовой продукции.

**Ключевые слова:** продукты питания, киберфизические системы, биотехнологии, цифровые и робот-ассистированные технологии, 3Д-печать.

**DOI:** 10.31857/S0869587325060099, **EDN:** FBGUGW

“Время длится достаточно долго для каждого, кто будет его использовать”.

*Леонардо да Винчи*

Ещё совсем недавно, буквально несколько десятилетий назад, идея создания *киберфизических*

*систем (КФС)*<sup>1</sup>, не говоря уже об её интеграции в повседневную жизнь человека, казалась чем-то из области научной фантастики, утопической мечтой, которая могла возникнуть лишь в воображении писателей-футуристов или учёных-энтузиастов. Однако стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий, которое началось в конце XX в. и продолжает набирать обороты в XXI в., кардинально изменило ситуацию. Многочисленные технологические прорывы, подкреплённые глобализацией, привели к тому, что всего за три-четыре десятилетия человечество оказалось в совершенно новой реальности, которая теперь воспринимается как нечто само собой разумеющееся. Более того, каждое новое поколение, рождающееся в условиях

ГАЛСТЯН Арам Генрихович — академик РАН, директор ВНИМИ. ПЕТРОВ Андрей Николаевич — академик РАН, главный научный сотрудник ВНИМИ. ЮРОВА Елена Анатольевна — кандидат технических наук, заведующий лабораторией химического контроля ВНИМИ. ЗОБКОВА Зинаида Семёновна — доктор технических наук, научный консультант ВНИМИ. ПРЯНИЧНИКОВА Наталия Сергеевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник. ФИЛЬЧАКОВА Светлана Анатольевна — кандидат технических наук, младший научный сотрудник ВНИМИ.

<sup>1</sup> Новая парадигма информационно-управляющей среды, которая подразумевает интеграцию кибернетических технологий в физические сущности объектов и/или технологий.

технологически насыщенной среды, принимает её как естественную точку отсчёта, как данность, не задумываясь о том, насколько радикально изменился мир за столь короткий по историческим меркам срок. Можно утверждать, что КФС, объединяющие физические процессы с цифровыми технологиями, стали неотъемлемой частью нашей жизни, формируя новую эпоху, в которой границы между физическим и виртуальным мирами постепенно стираются (рис. 1) [1, 2].

Для анализа возможных сценариев развития пищевой промышленности прежде всего необходимо сформировать научно обоснованную картину мировых демографических изменений, которые выступают ключевым фактором, определяющим спрос на продовольственные ресурсы и структуру их потребления. Однако традиционные инерционные подходы к анализу трендов, основанные на экстраполяции исторических данных, недостаточно эффективны в условиях современной динамично изменяющейся реальности. Это связано с тем, что подобные методы не учитывают целый ряд критически важных аспектов, включая нелинейность социально-экономических и технологических процессов, наличие институциональных ловушек, способных замедлять или искажать развитие, а также влияние глобальных кризисов, таких как пандемии, климатические изменения и геополитические потрясения [3, 4].

Сложность построения адекватных моделей будущего пищевой промышленности обусловлена многопараметрическим характером задачи, требующей учёта как глобальных процессов, так и локальных особенностей. Глобализация, цифровизация, изменения в структуре потребления, трансформация производственных цепочек, демографические

тенденции и экологические ограничения создают сложную систему взаимосвязанных фундаментальных факторов, которые необходимо интегрировать в единую аналитическую программную платформу. Важно учитывать не только позитивные сценарии, связанные с внедрением инновационных технологий, таких как метаинженерные решения, синтетическая биология, искусственный интеллект и автоматизация, но и потенциальные риски, возникающие в результате глобальной цифровизации. К таким рискам относятся, например, *вариативность технологических решений*, которая может привести к фрагментации стандартов и регуляторных норм, а также угрозы, связанные с технологической сингулярностью, когда скорость развития технологий превышает способность общества адаптироваться к ним [5, 6]. Кроме того, значительную неопределённость вносят институциональные и регуляторные факторы. Запаздывание в развитии нормативно-правовой базы, регулирующей новые технологии и процессы, может привести к дисбалансам в отрасли, создавая условия для неэффективного использования ресурсов и повышая риски возникновения кризисных ситуаций.

В этой связи разработка моделей развития пищевой промышленности требует междисциплинарного подхода, объединяющего знания из области демографии, экономики, экологии, социологии, политологии и технических наук. Только комплексный подход позволит создать прочные конструкции, соответствующие текущим трендам и учитывающие потенциальные точки бифуркации, которые могут кардинально изменить траекторию развития отрасли [7, 8]. Таким образом, чтобы сформировать научно обоснованные прогнозы, необходимо не только совершенствовать методологию анализа,



Рис. 1. Эволюция и киберфизические компоненты индустрии X.0

но и активно внедрять инструменты сценарного моделирования с учётом множественности факторов и их взаимовлияния. Это позволит минимизировать неопределённости и разработать стратегии, обеспечивающие устойчивое развитие пищевой промышленности в условиях глобальных вызовов [9, 10].

Следует иметь в виду, что современные социальные и технологические новации приводят к *ускорению смены поколений людей* и изменению их характеристик (рис. 2). Если раньше переход от одного поколения к другому занимал в среднем 20–25 лет (как, например, между поколениями X и Y или Y и Z), то сейчас этот интервал меньше. Для поколения Alpha, рождённого примерно в 2010 г. и позднее, этот цикл сократился до 15 лет, что связано с ускорением технологического прогресса, глобализацией и изменением социальных норм. Поколение Alpha – первое, которое с самого детства погружено в цифровую среду и для которого технологии становятся ключевым фактором формирования мировоззрения, поведения и привычек. Это поколение уже сейчас рассматривается как новый цикл зарождения прогрессивных форматов будущего, которые будут определять развитие общества в ближайшие десятилетия [11].

Следующее за Alpha поколение, условно называемое Beta (2025 год рождения и позже), станет первым, которое вырастет в мире, где искусственный интеллект (ИИ) будет полностью интегрирован в повседневную жизнь. ИИ станет не просто инструментом, а активным участником формирования реальности. Это поколение будет воспитываться в условиях, когда ИИ начнёт влиять на социализацию, образование, социальные взаимодействия, принятие решений. Технологии, основанные на ИИ, будут манипулировать информацией, создавая персона-

лизированные потоки данных, формируя представления о мире и восприятие реальности. В результате нормы, ценности и даже базовые потребности, такие, как потребность в питании, будут складываться под влиянием алгоритмов [12].

Поколение Beta столкнётся с принципиально новыми подходами в области питания. ИИ будет не только рекомендовать индивидуальные диеты на основе анализа здоровья, генетики и образа жизни, но и формировать пищевые привычки через персонализированный контент, рекламу и даже виртуальные симуляции. Например, технологии дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) можно использовать для создания иммерсионных опытов, которые влияют на выбор продуктов питания. Кроме того, ИИ будет интегрирован в производство и доставку еды, что приведёт к появлению новых форматов питания, таких как полностью автоматизированные кафе, персонализированные пищевые добавки и синтетические продукты, созданные с учётом индивидуальных потребностей [13].

Поколение Beta также столкнётся с этическими и социальными вызовами, связанными с использованием ИИ. Вопросы приватности, манипуляции сознанием и зависимости от технологий станут ключевыми темами для обсуждения. Например, как обеспечить, чтобы ИИ формировал у детей и подростков здоровые привычки, а не навязывал коммерчески выгодные, но вредные модели поведения? Как защитить их от чрезмерного влияния алгоритмов, которые могут ограничивать свободу выбора? Это потребует пересмотра существующих подходов к образованию, этике и регулированию технологий, чтобы обеспечить гармоничное развитие будущих поколений в условиях цифровой трансформации [14].



Рис. 2. Фундаментальные предпосылки альтернативной пищевой метаинженерии

Несмотря на то, что перспектива ускорения технологических и социальных циклов в будущем, вероятно, будет иметь свои разумные пределы, недальновидно игнорировать вероятные кардинальные изменения, обусловленные развитием технологий, в прогностических моделях эволюции общества. Априори можно утверждать, что в ближайшие десятилетия человечеству предстоит адаптироваться к масштабу изменений, сопоставимому с пережитым за последние несколько тысячелетий. Этот процесс потребует не только глубокого понимания текущих технологических трендов, но и разработки комплексных стратегий, учитывающих как потенциальные вызовы, так и возможности, связанные с трансформацией социальных, экономических и экологических систем. В данном контексте научный подход к прогнозированию и моделированию будущего становится не просто желательным, но и необходимым условием обеспечения устойчивого развития в условиях стремительно меняющейся реальности.

Фактически современные цифровые технологии ускорили получение и внедрение новых данных по всем направлениям жизнедеятельности человека, практически обнулили временной лаг между созданием и применением результатов интеллектуальной деятельности. Это опосредованно привело к формированию принципиально новой генерации “*homo digitalis*” — человека цифрового — и параллельной с физическим миром метавселенной, адаптирующей практически все формы деятельности человека в цифровые матрицы с интегрированными множественными алгоритмами их применения [15]. Соответственно параллельно видоизменяется среда обитания — виртуальные решения повышают рациональность жизнедеятельности человека, формируя базовую ценность — *свободное время для созидания и творчества*.

В частности, современные технологии, такие как искусственный интеллект и интернет вещей, кардинально трансформируют пищевую промышленность, позволяя оптимизировать цепочки поставок, прогнозировать спрос и минимизировать отходы. Например, системы машинного обучения анализируют данные сенсоров в режиме реального времени, корректируя параметры производства для повышения качества продукции [16]. Это создаёт предпосылки для создания “умных пищевых фабрик” (*smart food factories*), где ключевые решения принимаются алгоритмами, а человеческий труд сфокусирован на креативных и управленческих задачах [17].

Развитие синтетической биологии и ферментационных технологий открывает новые горизонты в создании альтернативных белковых продуктов, снижая нагрузку на экосистемы. Культивируемое мясо и микопотеины уже сейчас демонстрируют потенциал для замещения традиционного живот-

новодства, что критически важно в условиях роста населения и климатических изменений [18]. При этом интеграция биотехнологий в пищевую промышленность требует пересмотра нормативных рамок и формирования новых стандартов безопасности [19].

Цифровизация позволила перейти от унифицированных диет к персонализированному питанию, учитывающему генетические, метаболические и микробиомные особенности индивида. Платформы на основе ИИ анализируют данные *wearable*-устройств (умные носимые устройства) и генетических тестов, предлагая оптимальные рационы [20]. Это не только улучшает здоровье потребителей, но и создаёт новые рынки для пищевых компаний, ориентированных на прецизионные решения [21].

Внедрение блокчейн-технологий в пищевые цепочки обеспечивает полную прозрачность движения продукции от фермы до прилавка, снижая риски фальсификации и повышая доверие потребителей. Например, национальная система маркировки и прослеживания продукции использует технологии распределённых реестров для отслеживания происхождения продуктов, сокращая время проверки с дней до секунд [22]. Это соответствует глобальному тренду на гиперпрозрачность как конкурентное преимущество [23].

Так или иначе проблема обеспечения населения качественными пищевыми продуктами продолжает быть актуальной. Но именно сегодня, с развитием цифровых и робот-ассистированных технологий, методологических баз, логистических систем и много другого человечество впервые подошло максимально близко к её решению. Принципиально новые скорости роста численности населения и беспрецедентные изменения структуры и культуры питания предполагают кардинальную трансформацию традиционных технологий, а в дальнейшем, с некоторой инерционностью, также и схем идентификации и оценки качества продукции. Масштабность изменений затрагивает не только отраслевые компоненты, но создаёт предпосылки для формирования классических моделей социальных, медицинских, экономических и иных элементов государственного управления [24].

Наглядным подтверждением глобальных изменений в питании планетарного масштаба является увеличение объёмов венчурных инвестиций в фудтех (симбиоз информационных технологий и различных направлений традиционной пищевой индустрии) более чем в 7 раз [25]. В результате первостепенной задачей становится замена существующей модели промышленного производства на модель, нацеленную на переход к *персонализированному питанию* (рис. 3). Именно с этим направлением связаны потенциальные качественные скачки в технологиях, которые должны способствовать развитию положительных тенденций в питании

населения, в том числе профилактике алиментарно-зависимых патологий, снижению негативного воздействия на экологию за счёт минимизации потерь сырья и продукции [26, 27].

Существующая система массового производства пищевой продукции не учитывает *индивидуальные потребности человека*, предопределяя множество заболеваний [28]. В частности, избыточный вес отмечен более чем у 2.5 млрд взрослых людей, в том числе ожирение — у более чем 1.0 млрд. В 2022 г. избыточную массу тела имели более 390 млн детей и подростков в возрасте от 5 до 19 лет; из них 160 млн страдали ожирением. Не менее удручающая ситуация с сахарным диабетом. С 1990 по 2022 г. численность людей, страдающих диабетом, увеличилась более чем в 4 раза и составила 830 млн человек. Согласно оценкам экспертов, в 2021 г. от диабета и вызванных им заболеваний почек умерло свыше 2 млн человек. Кроме того, около 11% случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний были вызваны высоким содержанием сахара в крови. При этом большинство сердечно-сосудистых заболеваний можно предотвратить путём воздействия на поведенческие и экологические факторы риска. В первую очередь следует исключить нездоровое питание, с которым, помимо прочего, связаны синдром раздраженного кишечника (15–20% населения планеты), колоректальный рак (порядка 2 млн новых случаев в год), неалкогольная жировая болезнь печени, которой страдает примерно 25% населения Земли (рост на 50% за последние 10 лет). Следует отметить, что персонафикация питания позволит сократить потери пищевой продукции, которые составляют порядка 1.3 млрд тонн продуктов ежегодно (33% от их производства) [24]. Этого хватило бы, чтобы накормить более 3 млрд человек.

Ситуационный анализ показывает, что в современных реалиях следует акцентировать внимание, с одной стороны, на персонализации питания как максимальном уровне оптимизации, с другой стороны, на решении проблемы голода и снижении потерь пищевых продуктов, а также нагрузки на окружающую среду. В этом смысле перспективными представляются современные *аддитивные технологии*, формирующие принципиально новый сегмент рынка. Ожидается, что в ближайшие годы рынок пищевых продуктов общего назначения, произведённых на 3D-принтерах, будет оцениваться десятками миллиардов долларов благодаря крупным инвестициям в исследования и разработки в этой области. Развитие этого сегмента рынка тормозит отсутствие технологии производства “пищевых чернил”, недостаточная аналитика по химическим, микробиологическим и иным рискам, а также необходимость проработки правовых аспектов. Однако, учитывая интенсивность развития всех сопутствующих направлений, можно уверенно утверждать, что соответствующие решения станут доступными в ближайшее время. Именно в этом ключе следует рассматривать одну из промышленных технологий переработки сельскохозяйственного сырья, формируя стратегию переориентации промышленных предприятий на создание “чернил” для 3D-принтеров. Работы в этом направлении начаты во Всероссийском НИИ молочной промышленности (ВНИМИ) с применением двухголовочного принтера FELIX Food 1.6 Switch Head, который позволяет создавать сложные матрицы из двух различных материалов [20].

В то же время, принимая во внимание риск утраты традиционных пищевых технологий, необходимо создавать алгоритмы *защиты национальных продуктов* для передачи следующим поколениям



Рис. 3. Персонализированное питание — пищевая технология будущего

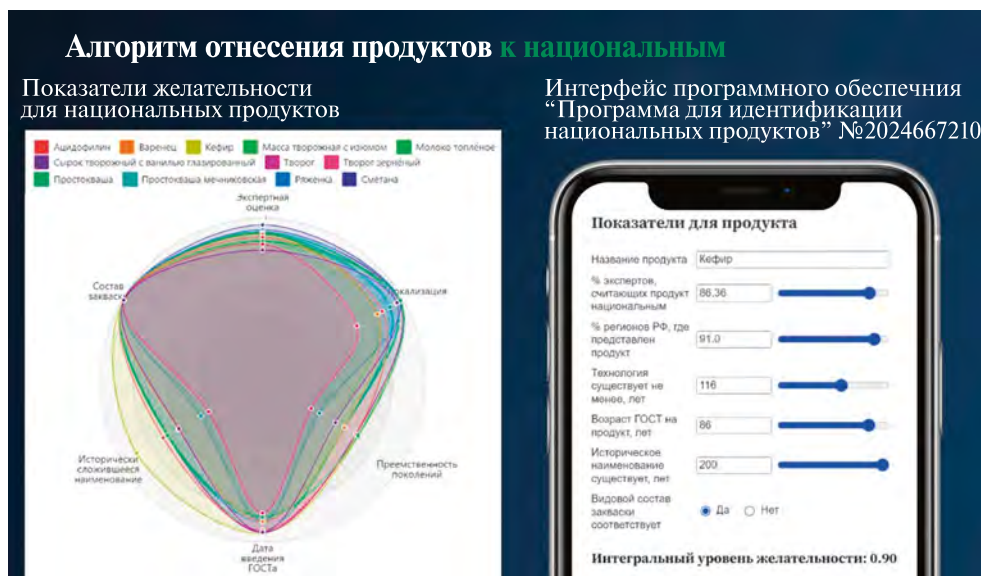


Рис. 4. Методологические приёмы защиты национальных продуктов

их базовых матриц с многоуровневыми критериями идентификации принадлежности и качества. К настоящему времени во ВНИМИ разработан стандарт системы идентификации национальных молочных продуктов и создаются банки данных, которые позволят сохранить культурный код страны в этой области (рис. 4) [28]. Параллельно разрабатываются системы *цифровых идентификационных профилей* пищевых продуктов [24]. Нарбатывается массив данных, который позволит оптимизировать систему мониторинга качества и безопасности пищевых продуктов, не только производимых в России, но и импортируемых, в том числе сложного состава [26].

Так или иначе, развитие пищевых биотехнологий — это риск негативного воздействия на здоровье населения, что априори предполагает серьёзные междисциплинарные исследования и создание государственных механизмов контроля. В то же время широкомасштабная интеграция киберфизических систем в частные процессы, опосредованное формирование новых форматов технологий можно рассматривать как наступившее будущее, которое видоизменяет пищевые тенденции и создаёт абсолютно новую реальность и новые риски.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lee E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). 2008, pp. 363–369. DOI: 10.1109/ISORC.2008.25
2. Rajkumar R., Lee I., Sha L. & Stankovic J. Cyber-physical systems: The next computing revolution. In Proceedings of the 47th Design Automation Conference 2010, pp. 731–736. DOI: 10.1145/1837274.1837461
3. United Nations. World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>
4. Godfray H.C., Beddington J.R., Crute I.R. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people // Science. 2010, Feb. 12, 327(5967):812-8. DOI: 10.1126/science.1185383
5. Taleb N.N. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. New York: Random House, 2007.
6. Sterman J. Business Dynamics: Systems thinking and modelling for a complex world. New York: Irwin McGraw-Hill, 2000.
7. FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/67b1e9c7-1a7f-4dc6-a19e-f6472a4ea83a/content>
8. Rockström J., Steffen W., Noone K. et al. A safe operating space for humanity // Nature. 2009, vol. 461, pp. 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
9. Brynjolfsson E., McAfee A. The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York: W.W. Norton & Co., 2014.
10. Marchant G., Wallach W. Governing the governance of emerging technologies // In: Innovative Governance Models for Emerging Technologies. London: Edward Elgar Publishing Ltd., 2013. Pp. 136–152. <https://doi.org/10.4337/9781782545644.00013>
11. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Поколение\\_Альфа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Поколение_Альфа)

12. *Bostrom N., Yudkowsky E.* (2014). The Ethics of Artificial Intelligence // In: K. Frankish, & W.M. Ramsey (Eds.). The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence. Cambridge University Press. Pp. 316–334. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139046855.020>
13. *Chengyan Xu, Siegrist M., Hartmann Ch.* The application of virtual reality in food consumer behavior research: A systematic review // Trends in Food Science & Technology. 2012, vol. 116, pp. 533–544. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.015>
14. *O'Neil C.* Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy. New York: Crown Publishers, 2016.
15. *Mystakidis S.* Metaverse. Encyclopedia, 2(1). 2022. 486–497. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>
16. Smart Food Industry: The Blockchain for Food and Agriculture. Elsevier, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003231059>
17. *Mavani N.R., Ali J.M., Othman S. et al.* Application of Artificial Intelligence in Food Industry: A Guide-line // Food Eng. Rev. 2022, no. 14, pp. 134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>
18. *McClements D.J.* Future Foods: How Modern Science Is Transforming the Way We Eat. 1st ed. Copernicus: Cham, Switzerland, 2019.
19. *Chan D. L.-K. et al.* Technical, commercial, and regulatory challenges of cellular agriculture for seafood production // Trends Food Sci. Technol. 2024, no.144, 104341. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104341
20. *Zeevi D. et al.* (2015) Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses // Cell. 2015, no. 163(5), pp. 1079–1094. DOI: 10.1016/j.cell.2015.11.001
21. *Bush C.L. et al.* Advances in Genetic and Wearable Sensor Technology in Personalized Nutrition // Genes. 2020, no. 11(3), 263. DOI: 10.3390/genes11030263
22. Официальный сайт национальной системы маркировки и прослеживаемости продукции “Честный знак”. <https://markirovka.ru>
23. *Newell S., Marabelli M.* Strategic opportunities (and challenges) of algorithmic decision-making: A call for action on the long-term societal effects of ‘datification’ // The Journal of Strategic Information Systems. 2015, no. 24(1), pp. 3–14. DOI: 10.1016/j.jsis.2015.02.001
24. *Галстян А.Г., Аксёнова Л.М., Лисицын А.Б. и др.* Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов // Вестник Российской академии наук. 2019. № 5. С. 539–542.  
*Galstyan A.G., Aksenova L.M., Lisitsyn A.B. et al.* Modern approaches to storage and efficient processing of agricultural products to obtain high-quality food products // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019, no. 5, pp. 539–542.
25. <https://dealroom.co/blog/the-state-of-european-food-tech-2018>
26. *Семипятный В.К.* Принципы метааналитической декомпозиции при формировании цифровых идентификационных профилей пищевых систем. Дисс. на соискание учёной степени доктора технических наук. М.: Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2022.  
*Semipyatny V.K.* Principles of meta-analytic decomposition in the emergence of digital food system profiles. Diss. for a doctorate degree in technical sciences. M.: Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbato, 2022.
27. *Агаркова Е.Ю.* Разработка комплексной стратегии трансформации вторичного молочного сырья для реализации новых биотехнологических решений в молочной промышленности. Дисс. на соискание учёной степени доктора технических наук. М.: Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, 2023.  
*Agarkova E.Yu.* Development of a comprehensive strategy for the transformation of secondary dairy raw materials for the implementation of new biotechnological solutions in the dairy industry. Diss. for the degree of Doctor of Technical Sciences. M.: Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbato, 2023.
28. WHO official website. <https://www.who.int/ru>

**CYBER-PHYSICAL COMRONENTS OF FOOD META-ENGINEERING**

**A.G. Galstyan<sup>a,\*</sup>, A.N. Petrov<sup>a,\*\*</sup>, E.A. Yurova<sup>a,\*\*\*</sup>, Z.S. Zobkova<sup>a,\*\*\*\*</sup>,  
N.S. Pryanichnikova<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>, S.A. Filchakova<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>**

*<sup>a</sup>All-Russian Research Institute of Dairy Industry, Moscow, Russia*

*\*E-mail: a\_galstyan@vnimi.org*

*\*\*E-mail: a\_petrov@vnimi.org*

*\*\*\*E-mail: e\_yurova@vnimi.org*

*\*\*\*\*E-mail: z\_zobkova@vnimi.org*

*\*\*\*\*\*E-mail: n\_pryanichnikova@vnimi.org*

*\*\*\*\*\*E-mail: s\_filchakova@vnimi.org*

In the modern world, the problem of providing the population with high-quality food products is becoming increasingly important. This is due to a number of factors, such as the growth of the Earth's population, globalization, which introduces significant changes in the usual models and structure of nutrition, insufficient efficiency of traditional technologies for processing agricultural products, etc. An important element in solving the problem is the use of cyber-physical systems (CPS), which are the integration of computing, physical and network components into private processes and system technologies. In the food industry, CPS are used in the management of production lines, product quality control, logistics, predictive models of demand, and contribute to the personalization of nutrition. In the future, the development of CPS and artificial intelligence technologies can lead to the creation of fully autonomous food production, where robot-assisted technologies will manage all processes - from growing raw materials to delivering finished products.

*Keywords:* food, cyber-physical systems, biotechnology, digital and robot-assisted technologies, 3D printing.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КРЫМА

© 2025 г. В.С. Паштецкий<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

\*E-mail: pvs98a@gmail.com

Поступила в редакцию 01.04.2025 г.

После доработки 17.04.2025 г.

Принята к публикации 23.04.2025 г.

Вековая история крупнейшего аграрного научного центра Крыма — НИИСХ Крыма связана с решением основных проблем агропромышленного комплекса региона: засушливость климата, сокращение орошаемых площадей и биоразнообразия, в том числе вследствие упрощения структуры севооборотов, снижение плодородия почвы и ухудшение экологической ситуации, уменьшение поголовья сельскохозяйственных животных и снижение их продуктивности, падение технического уровня сельскохозяйственных предприятий. Институт вносит заметный вклад в решение этих проблем. Создаются новые сорта зерновых, овощных, эфиромасличных культур, устойчивые к биотическим и абиотическим факторам, разрабатываются влагосберегающие технологии и системы земледелия, позволяющие сохранять плодородие почв и улучшать состояние агроэкосистем, предложены новые микробные препараты, кормовые добавки на основе эфиромасличного сырья, косметические и пищевые продукты, проектируются и создаются новые технические средства для обработки почвы.

**Ключевые слова:** растениеводство, животноводство, сельскохозяйственная микробиология, эфиромасличная отрасль, водные ресурсы, системы земледелия, биопрепараты, технологические инновации, устойчивое развитие.

**DOI:** 10.31857/S0869587325060101, **EDN:** FBKEDN

Агропромышленный комплекс (АПК) Крыма представляет собой системообразующий сектор региональной экономики, вносящий значительный вклад в обеспечение продовольственной безопасности. Он охватывает широкий спектр видов деятельности, включая растениеводство, животноводство и переработку сельскохозяйственной продукции. Исторически развитие сельского хозяйства в Крыму определялось уникальными географическими и климатическими условиями. На полуострове

развито производство зерновых, овощных, плодовых культур и винограда. Животноводство, включая птицеводство, разведение крупного рогатого скота, овцеводство, кролиководство, формирует существенную долю агропромышленного производства. Вместе с тем АПК Крыма характеризуется наличием ряда проблем и находится в стадии трансформации, требующей использования научных разработок и технологических инноваций. Важная задача — внедрение современных систем орошения, адаптация устойчивых агротехнологий и инвестиции в развитие инфраструктуры [1].

В 2024 г. Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (НИИСХ Крыма), крупнейший аграрный научный центр Республики Крым, отметил столетний юбилей. Начало аграрной науке в засушливой зоне Крымского полуострова положил профессор-почвовед Н.Н. Клепинин, под руководством которого в 1924 г. была создана Областная опытная станция по полеводству. В 2012 г. институт был реорганизован путём объединения с пятью научно-исследовательскими организациями Крыма, что позволило создать многопрофиль-



ПАШТЕЦКИЙ Владимир Степанович — член-корреспондент РАН, директор НИИСХ Крыма.

ный научный центр, способный комплексно решать фундаментальные и прикладные задачи аграрного сектора Крыма.

Наиболее острой проблемой является аридность климата и дефицит водных ресурсов на полуострове. Это ключевое ограничение с точки зрения устойчивого развития АПК региона. Республика Крым характеризуется низким водоресурсным потенциалом, занимает последнее место среди субъектов Российской Федерации по минимальному объёму доступных собственных водных ресурсов в расчёте на одного жителя — около 0.5 тыс. м<sup>3</sup> воды, что в 58 раз меньше среднего значения по России [2]. На значительной части территории Крыма выпадает недостаточное количество атмосферных осадков, по этому показателю регион относится к зоне рискованного земледелия. Прекращение подачи воды по Северо-Крымскому каналу привело к существенному сокращению площадей, пригодных для орошаемого земледелия, и, как следствие, к обеднению биоразнообразия агроценозов полуострова. Из структуры посевных площадей практически полностью исключены или значительно сокращены посевы влаголюбивых культур, таких как рис, соя, кукуруза, гречиха, люцерна и озимый рапс, возделывание которых в условиях отсутствия орошения становится либо невозможным, либо экономически нецелесообразным, особенно в засушливые годы. Отмечено сокращение площадей, занятых овощными культурами и позднеспелыми гибридами подсолнечника, отличающимися более высокой продуктивностью [2].

Немаловажный фактор — глобальные изменения климата, которые проявляются в учащении возникновения и увеличения амплитуды экстремальных погодных условий, которые трудно прогнозировать. Наиболее существенный вред земледелию наносят засухи, особенно на фоне высоких температур [3]. В Южном Крыму они участились в зимний и ранневесенний период. Анализ погодных условий за последнее десятилетие показал, что температура воздуха в степной зоне Крыма повысилась на 2°C в сравнении со среднемноголетней. Максимальное повышение температуры отмечается в феврале и марте (+3.1 и +2.7°C соответственно), а также в августе (+3.1°C).

Климатические условия диктуют необходимость совершенствования существующих и разработки принципиально новых агротехнологий, создания адаптивных сортов основных сельскохозяйственных культур, а также интродукции и акклиматизации засухоустойчивых видов и сортов, перспективных для возделывания в регионе.

Одно из приоритетных направлений государственной политики в области обеспечения продовольственной безопасности — “сохранение, восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения” [4]. В целях

преодоления негативных тенденций, связанных с деградацией почвенного плодородия, на территории Республики Крым реализуется комплекс мер по оптимизации систем земледелия. В частности, ведётся работа по расширению использования сидеральных культур<sup>1</sup> и внедрению ресурсосберегающих технологий обработки почвы. В настоящее время наблюдается существенный дисбаланс в круговороте веществ, выносимых из почвы с урожаем, и их возврате посредством внесения удобрений. В последние десятилетия отмечается резкое снижение объёмов внесения органических удобрений — с 8.2 до 0.4 т/га, что стало одной из ключевых причин деградации почвенного плодородия [5].

Одна из проблемных отраслей агропромышленного комплекса Крыма — животноводство: в последние годы отмечается устойчивая тенденция к сокращению поголовья сельскохозяйственных животных [6]. Десять лет назад основная часть поголовья крупного рогатого скота была сосредоточена в личных подсобных хозяйствах, однако к настоящему времени оно сократилось вдвое. Уменьшение поголовья овец связано с неблагоприятным экономическим положением овцеводческих хозяйств, расположенных преимущественно в экстремальных природно-климатических районах с бедными маломощными почвами. Сокращение поголовья свиней — следствие распространения африканской чумы свиней и дефицита кормовой базы. В целях преодоления негативных тенденций в животноводстве в НИИСХ Крыма на протяжении более десяти лет ведётся селекционная работа с породами овец и кроликов, адаптированных к местным условиям.

На основе уникальных разработок создаются универсальные кормовые смеси для кроликов, а также микрокапсулированные формы и кормовые добавки на основе водорослей для обогащения продуктов эссенциальным йодом, что особенно актуально для Крыма как санаторно-курортного региона [7, 8]. Инновационная разработка в области кормления молодняка крупного рогатого скота — кормовая добавка на основе эфирных масел, защищённая патентом на изобретение “Способ направленного формирования микробиома рубца и повышения иммунного статуса телят с помощью комплексной фитогенной кормовой добавки, содержащей эфирные масла фенхеля обыкновенного и кориандра посевного”. Эта добавка относится к классу *фитобиотиков* — биологически активных веществ, получаемых из эфирных масел или экстрактов растений и обладающих полезными для здоровья животных и людей свойствами. Это альтернатива антибиотикам и химическим препаратам, применяемым в животноводстве и медицине. Также в НИИСХ

<sup>1</sup> Сидераты (от лат. *sīdere* — оседать, оставаться лежать) — растения, выращиваемые с целью последующей заделки в почву (сидерации) для улучшения её структуры, обогащения азотом и угнетения роста сорняков.

Крыма разработан и проходит апробацию фитобиотический препарат для животноводства на основе эфирного масла *Origanum vulgare* (содержащего до 77.5 % карвакрола), обладающий выраженным противомикробным действием.

Особенности климата Крыма требуют изучения засухоустойчивых культур и сортов, увеличения их ассортимента, а также разработки влагосберегающих технологий под них. Прежде всего речь идёт об озимых зерновых, которые занимают 70% посевных площадей республики. В НИИСХ Крыма изучено большое количество сортов озимой пшеницы и озимого ячменя с целью поиска наиболее урожайных, засухоустойчивых, с высоким качеством зерна, проводится оценка адаптивности селекционных линий озимых зерновых культур селекционных центров юга России для передачи наиболее продуктивных в государственное сортоиспытание для дальнейшего районирования. По такой программе совместно с Аграрным научным центром “Донской” с 2023 г. районировано два сорта озимой мягкой пшеницы — Подарок Крыму и Раздолье, широкое внедрение которых начато в Республике Крым и южных регионах РФ [9]. Изучение новых сортов основных сельскохозяйственных культур позволяет учёным института формировать сортовую политику в регионе и обеспечивать сельхозпредприятия семенами высокопродуктивных для зоны возделывания сортов на 80% от потребности, расширять биоразнообразие полевых севооборотов [10].

Ухудшение ресурсного потенциала почв, выражающееся в снижении плодородия, деградации структуры, эрозии и дегумификации, представляет угрозу для продовольственной и экологической безопасности Крыма. В качестве альтернативы традиционным подходам рассматривается внедрение технологий, основанных на принципах минимальной и даже нулевой обработки почвы, включая прямой посев в необработанную почву [11]. К основным достоинствам технологии относятся: предотвращение деградации почв, снижение темпов дегумификации, защита от ветровой и водной эрозии, уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, снижение потерь почвенной влаги благодаря мульчирующему эффекту растительных остатков [12], улучшение снегозадержания и стабилизация температурного режима почвы, что особенно важно в засушливых регионах Крыма. Кроме того, наличие растительных остатков на поверхности почвы создаёт благоприятные условия для развития полезной почвенной микробиоты и дождевых червей, которые способствуют подавлению патогенной микрофлоры и улучшению структуры почвы [11]. Экосистема при прямом посеве в отличие от традиционной технологии прибижена и адаптирована к природной. Она имеет свои особенности в севооборотах и обусловлена культивируемыми растениями, видовыми различиями почвопокровных культур, архитектурой

корневых систем и отвечает общему процессу восстановления плодородия почв.

Одно из перспективных направлений в сохранении плодородия почв — *биологизация земледелия*, которая предполагает комплексное применение органических удобрений и растительных остатков в качестве средств гумусообразования. В рамках стационарных полевых опытов разрабатываются различные системы земледелия и приёмы биологизации, направленные на улучшение агрохимических и физических свойств почвы, повышение урожайности и улучшение качества сельскохозяйственной продукции. Результаты многолетних исследований, направленных на поиск альтернативных навозу органических удобрений, позволили установить, что сидеральный пар — это базовый элемент севооборотов, обеспечивающий воспроизводство плодородия [13]. Сидерация является фактором биологизации и экологизации земледелия, наряду с обогащением почвы органическим веществом, позволяет решить целый ряд актуальных задач: рационально использовать питательные вещества минеральных удобрений и почвы, улучшать агрофизические свойства почвы, защищать её от эрозии, сохранять окружающую среду, снижать пестицидную нагрузку, оздоравливать агрофитоценозы, сохранять экологическое равновесие в агроландшафтах [14].

Учитывая рекреационный статус Крыма, улучшение экологической ситуации в агроландшафтах и получение экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства стали приоритетными задачами для учёных института. Их решение достигается за счёт внедрения *природоподобных (биологизированных) технологий* [15]. В этих целях ведутся исследования по поиску и выделению штаммов микроорганизмов с комплексом хозяйственно ценных свойств. Фундаментальная основа разработки микробных препаратов — уникальная научная установка “Крымская коллекция микроорганизмов” [16]. Изучение механизмов взаимодействия растений и микроорганизмов способствует повышению продуктивности агроценозов и сохранению плодородия почвы за счёт рационального использования растениями трофических ресурсов, повышения адаптационного потенциала к стрессовым факторам и устойчивости к болезням. Многолетние научные и практические исследования позволили разработать эффективные агроэкотехнологии в растениеводстве и земледелии с применением созданных и разрабатываемых микробных препаратов на основе коллекционных штаммов микроорганизмов.

Учёные института проводят работу по внедрению микробных препаратов и научному сопровождению технологии их применения, которая включает мониторинг численности эколого-трофических групп микроорганизмов, анализ биоразнообразия (микробиома) и биологической активности почвы, листовую диагностику для контроля обеспеченности

растений макро- и микроэлементами. Применение разработанных в институте микробных препаратов обеспечивает получение экологически чистой продукции и повышение урожайности озимой пшеницы на 2.1–7.0 ц/га, сои на 4.0–6.0 ц/га и риса на 2.0–11.8 ц/га. Расчёт прогнозируемой экономической эффективности показывает, что повышение урожайности пшеницы на 10% за счёт применения микробных препаратов может обеспечить около 84.1 млрд руб. чистой прибыли в год (табл. 1).

В лаборатории молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики наряду с изучением генетических технологий в животноводстве проводятся исследования наследственных свойств агрономически полезных микроорганизмов и молекулярная паспортизация сортов растений. За пятилетний период работы лаборатории было получено четыре патента на изобретения, три из которых внедрены в экономический сектор и образовательную деятельность, а также создано 12 молекулярных паспортов для сортов эфиромасличных культур. В условиях реализации государственной политики по генетической паспортизации сортов растений НИИСХ Крыма обладает научным заданием, для того чтобы стать ведущим центром разработки методических основ и практической реализации генетической паспортизации уникальных сортов эфиромасличных растений, культивируемых на территории Российской Федерации.

На протяжении 60 лет, начиная с основания в 1965 г. Всесоюзного научно-исследовательского института эфиромасличных культур (ВНИИЭМК), в Крыму проводятся комплексные исследования эфиромасличных и лекарственных растений. Несмотря на относительно небольшие посевные площади по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами, эфиромасличные и лекарственные растения представляют значительную ценность для ряда отраслей. Основными сферами использования эфиромасличного сырья и продуктов его переработки являются парфюмерно-косметическая, пищевая и ликёро-водочная промышленность [17, 18].

*Эфиромасличное и лекарственное растениеводство* в Крыму характеризуется комплексом взаимосвязанных агробиологических, технологических и организационно-экономических проблем. К агробиологическим проблемам относятся: аридизация климата и дефицит водных ресурсов, ограниченный генофонд сортов, адаптированных к специфическим почвенно-климатическим условиям региона, низкое плодородие почв, усиление вредоносности болезней и вредителей в условиях климатических изменений, нехватка квалифицированных кадров, обладающих знаниями и практическими навыками в области эфиромасличного и лекарственного растениеводства, недостаточное развитие инфраструктуры производства, переработки и сбыта продукции, низкая конкурентоспособность продукции вследствие её высокой себестоимости, нестабильность рынков сбыта.

В НИИСХ Крыма основными направлениями исследований эфиромасличных культур являются биохимический анализ сырья и продуктов его переработки, изучение показателей продуктивности и устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды, а также создание высокопродуктивных сортов (как традиционных, так и перспективных) малораспространённых эфиромасличных растений, представляющих ценность для потребителей. Основой для создания селекционного материала служит коллекция генофонда, формируемая и поддерживаемая на протяжении нескольких десятилетий, зарегистрированная в России как уникальная научная установка (УНУ № 507515). Коллекция поддерживается, постоянно изучается и пополняется. Комплексный анализ образцов по морфологическим параметрам, биохимическим показателям и структурным элементам продуктивности позволяет выделять перспективный исходный материал для последующей селекционной работы [19]. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, зарегистрировано 52 сорта 16 видов эфиромасличных расте-

**Таблица 1.** Прогнозируемая экономическая эффективность применения микробных препаратов

| Сельскохозяйственная культура | Прибавка урожая к контролю от применения микробных препаратов, % | Посевные площади в РФ, 2022 г., млн га | Средняя урожайность за пять лет, т/га | Цена на зерно, 2022 г., тыс. руб./т | Экономический эффект при повышении урожайности зерна на 10%, млрд руб. |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Пшеница озимая                | 7–45                                                             | 29.5                                   | 2.85                                  | 10                                  | 84.1                                                                   |
| Подсолнечник                  | 6–8                                                              | 10.0                                   | 1.48                                  | 20                                  | 29.6                                                                   |
| Соя                           | 9–40                                                             | 3.5                                    | 1.53                                  | 30                                  | 16.1                                                                   |
| Горох                         | 3–15                                                             | 1.6                                    | 1.73                                  | 20                                  | 5.5                                                                    |
| Рис                           | 5–39                                                             | 0.2                                    | 5.69                                  | 50                                  | 5.7                                                                    |

ний селекции НИИСХ Крыма, что составляет более 50% от общего количества сортов этих культур [20].

Для решения задач селекции и сохранения генофонда эфиромасличных растений в институте активно разрабатываются биотехнологические подходы, включающие клеточные технологии создания нового исходного селекционного материала, максимальной мультимпликации ценных сортов и образцов с возможностью их оздоровления, а также поддержания альтернативных коллекций *in vitro*. Для создания новых генотипов, необходимых для выведения высокопродуктивных сортов, используется индукция морфогенеза у изолированных органов и тканей, разработаны методики получения отдалённых гибридов в эмбриокультуре, индукции соматоклональных вариаций в каллусных культурах, а также приёмы клеточной селекции для получения устойчивых к стрессовым факторам форм. С использованием биотехнологических методов из каллусных тканей впервые в селекции шалфея мускатного был создан сорт Селинж, превышающий контрольный сорт по сбору эфирного масла на 44%. Разработанные методы клонального микроразмножения *in vitro* внедрены в производство для ускоренного размножения ценных селекционных образцов и сортов и получения качественного оздоровлённого посадочного материала лаванды, розы эфиромасличной и других эфиромасличных и лекарственных растений, культивируемых в Крыму. За последние пять лет с помощью методов клеточной инженерии получено более 2,5 тыс. регенерантов ароматических растений, которые используются для закладки маточников и селекционных питомников исходного материала.

С целью получения целевых биологически активных соединений для применения в парфюмерно-косметической, пищевой промышленности, фармацевтике, медицине и ветеринарии НИИСХ Крыма ведёт исследования по изучению метаболитных характеристик перспективного эфиромасличного, лекарственного и масличного сырья, а также его технологических особенностей [21]. Для анализа качества эфиромасличного и масличного сырья, а также продуктов его переработки разработаны и успешно применяются в научных исследованиях и практической деятельности методики комплексной оценки [22]. В институте разработаны рецептуры и производится более 50 наименований инновационной продукции переработки эфиромасличного и масличного сырья: эфирные масла, гидролаты, фитосоли, парфюмерные спреи, косметические кремы на основе гидролатов эфиромасличных растений, скрабы, фиточаи, растительные масла, смеси растительных масел, салатные масла с экстрактами эфиромасличных растений.

Одна из приоритетных государственных задач — повышение уровня обеспеченности населения овощной продукцией, что требует совершенствова-

ния селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур [23]. В НИИСХ Крыма селекционная работа с овощными и бахчевыми культурами направлена на выявление новых полезных свойств и хозяйственно ценных признаков в различных генотипах, а также на создание высокопродуктивных сортов для открытого грунта, адаптированных к местным условиям и предназначенных для потребления в свежем виде и переработки. В Государственный реестр селекционных достижений включено 15 сортов овощных и бахчевых культур селекции НИИСХ Крыма.

Чтобы расширить ассортимент растений, содержащих биологически активные вещества и микроэлементы, необходимо искать новые генотипы малораспространённых овощных культур с перспективой их широкого применения в производстве ценных видов пищевых и лекарственных продуктов. Примером реализации полного цикла от фундаментальных исследований до внедрения стала научная работа по культуре *Nigella* [24, 25]. В институте выведены два сорта — нигелла посевная Крымчанка и нигелла дамасская Ялита, характеризующиеся высоким выходом жирного масла и биологической активностью, обусловленной уникальным составом ненасыщенных жирных кислот. Разработана технология возделывания и переработки культуры, на продукцию, получаемую из нигеллы, создан и запатентован товарный знак.

В условиях дефицита водных ресурсов приоритетной задачей является обеспечение устойчивого развития *орошаемого земледелия*. В сложившейся ситуации необходимо ориентироваться на использование локальных поверхностных и подземных источников водоснабжения, включая реки, водохранилища, пруды, скважины, а также на внедрение водо- и энергосберегающих технологий полива. В Республике Крым доминирующий способ орошения — капельный, который в настоящее время применяется на 50–67% орошаемых площадей. Основные культуры, выращиваемые с применением капельного орошения, — многолетние насаждения, в частности, плодовые сады (семечковые и косточковые культуры) и виноградники (технические и столовые сорта). В 2024 г. площади под садами увеличились до 5917 га (на 43%), а под виноградниками — до 4942 га (на 36%).

Широкое внедрение капельного орошения сельскохозяйственных культур обеспечивает рациональное использование поливной воды, возможность внесения удобрений, растворимых пестицидов и гербицидов с поливной водой, выращивание высокопродуктивных многолетних и однолетних культур, а также повышение урожайности в 1,5–3 раза по сравнению с традиционными способами орошения. Вместе с тем, учитывая расширение практики использования для орошения слабо- и среднеминерализованных подземных вод, а также условно пригодных и биологически очищенных сточных

вод, необходимо усилить мониторинг экологического состояния орошаемых территорий.

Для этого могут быть задействованы наработки, полученные в рамках Соглашения о сотрудничестве между Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) и НИИСХ Крыма, нацеленные на практическое внедрение передовых отечественных технологий обработки спутниковых данных в информационное обеспечение АПК. Результатами сотрудничества стали создание уточнённых векторных границ земель сельскохозяйственного назначения Республики Крым, совершенствование методологии выделения неиспользуемых земель, паровых полей и полей, занятых озимыми и яровыми культурами (сервис ВЕГА-PRO) [26, 27].

Работа по научному обеспечению растениеводства ведётся также на территории Херсонской и Запорожской областей. В условиях богарного земледелия сельхозпроизводители новых территорий внедряют разработки крымских учёных по водосбережению, приобретают семена элиты рекомендованных для богарных условий сортов озимых зерновых и яровых культур, пользуются услугами учёных-агрохимиков по агрохимическому анализу почвы и разработке агрохимических паспортов сельскохозяйственных земель.

Для продвижения отечественного продукта в сельскохозяйственное производство необходимо использовать различные меры поддержки, которые должны стимулировать российского производителя. Одним из факторов, способствующих увеличению доли отечественного продукта, может быть внесение изменений в законодательные акты, правила регистрации и экспертизы для удешевления государственной регистрации пород животных, сортов растений и микробиологических препаратов. Развитие производства органической продукции чрезвычайно важно как с точки зрения реализации Доктрины продовольственной безопасности и эффективного развития основных сельскохозяйственных отраслей, так и в формировании стратегии научно-технологической независимости нашей страны.

\* \* \*

Стратегические решения в области технологической модернизации агропромышленного комплекса Крыма должны соответствовать уникальным климатическим и географическим условиям региона. Акцент на точное земледелие может существенно повысить эффективность использования ресурсов за счёт оптимизации водопотребления, улучшения здоровья почвы, увеличения урожайности зерновых, зернобобовых, технических, эфиромасличных и лекарственных культур. Такие технологии следует использовать для создания адаптивных стратегий, направленных на решение различных сельскохозяйственных задач. Создание технологических инкубаторов и инновационных центров может сыграть

решающую роль в поддержке стартапов и формировании среды, благоприятной для развития технологичных агротехнических решений.

НИИСХ Крыма, обладающий значительным научно-исследовательским потенциалом и развитыми научными школами, может стать передовым центром, интегрирующим усилия академических учреждений, производственных предприятий и органов государственного управления в целях комплексного развития АПК региона. В качестве ключевых направлений деятельности института целесообразно выделить:

- аккумуляцию и адаптацию передового мирового опыта в области сельского хозяйства, включая разработку и внедрение технологий точного земледелия, ресурсосберегающих агротехнологий, биопрепаратов и других инновационных решений;
- разработку и апробацию новых сортов и гибридов, адаптированных к специфическим климатическим и почвенным условиям Крыма, обладающих высокой урожайностью, устойчивостью к болезням и вредителям, а также улучшенными потребительскими качествами;
- организацию образовательных программ и тренингов для фермеров и специалистов АПК с целью повышения их квалификации и освоения современных агротехнологий;
- содействие внедрению цифровых технологий в сельское хозяйство, включая создание платформ для обмена информацией, автоматизацию управления и мониторинга сельскохозяйственных процессов;
- содействие переходу к устойчивым агротехнологиям, обеспечивающим сохранение почвенного плодородия, рациональное использование водных ресурсов и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 100 лет служения аграрной науке Крыма: Монография // Под ред. В.С. Паштецкого. Симферополь: Ариал, 2024. С. 312–357.  
100 Years of Service to Agrarian Science of Crimea: Monograph // Ed. by V.S. Pashtetsky. Simferopol: Arial, 2024. P. 312–357. (In Russ.)
2. Водные ресурсы — основа устойчивого развития Крыма: Коллективная монография // Под ред. В.С. Паштецкого. Симферополь: Ариал, 2022.  
Water Resources are the Basis of Sustainable Development of Crimea: a collective monograph // Ed. by V.S. Pashtetsky. Simferopol: Arial, 2022. (In Russ.)
3. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное

- хозяйство) // Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 3. М.: Издательство МБА, 2021.
- National Report 'Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention measures, control, consequences elimination and adaptation measures (agriculture and forestry)' // Ed. by R.S.-H. Edelgeriev. Vol. 3. Moscow: MBA Publishing House, 2021. (In Russ.)
4. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20. [https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/15/Doktrina\\_prodovalstvennoy\\_bezopasnosti.pdf](https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/15/Doktrina_prodovalstvennoy_bezopasnosti.pdf)  
Food Security Doctrine for the Russian Federation. Approved by the Presidential Decree No. 20 dated January 21, 2020. [https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/15/Doktrina\\_prodovalstvennoy\\_bezopasnosti.pdf](https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/15/Doktrina_prodovalstvennoy_bezopasnosti.pdf) (In Russ.)
  5. Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма: коллективная монография // Под ред. В.С. Паштецкого. Симферополь: Ариал, 2019.  
<https://doi.org/33952/978-5-907162-56-3>  
Problems and Prospects of Innovative Development of Rural Areas of Crimea: a collective monograph // Ed. by V.S. Pashtetsky. Simferopol: Arial, 2019. (In Russ.)
  6. Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю. Состояние животноводства в 2023 г. [https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/cx%20ИАМ%20жив%202023\(1\).pdf](https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/cx%20ИАМ%20жив%202023(1).pdf)  
Department of the Federal State Statistics Service for the Republic of Crimea and Sevastopol. State of livestock breeding in 2023. [https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/cx%20ИАМ%20жив%202023\(1\).pdf](https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/cx%20ИАМ%20жив%202023(1).pdf) (In Russ.)
  7. Остапчук П.С., Шадрин Н.В., Празукин А.В. и др. Влияние добавок зеленой нитчатой водоросли *Cladophora* в рацион молодняка кроликов на их рост и развитие // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25. № 1. С. 61–73. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-61-73>  
*Ostapchuk P.S., Shadrin N., Prazukin A.V. et al.* Effects of the *Cladophora* green filamentous algae supplements in the young rabbits' diet on their growth and development // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025, vol. 25, no. 1, pp. 61–73. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-61-73>. EDN OPBMXH. (In Russ.)
  8. Шадрин Н.В., Остапчук П.С., Куведва Т.А. и др. Влияние добавок нитчатой зелёной водоросли *Cladophora* в рацион кроликов на показатели крови // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 6. С. 1137–1146. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146>  
*Shadrin N.V., Ostapchuk P.S., Kuevda T.A. et al.* The effect of adding filamentous green algae *Cladophora* to the diet of rabbits on their blood parameters // *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*. 2024, vol. 25, no. 6, pp. 1137–1146. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146> (In Russ.)
  9. Патент на селекционное достижение № 12876. Пшеница мягкая озимая Раздолье // Авторы: Алабушев А.В., Гричаникова Т.А., Дёрова Т.Г. Патентообладатель: Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Аграрный научный Центр Донской. Заявка от 05.09.2019.  
Patent for breeding achievement No. 12876. Soft winter wheat 'Razdolye' // Authors: Alabushev A.V., Grichanikova T.A., Dyorova T.G.V. Patent holder: Research Institute of Agriculture of Crimea, Agricultural research center "Donskoy". Date of publication: 05.09.2019. (In Russ.)
  10. Турина Е.Л., Дидович С.В., Соболевский И.В. и др. Рыжик масличный (*Camelina* sp.) в Крыму. Симферополь: Ариал, 2022.  
*Turina E.L., Didovich S.V., Sobolevskiy I.V. et al.* *Camelina* sp. in the Crimea. Simferopol: Arial, 2022. (In Russ.)
  11. Паштецкий В.С., Радченко Л.А., Турин Е.Н. и др. Результаты применения комплексного микробиологического препарата на горохе посевном при прямом посеве (no-till) в Крыму // Плодородие. 2020. № 6(117). С. 69–72. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.117.20>  
*Pashtetsky V.S., Radchenko L.A., Turin E.N., Zhenchenko K.G. et al.* Results of complex microbial preparation application on *Pisum sativum* L. under no-till in the Crimea // *Plodorodie*. 2020, no. 6(117), pp. 69–72. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.117.20> (In Russ.)
  12. Гонгало А.А., Турин Е.Н., Женченко К.Г. и др. Изучение возделывания ячменя озимого по технологии прямого посева в сравнении с традиционной системой в Крыму // Плодородие. 2023. № 6. С. 69–72. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.135.17>  
*Gongalo A.A., Turin E.N., Zhenchenko K.G. et al.* Comparison of direct sowing and traditional farming system in the context of *Hordeum vulgare* L. cultivation under conditions of the Crimean Peninsula // *Plodorodie*. 2023, no. 6, pp. 69–72. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.135.17>. (In Russ.)
  13. Патент РФ № 2828862 "Способ использования сидерального пара в трёхпольном зернопаровом севообороте в засушливых районах степного Крыма" // Авторы: Приходько А.В., Черкашина А.В., Караева Н.В. Патентообладатель: Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма. Бюлл. № 30. 21.10.2024.  
Patent RF No. 2828862 Method of using green manure fallow in three-field grain-fallow crop rotation in arid regions of steppe Crimea // Authors: Prikhodko A.V., Cherkashina A.V., Karaeva N.V. Patent holder: Research Institute of Agriculture of Crimea. Bull. no. 30. Date of publication: 21.10.2024. (In Russ.)

14. Лошаков В.Г. Зелёное удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия // Плодородие. 2018. № 2. С. 26–29.  
*Loshakov V.G.* Green manure as a factor of soil fertility improving, biologization and ecologization of agriculture // *Plodorodie*. 2018, no. 2, pp. 26–29. (In Russ.)
15. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 5. С. 821–831.  
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.821rus>  
*Provorov N.A., Tikhonovich I.A.* Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agroecosystems (review) // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2022, vol. 57, no. 5, pp. 821–831. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.821rus> (In Russ.)
16. Мельничук Т.Н., Шерстобоев Н.К., Якубовская А.И. и др. Ассоциативные микроорганизмы растений: выделение штаммов и их изучение: Монография. Симферополь: Ариал, 2021.  
*Melnichuk T.N., Sherstoboev N.K., Yakubovskaya A.I. et al.* Associative microorganisms of plants: isolation of strains and their study: Monograph. Simferopol: Arial, 2021. (In Russ.)
17. Pandey V.K., Tripathi A., Srivastava S. et al. Exploiting the bioactive properties of essential oils and their potential applications in food industry // *Food Science and Biotechnology*. 2023, v. 32, pp. 885–902. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01287-0>
18. Ostrenko K.S., Ovcharova A.N., Nevkrytaya N.V. et al. Biochemical status of preweaning calves when using an emulsion based on coriander and fennel essential oils // *BIO Web of Conferences*, 2024, vol. 139, pp. 11007–11013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413911007-5-10>
19. Невкрытая Н.В., Кривчик Н.С., Кривда С.И. и др. Коллекция генфонда шалфея мускатного *Salvia sclarea* L. // Специализированные коллекции эфиромасличных культур ФГБУН “НИИСХ Крыма” роза эфиромасличная *Rosa* L. шалфей мускатный *Salvia sclarea* L. Методические рекомендации по селекции и семеноводству (питомниководству) розы эфиромасличной и шалфея мускатного. Симферополь: Ариал, 2024. С. 78–118.  
*Nevkrytaya N.V., Krivchik N.S., Krivda S.I. et al.* Collection of gene pool of *Salvia sclarea* L. // In book: Specialised collections of essential oilseed crops of the Research Institute of Agriculture of Crimea: *Rosa* L., *Salvia sclarea* L. Methodical recommendations on breeding and seed production (nursery farming) of *Rosa* L. and *Salvia sclarea* L. Simferopol: Arial, 2024. P. 78–118. (In Russ.)
20. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (по состоянию на 31 мая 2024 г.). <https://gossortrf.ru/registry/?ysclid=lumjifvxsp94143317>  
State register for selection achievements admitted for usage. Vol. 1. Plant varieties (as of 31.05.2024). <https://gossortrf.ru/registry/?ysclid=lumjifvxsp94143317> (In Russ.)
21. Пехова О.А., Тимашева Л.А., Данилова И.Л. и др. Исследование накопления биологически активных веществ в растениях двух хемотипов *Thymus vulgaris* L., выращиваемых в предгорной зоне Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 167–180.  
*Pekhova O.A., Timasheva L.A., Danilova I.L. et al.* Accumulation of biologically active substances in plants of two *Thymus vulgaris* L. chemotypes grown in the foothill zone of Crimea // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022, no. 4(32), pp. 167–180. (In Russ.)
22. Пехова О.А., Тимашева Л.А., Данилова И.Л. и др. Study of the quality of seed processing products of two species of *Nigella* (*Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L.) grown in the Crimea // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Collection of materials of the 15th International Scientific Conference. Global Precision Ag Innovation 2022. Rostov-on-Don, 2023. Pp. 1888–1898. <https://www.springerprofessional.de/en/study-of-the-quality-of-seed-processing-products-of-two-species-/24065548>
23. Пивоваров В.Ф., Солдатенко А.В., Пышная О.Н. и др. Овощеводство – одно из приоритетных направлений сельскохозяйственного производства // Овощи России. 2020. № 1. С. 3–15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-1-3-151>  
*Pivovarov V.F., Soldatenko A.V., Pyshnaya O.N. et al.* Vegetable growing is one of the priority directions of agricultural production // *Vegetable crops of Russia*. 2020, no. 1, pp. 3–15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-1-3-15> (In Russ.)
24. Nemtinov V.I., Kostanchuk Yu.N., Motyleva S.M. et al. Morphometric and biochemical assessment of *Nigella* L. genotypes of European-Asian origin // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2022, vol. 54, no. 3, pp. 659–670. <https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.18>
25. Сейтаджиева С.Б., Костанчук Ю.Н., Немтинов В.И. и др. Анализ генетического полиморфизма и генетическая паспортизация образцов нигеллы (*Nigella* L.) селекции ФГБУН “НИИСХ Крыма” с применением межмикросателлитных маркеров // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 3(39). С. 169–179. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13788799>  
*Seitadzhieva S.B., Kostanchuk Yu.N., Nemtinov V.I. et al.* Analysis of genetic polymorphism of *Nigella* L. samples bred in the Research Institute of Agriculture

- of Crimea and their genetic passportization using ISSR markers // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024, no. 3(39), pp. 169–179. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13788799> (In Russ.)
26. Трошко К.А., Денисов П.В., Дунаева Е.А. и др. Развитие сельскохозяйственных культур в России в 2024 году на основе данных дистанционного мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2024. Т. 21. № 4. С. 308–315.
- Troshko K.A., Denisov P.V., Dunaieva Ie.A. et al.* Development of agricultural crops in Russia in 2024 based on remote sensing data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2024, vol. 21, no. 4, pp. 308–315. (In Russ.)
27. Ostapchuk P.S., Pashtetsky V.S., Usmanova E.N. et al. Environment and sheep wool quality indicators // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volgograd, 2022. Art. No. 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/965/1/012028>

## SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE CRIMEAN AGROINDUSTRIAL COMPLEX

V.S. Pashtetsky<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>*Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: pvs98a@gmail.com*

The century-long history of the largest agricultural scientific center of Crimea – the Research Institute of Agriculture of Crimea is associated with solving the main problems of the agro-industrial complex of the region: climate aridity, reduction of irrigated areas and biodiversity, including due to the simplification of the crop rotation structure, decrease in soil fertility and deterioration of the environmental situation, decrease in the number of farm animals and a decrease in their productivity, a decline in the technical level of agricultural enterprises. The Institute makes a significant contribution to solving these problems. New varieties of grain, vegetable, essential oil crops that are resistant to biotic and abiotic factors are being created, moisture-saving technologies and farming systems are being developed that allow maintaining soil fertility and improving the state of agroecosystems, new microbial preparations, feed additives based on essential oil raw materials, cosmetics and food products are being proposed, new technical means for soil cultivation are being designed and created.

**Keywords:** crop production, animal husbandry, agricultural microbiology, essential oil industry, water resources, farming systems, biopreparations, technological innovations, sustainable development.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

## ЗАДАЧИ НАУЧНОГО И КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕТЕРИНАРИИ

© 2025 г. Ф.И. Василевич<sup>а\*</sup>, С.В. Позябин<sup>а\*\*</sup>, А.А. Дельцов<sup>а\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

\*E-mail: f-vasilevich@inbox.ru

\*\*E-mail: rector@mgavm.ru

\*\*\*E-mail: deltsov-81@mail.ru

Поступила в редакцию 13.02.2025 г.

После доработки 20.03.2025 г.

Принята к публикации 28.04.2025 г.

Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации и развитие агропромышленного комплекса тесно связаны с ветеринарной наукой. В сложившихся условиях необходимо сосредоточиться на создании отечественных лекарственных препаратов, вакцин, тест-систем и кормовых добавок для животноводства. Помимо технологической и научной базы, для этого нужны высококвалифицированные научные кадры, которые готовят в ведущих вузах страны совместно со специализированными предприятиями и лабораториями.

**Ключевые слова:** ветеринария, препараты, вакцины, тест-системы, современные разработки, ветеринарное образование, базовые кафедры.

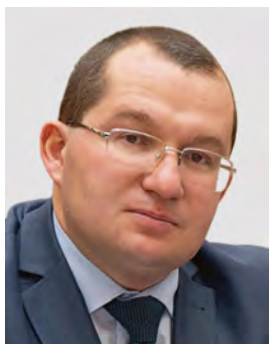
**DOI:** 10.31857/S0869587325060111, **EDN:** FBNOCV

Перед современной российской ветеринарией стоят масштабные задачи по научному обеспечению биологической безопасности животноводства. Вызовы последних лет дали импульс к разработке и внедрению отечественных диагностических систем, вакцин и ветеринарных препаратов для отрасли. Это было бы невозможно без фундаментальных исследований, которые ведут члены Секции зоотехнии и ветеринарии РАН. Важно расширять материально-техническую базу институтов и активно готовить научные кадры [1, 2].

Особые меры поддержки ветеринарии закреплены в национальных проектах “Технологическое обеспе-

чение продовольственной безопасности” и “Наука и университеты”, а также в программах Минобрнауки и Минсельхоза России. В перечень важных задач в области планирования научных работ входят:

- переориентация фундаментальных научных исследований на достижение технологического суверенитета в области ветеринарии;
- разработка диагностических систем, мер профилактики и лечения особо опасных, экономически и социально значимых инфекционных и паразитарных заболеваний животных;
- проведение прикладных исследований по запросам предприятий АПК;



ВАСИЛЕВИЧ Фёдор Иванович — академик РАН, заведующий кафедрой паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы МГАВМиБ — МВА им. К.И. Скрябина. ПОЗЯБИН Сергей Владимирович — доктор ветеринарных наук, ректор МГАВМиБ — МВА им. К.И. Скрябина. ДЕЛЬЦОВ Александр Александрович — доктор ветеринарных наук, проректор по науке и инновациям МГАВМиБ — МВА им. К.И. Скрябина.

- совершенствование приборно-инструментальной базы и обеспечение доступа молодых учёных к современному научному оборудованию.

В области подготовки научных кадров необходимы:

- диверсификация образовательных программ с внедрением профилей для подготовки специалистов под конкретные научные и практические задачи;
- реализация научно-исследовательской работы студентов и аспирантов совместно с Российской академией наук и ведущими научными центрами;
- увеличение количества аспирантов и студентов, занимающихся приоритетными направлениями ветеринарии;
- создание базовых кафедр вузов в научно-исследовательских институтах, федеральных научных центрах и на предприятиях реального сектора экономики.

За последнее время изменились подходы к ветеринарному образованию, появились новые образовательные программы, в том числе в рамках интернатуры. Согласно постановлению Правительства РФ от 21.06.2023 г. № 1013, с 1 сентября 2024 г. по 31 августа 2030 г. проводится эксперимент по разработке и реализации программ интернатуры по специальностям в области ветеринарии. В нём участвуют Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина (МВА им. К.И. Скрябина) и Донской государственный технический университет. Планируется разработать 33 новые образовательные программы, которые отвечают современным потребностям рынка труда. Обучение проходит в течение двух лет со сдачей государственного экзамена, при этом более 70% времени отводится на практическую подготовку и освоение специализации в области ветеринарии сельскохозяй-

**Таблица 1.** Базовые кафедры в научных институтах как основа получения компетенций студентами аграрных вузов

| Образовательная организация                                                | Название кафедры                                        | Организация, на базе которой создана кафедра                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева | Современные технологии в птицеводстве                   | Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства                                     |
|                                                                            | Биотехнология                                           | ФКП “Щёлковский биокомбинат”                                                                                       |
| Новосибирский государственный аграрный университет                         | Инфекционных и инвазионных болезней                     | Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН                                                          |
|                                                                            | Ветеринарной биотехнологии                              | ФКП “Щёлковский биокомбинат”                                                                                       |
| Ставропольский государственный аграрный университет                        | Эпизоотологии и микробиологии                           | ФКП “Ставропольская биофабрика”                                                                                    |
|                                                                            | Частной зоотехнии, селекции и разведения животных       | Всероссийский НИИ овцеводства и козоводства                                                                        |
| Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины      | Микробиологии, вирусологии и иммунологии                | Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства                                          |
| Ульяновский государственный аграрный университет                           | Микробиология, биотехнология и молекулярная диагностика | Мелекесский центр ветеринарии и безопасности продовольствия им. С.Г. Дырченкова                                    |
|                                                                            | Биологическая безопасность объектов ветнадзора          | Новоспаский центр ветеринарии и безопасности продовольствия                                                        |
| Белгородский государственный аграрный университет                          | Селекции и биотехнологий в сельском хозяйстве           | Белгородский федеральный аграрный научный центр РАН                                                                |
| Санкт-Петербургский государственный аграрный университет                   | Генетические технологии в животноводстве                | ВНИИ генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства им. Л.К. Эрнста |
|                                                                            | Биотехнология кормов                                    | ООО “БИОТРОФ”                                                                                                      |
|                                                                            | Ветеринарные технологии в птицеводстве                  | Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства                                          |

ственных животных, фармации, диагностики, хирургии и других направлений. В 2024 г. по программам ветеринарной интернатуры двух упомянутых вузов зачислено 106 интернов, всего же планируется обучить более 450 специалистов [3].

Получить полноценные знания исключительно в стенах вузов невозможно. Для решения этой проблемы была создана сеть базовых кафедр в научных и образовательных организациях, где студенты осваивают технологии и методики в действующих научных лабораториях и на современном производстве, получая бесценный опыт (табл. 1). В аграрных вузах организовано 27 базовых кафедр, на которых в настоящее время обучаются более 500 студентов и аспирантов, уже подготовлено более 20 диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук.

В МВА им. К.И. Скрябина успешно функционируют шесть базовых кафедр по ветеринарии, ветеринарной биотехнологии и технологиям животноводства (табл. 2). Реализацию программ контролируют руководители и сотрудники научных центров — члены Секции зоотехнии и ветеринарии Отделения сельскохозяйственных наук РАН. Такой подход к подготовке будущих исследователей и научных работников гарантирует решение кадровых вопросов, с которыми столкнулись научные институты.

Трансформация высшего образования повлекла за собой значительные изменения в структуре образовательных программ МВА им. К.И. Скрябина. С 2026 г. вводится магистратура по направлению “Ветеринария и зоотехния”, а также будет выделено отдельное направление “Селекция и генетика сельскохозяйственных животных”.

Для обеспечения ветеринарного благополучия животноводства российской ветеринарной науке предстоит решить ряд проблемных вопросов. *В области диагностики болезней животных:* совершенствовать инструментальные методы молекулярной диагностики для выявления инфекционного агента в биологических образцах с использованием микрочипов с целью проведения исследований непосредственно в хозяйствах; разработать и внедрить новое направление в диагностике болезней животных — компьютерный анализ их поведения, который позволит своевременно выявлять инфицированных особей до распространения инфекции.

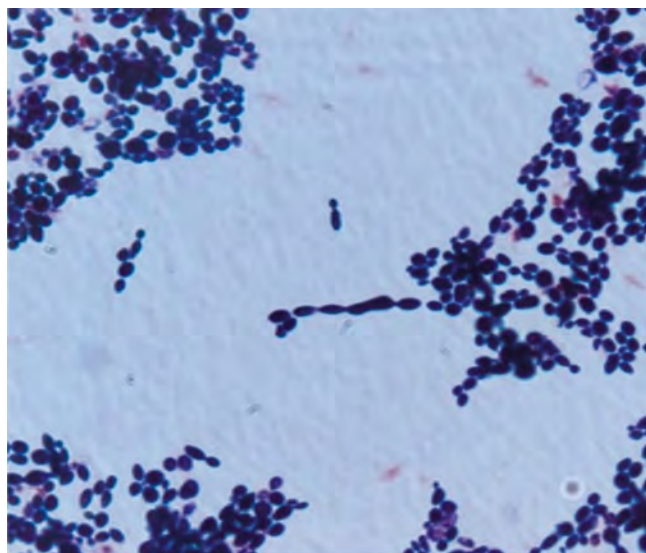
*В области специфической профилактики инфекционных болезней:* при разработке классических вакцин следует обратиться к синтетической биологии и иному редактированию методом CRISPR-CAS-9, что позволит получить безвозвратно аттенуированные, маркированные, высокопродуктивные в производстве вакцинные штаммы возбудителей болезней животных; усилить научные разработки в области генно-инженерных рекомбинантных, векторных ДНК и РНК вакцин, что позволит решить проблему импортозамещения.

*В области терапии инфекционных болезней животных:* создать этиотропные лечебно-профилактические препараты, подобные осельтамивиру (этиотропный препарат против гриппа А). Эти вещества могут служить лигандами для важных вирусных и бактериальных компонентов, препятствующих репродукции вирусов и бактерий.

Рассмотрим новейшие достижения научно-исследовательских институтов и вузов. Учёным ВНИИ

Таблица 2. Базовые кафедры МВА им. К.И. Скрябина в научных организациях и предприятиях АПК

| Направление                 | Название кафедры                                                                                          | Организация, на базе которой создана кафедра                                                                           |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ветеринария и биотехнология | Биотехнологии                                                                                             | ФКП “Щёлковский биокомбинат”, Всероссийский научный технологический институт биологической промышленности              |
|                             | Биологической безопасности объектов ветеринарного надзора и обращения лекарственных средств в ветеринарии | Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов              |
|                             | Инновационной ветеринарной медицины мелких домашних животных                                              | Лечебно-диагностический центр МВА им. К.И. Скрябина                                                                    |
| Технологии животноводства   | Передовых технологий в птицеводстве                                                                       | Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Селекционно-генетический центр “Смена” |
|                             | Генетических технологий в животноводстве                                                                  | Федеральный исследовательский центр животноводства им. Л.К. Эрнста                                                     |
|                             | Менеджмент качества продукции и управления рисками в АПК                                                  | ПАО “Группа Черкизово”                                                                                                 |



**Рис. 1.** Референтный штамм дрожжевого гриба *Candida duobushaemulonii*

экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко удалось впервые выделить на территории России и изучить референтный штамм<sup>1</sup> дрожжевого гриба *Candida duobushaemulonii* — эмерджентный патоген<sup>2</sup> человека, возбудитель инвазивных кандидозов, проявляющий множественную лекарственную устойчивость к противогрибковым препаратам (рис. 1).

Разработана тест-система (ВНИИ экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко) для выявления парвовируса гусей методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (рис. 2), которая позволяет специфически амплифицировать (многократно копировать) фрагмент генома парвовируса.

В Федеральном исследовательском центре вирусологии и микробиологии адаптирован и культивирован штамм Gil-Gil вируса блютанга (двуспиральный РНК-вирус, окружённый прочной оболочкой) в перевиваемых клеточных линиях ВНК-21/13, ПСГК-60, ПС и Vero. Для подтверждения принадлежности этого штамма к третьему серотипу его изучали с помощью молекулярно-генетических и серологических (реакция нейтрализации) методов (рис. 3).

В рамках производственного заказа в МВА им. К.И. Скрябина ведётся разработка диагно-

<sup>1</sup> Референтный штамм (референс-штамм, эталонный штамм) — микроорганизм, определённый как минимум до рода и вида, включённый в государственный каталог и описанный в соответствии с его характеристиками. Такие штаммы предлагаются в качестве сравнительного образца для таксономических, диагностических или иных исследований.

<sup>2</sup> Эмерджентный патоген — это возбудитель или болезнь, возникающие внезапно и создающие напряжённую ситуацию.



**Рис. 2.** Тест-система для выявления парвовируса гусей

стикумов и тест-систем для определения опасных и экономически значимых болезней животных. Предложены:

- тест-система для выявления и типирования РНК-вируса инфекционной бурсальной болезни методом полимеразной цепной реакции;
- тест-система для выявления РНК-вируса гриппа А и идентификации субтипов H5, H7 и H9 гриппа А в биологическом материале;
- набор реагентов для выявления РНК-вируса болезни Ньюкасла и типирования его велогенных, мезогенных и лентогенных штаммов<sup>3</sup>;
- набор для выявления ДНК *Salmonella* spp.

Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт УрО РАН изучает вариабельность возбудителя лейкоза крупного рогатого скота. Установлена замена генотипа возбудителя на более злокачественный тип на 80% сельхозпредприятий. В связи с этим разработана специфичная ПЦР-тест-система для выявления скрытых носителей возбудителя лейкоза, сконструированная на основе отечественных компонентов. Кроме того, усовершенствована система противолейкозных мероприятий. За 2022–2024 гг. предотвращённый экономический ущерб в регионе составил 221.5 млн руб.

В научно-внедренческом центре «Агроветзащита» проводятся исследования в области ветеринарной фармации, отвечающие потребностям животноводства: научное обоснование, совершенствование и апробация антигельминтиков; создание, изучение и внедрение в практику кормовых

<sup>3</sup> Велогенные штаммы вызывают тяжёлое течение кишечной и нервной форм болезни; мезогенные — респираторные и неврологические симптомы, снижение яйценоскости и качества яиц; лентогенные — более лёгкие респираторные симптомы, особенно у молодых птиц.

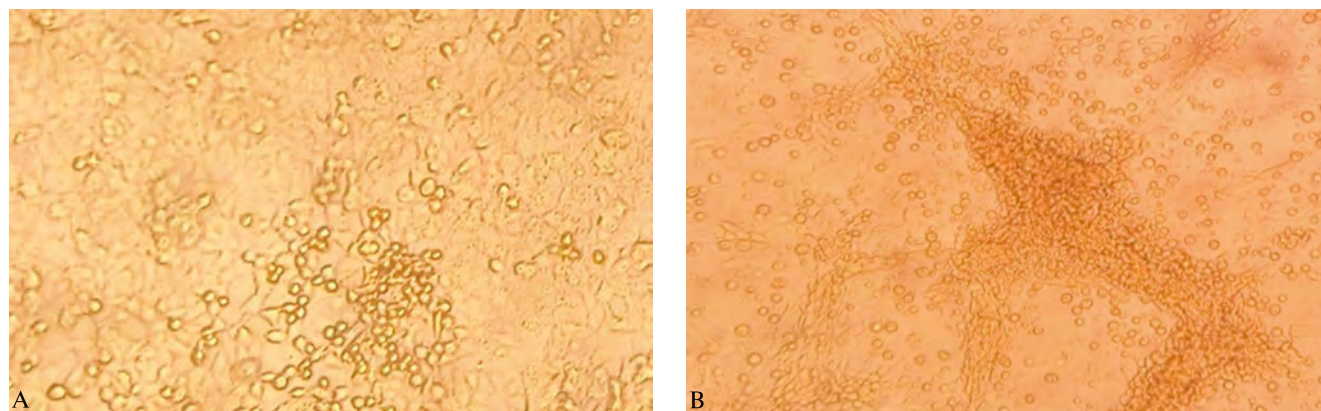


Рис. 3. Цитопатическое действие<sup>4</sup> штамма Gil-Gil вируса блютанга в культурах клеток ВНК-21/13 (а) и ПСГК-60 (б)



Рис. 4. Лекарственные ветеринарные препараты НВЦ “Агроветзащита”

добавок, повышающих продуктивность и резистентность животных, лекарственных средств для борьбы с болезнями продуктивных животных, птиц, рыб и рептилий; обеспечение биобезопасности населения, производство санитарно-гигиенических средств. За 2024 г. центр зарегистрировал 12 новых лекарственных препаратов для ветеринарного применения: офтальмологические, желудочно-кишечные, инсектоакарицидные средства, миотропные спазмолитики, антибактериальные

препараты, противопаразитарные средства класса макроциклических лактонов и др. (рис. 4).

Сотрудники Всероссийского научно-исследовательского и технологического института биологической промышленности разработали коммерческие тест-системы: на основе ПЦР-РВ для выявления *C. Estertheticum*; на основе иммуноферментного

<sup>4</sup> Цитопатическое действие — дегенеративные изменения в клеточных культурах, связанные с размножением вирусов.



Рис. 5. Вакцины, произведённые ООО «Ветбиохим»

анализа (ИФА) для выявления антител к вирусу бешенства при оценке оральной вакцинации диких плотоядных; на основе ИФА для выявления антител к парвовирусу свиней; для детекции парвовируса свиней методом ПЦР. В институте также получены новые лечебно-профилактические добавки к кормам для рыбоводства и пчеловодства.

ООО «Ветбиохим» занимается разработкой и производством высококачественных безопасных лекарственных препаратов, обеспечивающих защиту человека и животных от болезней и поддержание благополучной эпизоотической обстановки в России. В настоящее время компания выпускает 43 вакцины (рис. 5).

В научно-исследовательском консультационно-диагностическом центре по птицеводству на базе кафедры эпизоотологии им. В.П. Урбана (Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины) разработана рекомбинантная вакцина против высокопатогенного гриппа птиц. Это позволило сформировать кольцевые защитные зоны вокруг промышленных птицеводческих предприятий и обезопасить птиц от инфицирования и гибели в условиях напряжённой эпизоотической ситуации по высокопатогенному гриппу подтипа А/Н5.

\* \* \*

Развитие ветеринарного образования в России должно быть направлено на получение студентами и аспирантами практических научных компетен-

ций, позволяющих выпускникам работать как в научных организациях, так и на предприятиях АПК. Перспективным является развитие ветеринарной интернатуры, в первую очередь по самым востребованным специализациям: биофармацевтика, репродукция животных, эпизоотология, аквакультура и ихтиопатология. Подготовка кадров должна осуществляться совместно с работодателями, для чего необходимо создавать базовые кафедры в научно-исследовательских институтах и на предприятиях, привлекать к образовательному процессу учёных и практиков, разрабатывать и реализовывать сетевые образовательные программы для подготовки специалистов с целью решения наиболее актуальных задач развития ветеринарии и животноводства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Позябин С.В., Сидорчук А.А., Коба И.С., Пчельников А.В. Кафедра эпизоотологии и организации ветеринарного дела — к 100-летию создания // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2022. № 10. С. 6–12.  
*Posyabin S.V., Sidorchuk A.A., Koba I.S., Pchel-nikov A.V. Department of Epizootology and Organization of Veterinary Affairs — to the 100th anniversary of its creation // Veterinary, animal science, and biotechnology. 2022, no. 10, pp. 6–12. (In Russ.)*

2. Садовская Т.А., Блохин Ю.И., Соколова О.А. К 100-летию со дня рождения профессора А.Г. Малахова // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2024. № 6. С. 6–12.  
*Sadovskaya T.A., Blokhin Yu.I., Sokolova O.A.* On the 100th anniversary of the birth of Professor A.G. Malakhov // Veterinary, animal science, and biotechnology. 2024, no. 6, pp. 6–12. (In Russ.)
3. Позябин С.В. Образование – единство науки и практики: 105-летие Московской ветеринарной академии // Птицеводство. 2024. № 12. С. 6–12.  
*Posyabin S.V.* Education – the unity of science and practice: the 105th anniversary of the Moscow Veterinary Academy // Poultry farming. 2024, no. 12, pp. 6–12. (In Russ.)

## TASKS OF SCIENTIFIC AND STAFFING SUPPORT OF VETERINARY SCIENCE

**F.I. Vasilevich<sup>a,\*</sup>, S.V. Pozyabin<sup>a,\*\*</sup>, A.A. Deltsov<sup>a,\*\*\*</sup>**

*<sup>a</sup>Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin,  
Moscow, Russia*

*\*E-mail: f-vasilevich@inbox.ru*

*\*\*E-mail: rector@mgavm.ru*

*\*\*\*E-mail: deltsov-81@mail.ru*

Ensuring food security of the Russian Federation and the development of the agro-industrial complex are closely related to veterinary science. In the current conditions, it is necessary to focus on the creation of domestic drugs, vaccines, test systems and feed additives for livestock. In addition to the technological and scientific base, this requires highly qualified scientific personnel who are trained in the country's leading universities together with specialized enterprises and laboratories.

*Keywords:* veterinary science, drugs, vaccines, test systems, modern developments, veterinary education, basic departments.