

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
№ 1 (77) 2025 ГОД

ВЕСТНИК

Казанского государственного аграрного университета



DOI 10.12737/issn.2073-0462 ISSN 2073-0462

ISSN 2073-0462
DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-1

ВЕСТНИК
КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

VESTNIK
OF KAZAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY

QUARTERLY SCIENTIFIC JOURNAL

№ 1 (77)

Казань, 2025

Научный журнал
Вестник Казанского ГАУ, 2025, № 1 (77), апрель
Учрежден Казанским государственным аграрным университетом (Казанским институтом сельского хозяйства и лесоводства) в 1925 г.

Адрес издателя и редакции:
420015, г. Казань
ул. К. Маркса, 65
тел. (843) 598 - 40 -52

www.vestnik-kazgau.ru
e-mail: vestnik@kazgau.com

Подписной индекс в каталоге «Объединенный каталог. Пресса России. Газеты и журналы» на I полугодие 2025 года: **40977**

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Росскомнадзор) - свидетельство о регистрации: ПИ № ФС-77-48189 от 19 января 2012 г.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

По решению ВАК России «Вестник Казанского государственного аграрного университета» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата и доктора наук по направлениям:

4.1.1 «Общее земледелие и растениеводство»
4.1.2 «Селекция, семеноводство и биотехнология»
4.1.3 «Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений»
4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса»
5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика»
5.2.6 «Менеджмент»

Журнал «Вестник Казанского государственного аграрного университета» включен в базу Russian Science Citation Index (RSCI)

Публикуется
4 раза в год

За достоверность информации в опубликованных материалах ответственность несут авторы публикаций

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Председатель редакционной коллегии, главный научный редактор
Файзрахманов Д.И. – доктор экономических наук, профессор, академик АН РТ
Заместители главного редактора:
Валиев А.Р. – доктор технических наук, профессор, чл.-корр. АН РТ
Зиганшин Б.Г. – доктор технических наук, профессор, профессор РАН
Члены редакционной коллегии:
Мазитов Н.К. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. РАН
Сафин Р.И. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ
Кадырова Ф.З. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ
Сафиоллин Ф.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Низамов Р.М. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Исайчев В.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Васин А.В. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Замалиева Ф.Ф. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Пономарева М.Л. – доктор биологических наук, профессор
Лобачевский Я. П. – доктор технических наук, академик РАН
Курдюмов В.И. – доктор технических наук, профессор
Калимуллин М.Н. – доктор технических наук, доцент
Клычова Г.С. – доктор экономических наук, профессор
Мухаметгалиев Ф.Н. – доктор экономических наук, профессор
Шогенов Ю.Х. - доктор технических наук, профессор, академик РАН
Дидманидзе О.Н. - доктор технических наук, профессор, академик РАН
Дозорова Т.А. - доктор экономических наук, профессор
Ерохин М.Н. – доктор технических наук, профессор, академик РАН
Сорокин К.Н. - доктор технических наук
Члены международной редакционной коллегии:
Бухарбаева А.Ж. – доктор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата
Панков Д.А. – доктор экономических наук, профессор, Белорусский государственный экономический университет
Сембиева Л. М. – доктор экономических наук, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Абуова А.Б. - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Международный инженерно-технологический университет
Акимбекова Г.У. - доктор экономических наук, профессор, Казахский НИИ экономики агропромышленного комплекса и развития сельских территорий
Ли Хунпэн - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Хэйлунцзянской Академии Сельскохозяйственных наук, Основатель Харбинской сельскохозяйственной научно-технической компании Лэши
EDITORIAL BORD:
Editor-in-Chief
Fayzrakhmanov D.I. – Doctor of Economics, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan
Deputy Editors:
Valiev A.R. – Doctor of Engineering, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan
Ziganshin B.G. – Doctor of Engineering, professor, professor of the Russian Academy of Sciences
Members of the Editorial Board:
Mazitov N.K. – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences
Safin R.I. – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan
Kadyrova F.Z. – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences
Safiollin F.N. – Doctor of Agriculture, professor
Nizamov R.M. – Doctor of Agriculture, associate professor
Isaychev V.A. – Doctor of Agriculture, professor
Vasin A.V. – Doctor of Agriculture, professor
Zamalieva F.F. – Doctor of Agricultural Sciences, associate professor
Ponomareva M.L. –Doctor of Biological Sciences, professor
Lobachevskiy Ya. P. – Doctor of Engineering, member of the Russian Academy of Sciences
Kurdyumov V.I. – Doctor of Engineering, professor
Kalimullin M.N. – Doctor of Technical Sciences, associate professor
Klychova G.S. – Doctor of Economics, professor
Mukhametgaliev F.N. – Doctor of Economics, professor
Shogenov Yu.Kh. - Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Academy of Sciences
Didmanidze O.N. - Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Academy of Sciences
Dozorova T.A. - Doctor of Economic Sciences, professor
Erohin M.N. - Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Academy of Sciences
Sorokin K.N. - Doctor of Technical Sciences
Members of the International Editorial Board:
Bukharbaeva A.Zh.— Doctor, Kyzylorda University named after Korkyt Ata
Pankov D.A.— Doctor of Economics, professor, Belarusian State Economic University
Sembieva L.M.— Doctor of Economics, professor, Eurasian National University. L.N. Gumilyov
Abuova A.B. - Doctor of Agricultural Sciences, professor, International Engineering and Technology University
Akimbekova G.U. - Doctor of Economics, professor, Kazakh Research Institute of Economics of the Agro-Industrial Complex and Rural Development
Li Hongpeng - Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher at the Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Founder of Harbin Agricultural Science and Technology Company

©Вестник Казанского ГАУ, 2025
©Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ стр.

Зенкина К. В., Асеева Т. А. Оценка линий и сортов яровой пшеницы мягкой по селекционным индексам……....5
Левакова О. В. Использование стимуляторов роста и гуминовых веществ в звене первичного семеноводства ячменя сорта знатный при посеве колосом…….....12
Сапармырадов К., Александрова Н. М., Валидов Ш. З. Изоляты из ризосферы и филопланы подсолнечника, продуценты фитогормонов как потенциальные биоагенты-стимуляторы роста растений ……..……...……..18
Сулейманов С. Р., Сафиоллин Ф. Н., Колесар В. А., Габбасов И. И. Результаты совместного использования химических инсектицидов и биопрепарата Нодикс Инсектобакт против вредителей ярового рапса …….....24
Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н., Тютюма А. В. Оценка биологической эффективности гуминового стимулятор роста при возделывании сои…….....31
Феоктистова Н. А. Соотношение кормовой и семенной продуктивности клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в Западной Сибири…..…..…….....34
Хисматуллин М. М., Ивойлов А. В., Лукманов А. А., Хисматуллин М. М. Проблемы декарбонизации отрасли растениеводства на современном этапе..…….....41

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Уткин М. О., Халиуллин Д. Т., Дмитриева О. С. Численное моделирование нагрева теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства…….....47
Измайлов А. Ю., Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. Теоретическое обоснование манипулятора для автоматизированного удаления растений в семеноводстве.……54
Просвирников Д. Б., Тунцев Д. В., Гайнуллина М. К., Касанова Н. Р. Белковый концентрат из белого люпина сорта Дега.…….63
Смирнов А. Г., Максимов И. И., Калимуллин М. Н. Использование биоразлагаемых материалов для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии……...……75
Смирнов П. А., Алексеев Е. П., Смирнов М. П., Егоров В. П., Вагизов Т. Н. Концепция современной технологии переработки бесподстилочного навоза…….82

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Газетдинов Ш. М., Газетдинов М. Х., Семичева О. С., Абдулхаков А. М. Аспекты перехода к цифровой экономике в сельском хозяйстве и в сельских территориях…….....93
Додорина И. В., Черняев Е. В. Влияние потенциала терминально-складской системы на экономический рост региона……..……..…….....….100
Ельшин Л. А., Шарапов А. Р., Мингулов А. М. Стратегическая адаптация аграрных регионов к внешним конъюнктурным изменениям……..109
Кондратьев Д. В., Остаев Г. Я., Клычова Г. С., Некрасова Е. В., Александрова Е. В. Методический инструментарий оценки эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий в отрасли растениеводства региона……..119
Михайлова Л. В. Развитие субъектов малого агробизнеса региона в системе сельскохозяйственной кооперации……..…..…….....…..128
Сафиуллин Н. А., Валиев А. Р. Основные направления повышения уровня цифровой зрелости предприятий агропромышленного комплекса……...……134
Сафонова М. Ф., Резниченко С. М. Информационно-аналитическое обеспечение внутреннего контроля и аудита экспортных операций в аграрных формированиях……...……143
Шумакова О. В., Крюкова О. Н. Типизация барьеров входа на отраслевой рынок: эколого-социальные аспекты развития агропродовольственных систем……..……..153

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

Pages

Zenkina K. V., Aseeva T. A. Evaluation of soft spring wheat lines and varieties by breeding indices.…....5
Levakova O. V. Use of growth stimulators and humic substances in the primary seed production link of barley of znatnyy variety when sowing in one speech……..…...……..12
Saparmyradov K., Aleksandrova N. M., Validov Sh. Z. Isolates from the rhizosphere and sunflower phylloplanes, producers of phytohormones as potential bioagents-stimulators of plant growth..……...18
Suleymanov S. R., Safiollin F. N., Kolesar V. A., Gabbasov I. I. Results of the joint use of chemical insecticides and the bioproduct Nodix Insectobact against spring rape pests ..……..…....24
Tyutyuma N. V., Bondarenko A. N., Tyutyuma A. V. Evaluation of biological efficiency of humic growth stimulator in soybean cultivation…….. ..…….....31
Feoktistova N. A. Ratio of forage and seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.*)* in Western Siberia ……..……..……..34
Khismatullin M. M., Ivoylov A. V., Lukmanov A. A., Khismatullin M. M. Problems of decarbonization of plant production sector at the present stage……..…...……..…...41

TECHNICAL SCIENCES

Dmitriev A. V., Zinurov V. E., Utkin M. O., Khaliullin D. T., Dmitrieva O. S. Numerical simulation of heating of a thermal energy storage device for heating a greenhouse…….…..47
Izmaylov A. Yu., Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Mosyakov M. A., Sazonov N. V. Theoretical justification of a manipulator for automated removal of plants in seed production…….54
Prosvirnikov D. B., Tuntsev D. V., Gaynullina M. K., Kasanova N. R. Protein concentrate from white lupine of Dega variety…….……..…63
Smirnov A. G., Maksimov I. I., Kalimullin M. N. Using biodegradable materials to protect agricultural machinery from corrosion…….75
Smirnov P. A., Alekseev E. P., Smirnov M. P., Egorov V. P., Vagizov T. N. Concept of modern technology for processing litterless manure…….……...…….82

ECONOMIC SCIENCES

Gazetdinov Sh. M., Gazetdinov M. Kh., Semicheva O. S., Abdulkhakov A. M. Aspects of the transition to a digital economy in agriculture and rural areas…….....93
Dodorina I. V., Chernyaev E. V. The impact of the potential of terminal-warehouse system on the economic growth of the region……..…….100
Elshin L. A., Sharapov A. R., Mingulov A. M. Strategic adaptation of agricultural regions to external market changes……109
Kondratev D. V., Ostaev G. Ya., Klychova G. S., Nekrasova E. V., Aleksandrova E. V. Methodological tools for assessing the effectiveness of subsidizing agrotechnological events in the region cropping industry…….……...…119
Mikhaylova L.V. Development of small agribusiness entities of the region in the agricultural cooperation system…….....128
Safiullin N. A., Valiev A. R. Main directions of increasing the digital maturity level of enterprises in the agro-industrial complex…….……..134
Safonova M. F., Reznicenko S. M. Information and analytical support of internal control and audit of export operations in agricultural formations……...…143
Shumakova O. V., Kryukova O. N. Industry market entry barriers typing: environmental and social aspects of agri-food systems development……...153

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-5-11
УДК 633.11:631.527

ОЦЕНКА ЛИНИЙ И СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ПО СЕЛЕКЦИОННЫМ ИНДЕКСАМ

К. В. Зенкина, Т. А. Асеева

Реферат. Исследования проводили в 2019–2023 годах с целью оценки образцов пшеницы мягкой яровой по основным хозяйственно важным признакам и выделения ценных форм для селекции. Материалом для исследования служили 26 сортов и линий яровой мягкой пшеницы селекции Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства, стандарт – Хабаровчанка. Почва участка – лугово-бурая оподзоленно-глеевая тяжелосуглинистая с $pH_{сол.}$ менее 4,5 ед. В 2019 году в мае–июле отмечено избыточное переувлажнение (ГТК=2,6), в 2021–2023 годах – засушливые условия (ГТК=1,0…1,4), в 2020 году – в пределах среднемноголетних значений (ГТК=1,7). По урожайности зерна (35,0…38,2 ц/га) выделены сорта и селекционные линии – 21/1-01, 65/2-11, Зарянка, 26/2-14, 19/1-14, 14/2-00, 29/8-06, 60/2-09, 11/7-14, Далира, 48/2-14, 43/3-14, Елизавета, 22/2-16, 47/1-14, достоверно превысившие стандарт на 3,9…6,9 ц/га. Наибольшее влияние на урожайность оказывал фактор «год» – 67,8%, эффект фактора «сорт» достигал 7,7%, их взаимодействия – 24,5%. Перспективны для селекционной работы линии 94/3-09, 29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14, выделенные в результате кластерного анализа (метод Варда) стандартизированных значений ряда селекционных индексов: мексиканский, который характеризует устойчивость к полеганию (МИ=0,012…0,016); канадский, позволяющий оценить удельный урожай колоса (КИ=0,153…0,171); финно-скандинавский, определяющий зернообразующую способность (ФСИ=0,321…0,383); линейной плотности колоса, отражающий генотип-средовую взаимосвязь (ЛПК =3,769…4,292); потенциала колоса, который характеризует потенциальную продуктивность (ИПК=0,076…0,092); отношения крупности к количеству зерен в колосе, демонстрирующий конкурентоспособность (ИКЧ=0,976…1,204); перспективности, указывающий на селекционную ценность (ИП=0,326…0,390); продуктивности растений, который свидетельствует об устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды (ИПР=7,757…9,713). К высокоурожайным линиям с высокой селекционной ценностью отнесены 29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), продуктивность, урожайность, структура урожая, селекционный индекс.

Введение. Яровая пшеница – самая распространенная зерновая культура на земном шаре [1, 2], однако на величину и качество ее урожайности существенное влияние оказывают погодные условия [3, 4]. Для отбора генотипов, наиболее адаптированных к лимитированным факторам окружающей среды [5] целесообразно использовать богатый математический инструмент, который разработан для оценки хозяйственно важных признаков.

В селекционной работе на увеличение урожайности пшеницы рекомендуют направление, основанное на выделении продуктивных генотипов по селекционным индексам, которые используют практически на всех этапах селекционного процесса [6]. Характеристики, позволяющие одновременно контролировать уровень проявления нескольких количественных признаков, на промежуточных этапах селекции – более значимы, чем окончательные абсолютные величины [7]. При оценке на продуктивность наибольшую информативность обеспечило совокупное использование нескольких индексов [8]. Привлечение в гибридизацию родителей с высокими их значениями способствовало созданию новых высокоурожайных сортов яровой пшеницы [9].

Селекция – непрерывный процесс, постоянно создают новые сорта. Для быстрой и качественной оценки селекционного материала яровой мягкой пшеницы требуется поиск генотипов с комплексом хозяйственно ценных признаков и исключение менее продуктивных. В связи с высокой эффективностью и перспективностью использования селекционных индексов актуален индексный отбор перспективных линий для дальнейшего создания новых конкурентоспособных сортов яровой мягкой пшеницы.

Цель исследований – сравнительная оценка сортов и селекционных линий пшеницы мягкой яровой по основным хозяйственно важным признакам для для создания сортов, адаптированных к условиям Дальнего Востока.

Условия, материалы и методы. Полевые опыты проводили в 2019–2023 годах на базе Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства (Россия, Хабаровский край). Стандартный сорт – Хабаровчанка. Объект – 26 сортов и линий пшеницы яровой мягкой местного происхождения. Почва – лугово-бурая оподзоленно-глеевая тяжелосуглинистая, содержание обменного калия – 277…304 мг/кг, подвижного фосфора – 99…155 мг/кг почвы (по Кирсанову), органического вещества – 3,6…3,8% (по Тюрину), $pH_{сол.}$ < 4,5 ед. Предшественник – черный пар. Посев проводили сеялкой «ССФК-7М» в оптимальные для региона сроки. Норма высева – 5,5 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки – 12 м^2, повторность – трехкратная. Уборку проводили комбайном «ХЕГЕ-125».

Оценивали следующие структурные элементы урожайности – масса 1000 зерен (г), количество зерен в колосе (шт.), масса зерна с колоса (г), длина колоса (см), высота растений (см). Учеты, наблюдения и статистическую обработку (дисперсионный и корреляционный анализы, наименьшую существенную разницу) данных проводили по методике Б. А. Доспехова [10]. Данные в таблицах представлены в виде средней и стандартной ошибки. Классификация проведена по Международному классификатору СЭВ (Совет Экономической Взаимопомощи) рода *Triticum* L. [11].

Оценку образцов пшеницы яровой мягкой выполняли по селекционным индексам [9, 12, 13]:

канадский (КИ) – отношение массы зерна с колоса (г) к его длине (см);

финно-скандинавский (ФСИ) – отношение числа зерен в колосе (шт.) к высоте растения (см);

мексиканский (МИ) – отношение массы зерна с колоса (г) к высоте растения (см);

потенциала колоса (ИПК) – отношение длины колоса (см) к высоте растения (см);

отношения крупности к количеству зерен в колосе (ИКЧ) – отношение массы 1000 зерен (г) к количеству семян в колосе (шт.);

продуктивности растений (ИПР) – отношение произведения числа зерен в колосе (шт.) на его вес (г) к длине колоса (см);

линейной плотности колоса (ЛПК) – отношение количества зерен в колосе (шт.) к длине колоса (см);

перспективности (ИП) – отношение крупности зерна (г) к длине соломины (см).

Для объединения селекционных индексов, рассчитанных для образцов пшеницы, проводили иерархическую классификацию методом Варда (Ward methods) с использованием евклидова расстояния (Euclidean distance) стандартизированных значений в программе Statistica 10.

Территория Хабаровского края по комплексу почвенно-климатических условий относится к зоне рискованного земледелия, которая обусловлена муссонным характером климата с неравномерным распределением тепла и осадков в течение года и сложным составом почвы. Годы исследований характеризовались разнообразием агрометеорологических условий по тепло- и влагообеспеченности вегетационных периодов (табл. 1). Избыточное переувлажнение отмечали в 2019 году, с мая по июль превышение среднемноголетних значений осадков составило 137 мм. За период с мая по июль в 2020 году гидротермический коэффициент находился в пределах климатической нормы. Недостаток влаги и засуху в период май-июль отмечали в 2021, 2022 и 2023 годах, на 47, 74, 106 мм осадков ниже среднемноголетних значений соответственно.

Таблица 1 – Агрометеорологические условия в годы исследований (2019-2023 годы)

Месяц	Температура воздуха, °С					
	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	среднемноголетнее значение
Май	13,6	14,3	12,6	12,3	13,4	12,0
Июнь	15,9	15,2	19,0	17,8	18,7	17,9
Июль	21,6	22,1	25,1	23,0	22,7	21,4
Количество выпавших осадков, мм						
Май	124	27	63	53	32	60
Июнь	99	131	134	86	64	78
Июль	184	118	26,	57	68	132
Гидротермический коэффициент Селянинова, ед.						
Май	2,9	0,6	1,6	1,4	0,8	1,6
Июнь	2,1	2,9	2,4	1,6	1,1	1,5
Июль	2,7	1,7	0,3	0,8	1,0	2,0
Май–июнь	2,6	1,7	1,4	1,3	1,0	1,7

Результаты и обсуждение. Согласно результатам дисперсионного анализа максимальный вклад в вариабельность урожайности вносил фактор «год» – 67,8%, вклад фактора «сорт» был наименьшим – 7,7%, а взаимодействие этих двух факторов достигало 24,5%. В изменчивость высоты растений уровни вклада факторов были сходны – 76,3%, 4,9% и 18,8% соответственно.

Взаимодействие факторов «сорт×год» было основным источников варьирования структурных элементов урожайности сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы: длины колоса – 57,8% (фактор «сорт» – 24,2%, фактор «год» – 18,0%), количества зерен в колосе – 51,1% (фактор «сорт» – 19,2%, фактор «год» – 29,7%), массы зерна с колоса – 45,9% (фактор «сорт» – 22,2%, фактор «год» – 31,9%) и массы 1000 зерен – 43,9% (фактор «сорт» – 33,5%, фактор «год» – 22,6%) при уровне значимости 5% ($F_{факт.} > F_{крит.}$).

В среднем за годы исследований по урожайности зерна выделены сорта Далира, Елизавета, Зарянка и линии 48/2-14, 47/1-14, 65/2-11, 19/1-14, 29/8-06, 21/1-01, 14/2-00, 11/7-14, 43/3-14, 26/2-14, 60/2-09, 22/2-16, превосходящие стандартный сорт на 3,9…6,9 ц/га (табл. 2). Селекционные линии и сорта

Приамурская, Далира, 48/2-14, 47/1-14 крайне нестабильно формировали урожайность – в благоприятных условиях (2019 год) продуктивность достигала 51,9 ц/га, 58,2 ц/га, 54,2 ц/га, 55,8 ц/га соответственно, но при ухудшении условий (2023 год) урожайность снижалась на 28,3 ц/га, 33,0 ц/га, 28,7 ц\га, 31,5 ц/га соответственно.

Таблица 2 – Урожайность и основные структурные элементы яровой мягкой пшеницы (2019–2023 годы)

Сорт, линия	Урожайность, ц/га	Высота растений, см	Длина колоса, см	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Хабаровчанка	31,3±2,2	108±6	9,0±0,1	35±2	1,31±0,09	36,3±1,2
Зарянка	35,5±3,2	111±6	8,8±0,2	32±2	1,24±0,08	36,5±1,0
Лира-98	29,7±1,8	104±6	9,5±0,1	37±2	1,35±0,05	35,2±0,9
Елизавета	35,0±2,1	107±6	9,6±0,4	37±3	1,48±0,08	39,3±1,1
Приамурская	34,3±6,3	111±8	9,6±0,2	39±3	1,41±0,16	40,3±0,8
Анфея	32,0±2,8	105±6	8,8±0,3	34±2	1,30±0,10	40,3±0,9
Далира	37,2±6,0	107±8	9,4±0,3	36±2	1,40±0,13	39,9±1,4
65/2-11	36,3±2,5	113±7	8,9±0,7	38±1	1,50±0,12	39,1±2,1
26/2-14	38,2±4,4	112±6	8,9±0,1	38±2	1,40±0,11	37,1±0,8
42/1-14	34,3±3,1	106±5	9,0±0,2	31±2	1,24±0,11	39,0±0,9
29/8-06	36,6±3,9	109±7	9,5±0,3	38±2	1,51±0,11	41,3±1,1
14/2-00	35,7±4,1	109±8	9,3±0,3	35±2	1,38±0,07	39,7±1,2
60/2-09	36,6±4,5	106±8	9,7±0,2	35±2	1,39±0,06	38,6±0,9
21/1-01	36,7±4,5	109±9	9,3±0,1	35±3	1,44±0,11	35,2±2,2
118/1-99	32,5±4,3	107±10	9,3±0,3	39±3	1,56±0,11	40,1±1,5
55/5-09	31,2±2,6	105±9	9,3±0,3	37±1	1,51±0,05	39,8±1,2
94/3-09	30,5±2,8	110±8	10,0±0,3	38±5	1,53±0,23	40,8±1,1
11/2-14	32,7±2,7	100±7	8,4±0,4	32±4	1,23±0,13	37,9±0,7
11/7-14	35,5±4,1	106±6	9,3±0,3	39±1	1,58±0,05	40,2±1,5
48/2-14	35,5±5,3	105±7	9,2±0,3	37±1	1,42±0,03	38,9±1,4
43/3-14	36,1±3,7	104±5	9,6±0,3	40±2	1,62±0,06	40,4±1,5
22/2-16	37,4±4,2	111±7	9,0±0,4	35±2	1,37±0,11	38,7±0,9
19/1-14	37,0±4,1	109±2	9,2±0,3	35±1	1,54±0,08	42,6±1,8
11/5-16	33,5±3,8	113±6	9,6±0,2	35±2	1,42±0,09	39,7±1,2
47/1-14	35,2±5,5	107±6	9,0±0,2	39±1	1,53±0,01	39,2±0,4
65/1-17	34,6±3,0	103±5	9,4±0,4	39±3	1,58±0,10	39,2±0,4
$НСР_{05}$	3,8	4	0,6	3	0,21	3,4

В результате исследований выделены селекционные линии 48/2-14, 11/2-14, 43/3-14 отличающиеся более низкой высотой растений, отклонение от стандарта составило 5 см. По международному классификатору СЭВ рода *Triticum* L. [12] все генотипы относились к средне- и высокорослым и характеризовались высокой полевой устойчивостью к полеганию независимо от условий окружающей среды (8…9 баллов), в сравнении со стандартным сортом Хабаровчанка (7 баллов).

В среднем за годы исследований по длине колоса выделены селекционные линии 60/2-09, 94/3-09, превысившие стандарт на 0,7…1,0 см. Наиболее крупный колос сформировали селекционные линии пшеницы 94/3-09, 47/1-14, 43/3-14, 65/1-17, 118/1-99, 19/1-14, 11/7-14, масса зерна с колоса у которых была больше, чем у сорта Хабаровчанка на 0,22…0,31 г.

Количество зерен в колосе и масса 1000 зерен – важнейшие структурные элементы урожайности и показатели продуктивности колоса. В условиях региона у селекционных линий количество зерен в колосе варьировало от 31 шт. у линии 42/1-14 до 40 шт. у линии 43/3-14. Наибольшая озерненность в среднем за годы исследований отмечена у сорта Приамурская и селекционных линий 11/7-14, 118/1-99, 47/1-14, 43/3-14, 65/1-17, достоверное превышение над стандартом составило 4…5 шт. Наиболее крупное зерно (39,8…42,6 г) формировали сорта, Далира, Анфея, Приамурская и селекционные линии 118/1-99, 94/3-09, 11/7-14, 55/5-09, 19/1-14, 29/8-06, 43/3-14, что выше стандарта на 3,5…6,3 г.

Так как факторы внешней среды оказывают сильное влияние на изменчивость основных элементов, которые участвуют в формировании продуктивности пшеницы, применение селекционных индексов позволит повысить эффективность селекционной работы по созданию генотипов пшеницы.

При оценке селекционных индексов показано, что по отношению массы зерна с колоса к высоте растения (МИ) выделены сорта и линии Елизавета, Далира, Лира-98,

Приамурская, 11/7-14, 26/2-14, 14/2-00, 60/2-09, 47/1-14, 29/8-06, 21/1-01, 118/1-99, 48/2-14, 94/3-09, 55/5-09, 65/2-11, 43/3-14, 19/1-14, 11/5-16, 65/1-17, которые характеризуются наибольшей способностью соломины выдерживать нагрузку колоса в сравнении со стандартным сортом Хабаровчанка и остальными генотипами (табл. 3).

По удельному урожаю колоса (КИ), который отражает взаимосвязь длины колоса и его массы зерна, выделены сорта и селекционные линии (КИ=0,147…0,171) Приамурская, Далира, Елизавета, Анфея, 11/7-14, 21/1-01, 55/5-09, 118/1-99, 65/1-17, 94/3-09, 11/2-14, 65/2-11, 48/2-14, 43/3-14, 22/2-16, 19/1-14, 47/1-14, 29/8-06, 26/2-14, 11/5-16, в сравнение с сортом стандартом Хабаровчанка (КИ=0,145). Наибольшие значения зернообразующей способности (ФСИ) идентифицированы у сортов и селекционных линий (ФСИ=0,315…0,383) Далира, Лира-98, Приамурская, Елизавета, 94/3-09, 65/2-11, 55/5-09, 65/1-17, 48/2-14, 60/2-09, 26/2-14, 11/7-14, 43/3-14, 29/8-06, 118/1-99, 47/1-14, отражают снижение высоты растений при одновременном увеличении количества зерен относительно стандарта.

Таблица 3 – Характеристика сортов и линий пшеницы яровой мягкой по селекционным индексам (2019–2023 годы)

Сорт, линия	МИ	КИ	ФСИ	ЛПК	ИКЧ	ИПК	ИП	ИПР
Хабаровчанка	0,012	0,145	0,328	3,925	1,027	0,084	0,336	7,359
Зарянка	0,011	0,141	0,294	3,697	1,115	0,079	0,328	6,641
Лира-98	0,013	0,142	0,353	3,863	0,960	0,091	0,339	7,137
Елизавета	0,014	0,153	0,346	3,838	1,062	0,090	0,367	7,757
Приамурская	0,015	0,148	0,346	4,023	1,045	0,086	0,362	8,849
Анфея	0,012	0,147	0,328	3,885	1,174	0,084	0,385	7,581
Далира	0,013	0,150	0,336	3,825	1,113	0,088	0,374	7,276
65/2-11	0,013	0,169	0,332	4,237	1,041	0,078	0,345	9,713
26/2-14	0,013	0,157	0,341	4,260	0,976	0,080	0,333	8,835
42/1-14	0,012	0,138	0,297	3,478	1,244	0,085	0,369	6,514
29/8-06	0,014	0,160	0,345	3,964	1,102	0,087	0,380	8,667
14/2-00	0,013	0,148	0,326	3,809	1,122	0,086	0,365	7,540
60/2-09	0,013	0,142	0,329	3,587	1,105	0,092	0,363	7,470
21/1-01	0,013	0,154	0,320	3,732	1,010	0,086	0,323	8,028
118/1-99	0,015	0,168	0,361	4,162	1,039	0,087	0,375	9,512
55/5-09	0,014	0,162	0,355	3,994	1,071	0,089	0,380	8,477
94/3-09	0,014	0,154	0,342	3,769	1,089	0,091	0,372	8,514
11/2-14	0,012	0,147	0,321	3,852	1,178	0,083	0,378	7,400
11/7-14	0,015	0,170	0,372	4,230	1,020	0,088	0,380	9,485
48/2-14	0,014	0,155	0,351	4,015	1,056	0,087	0,371	7,890
43/3-14	0,016	0,169	0,382	4,142	1,017	0,092	0,389	9,192
22/2-16	0,012	0,152	0,314	3,856	1,113	0,081	0,349	7,552
19/1-14	0,014	0,168	0,325	3,862	1,204	0,084	0,392	8,372
11/5-16	0,013	0,147	0,312	3,649	1,130	0,086	0,353	7,965
47/1-14	0,014	0,171	0,360	4,292	1,016	0,084	0,366	9,144
65/1-17	0,015	0,169	0,379	4,152	1,008	0,091	0,382	9,345

Отношение массы и количества зерен отражает индекс линейной плотности колоса (ЛПК). Наибольшим это отношение (ЛПК=3,994…4,292) было у линий и сортов Приамурская, 29/8-06, 118/1-99, 65/2-11, 26/2-14, 11/7-14, 55/5-09 (), 47/1-14, 48/2-14, 43/3-14, 65/1-17. В условиях региона выделены сорта и линии Далира, Приамурская, Елизавета, Лира-98, 21/1-01, 43/3-14, 11/5-16, 29/8-06, 60/2-09, 14/2-00, 55/5-09, 118/1-99, 94/3-09, 48/2-14, 11/7-14, 65/1-17, которые формировали более высокую соломину и колос (ИПК=0,083…0,092), в сравнении с сортом Хабаровчанка (ИПК=0,082). У выделенных образцов пшеницы наблюдали незначительную изменчивость индекса потенциала колоса (ИПК) вследствие схожих морфологических признаков (высоты растений и длины колоса), что свидетельствует о необходимости создания более разнообразного исходного материала.

Растения генотипов пшеницы характеризуются высокой продуктивностью колоса и массой 1000 зерен. Выделены сорта Приамурская, Далира, Елизавета, Анфея, 60/2-09, 11/2-14, 65/2-11, 22/2-16, 14/2-00, 42/1-14, 29/8-06, 118/1-99, 94/3-09, 48/2-14, 19/1-14, 55/5-09, 11/5-16 с максимальной пластичностью и толерантностью к загущению (ИКЧ=1,045…1,204), превышающие стандартный сорт по этому показателю на 0,018…0,177.

Выделены сорта Елизавета, Анфея, Далира и селекционные линии 29/8-06 (ИП=0,369), 48/2-14 (ИП=0,374), 94/3-09 (ИП=0,360), 11/2-14 (ИП=0,365), 55/5-09 (ИП=0,371), 11/7-14 (ИП=0,378), 65/1-17 (ИП=0,334), 43/3-14 (ИП=0,390), 19/1-14 (ИП=0,387) по селекционной ценности, характеризующей

способность растений накапливать большее количество пластических веществ в колосе и формировать более крупное зерно. Отмечены наиболее устойчивые к неблагоприятным факторам окружающей среды сорта и селекционные линии пшеницы 118/1-99 (ИПР=9,512), 43/3-14 (ИПР=9,192), 65/1-17 (ИПР=9,345), 65/2-11 (ИПР=9,713), 47/1-14 (ИПР=9,144), 11/7-14 (ИПР=9,485) по индексу продуктивности растений, как показатель адаптивности генотипов к условиям почвенно-климатической зоны возделывания.

Взаимосвязь селекционных индексов с основными структурными элементами продуктивности представляет практический интерес для отбора необходимых форм с высокой продуктивностью, конкурентоспособностью, устойчивостью к полеганию и биотическим и абиотическим стрессорам внешней среды. Установлена сопряженность признаков продуктивности растений с селекционным индексом: МИ коррелирует с массой колоса с зерном (r=0,74), количеством зерен в колосе (r=0,85), массой зерна с колоса (r=0,88), массой 1000 зерен (r=0,54); КИ – с массой колоса с зерном (r=0,74), количеством зерен в колосе (r=0,73), массой зерна с колоса (r=0,87), массой 1000 зерен (r=0,48); ФСИ – с массой колоса с зерном (r=0,51), количеством зерне в колосе (r=0,90), массой зерна с колоса (r=0,75), высотой растений (r= -0,41); ЛПК – с массой колоса с зерном (r=0,47), количеством зерен в колосе (r=0,79), массой зерна с колоса (r=0,58); ИКЧ – с количеством зерен в колосе (r= -0,72), массой зерна с колоса (r=-0,42), массой 1000 зерен (r=0,41); ИПК – с высотой растений (r= -0,41); ИП – с массой зерна с колоса (r=0,41), высотой растений (r= -0,51), массой 1000 зерен (r=0,85); ИПР – с массой колоса с зерном (r=0,89), количеством зерен в колосе (r=0,85), массой зерна в колосе (r=0,84), массой 1000 зерен (r=0,44). Отсутствие достоверных связей селекционных индексов с урожайностью яровой пшеницы свидетельствует о недостаточной пригодности использования изученных индексов как показателей продуктивности, но позволяет выявлять свойства изучаемых генотипов, такие как удельный урожай колоса, зернообразующая способность, конкурентоспособность, устойчивость к полеганию и стрессорам региона.

Для комплексного подхода в оценке образцов пшеницы по селекционным индексам проводили кластерный анализ. Образцы пшеницы распределены на две группы. В первый кластер вошли сорта и линии Хабаровчанка, Приамурская, 21/1-01, Лира-98, Зарянка, 42/1-14, Анфея, 11/2-14, 22/2-16, 11/5-16, 60/2-09, отличающиеся средними значениями селекционных индексов (МИ=0,012…0,013; КИ=0,138…0,154; ФСИ=0,286…0,345; ЛПК=3,478…4,023; ИКЧ=0,960…1,244; ИП=0,311…0,377; ИПР=6,514…8,849; ИПК=0,077…0,089) (см. рисунок). Второй кластер сформировали сорт Елизавета и селекционные линии 94/3-09, 29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14, характеризующиеся высокой селекционной ценностью (МИ=0,012…0,016; КИ=0,153…0,171; ФСИ=0,321…0,383; ЛПК=3,769…4,292; ИКЧ=0,976…1,204; ИП=0,326…0,390; ИПР=7,757…9,713; ИПК=0,076…0,092) в условиях региона. Из них 67% образцов (29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14) формировали еще и высокую урожайность.

Образцы из второго кластера можно считать перспективным материалом для селекционной работы по созданию сортов яровой мягкой пшеницы.

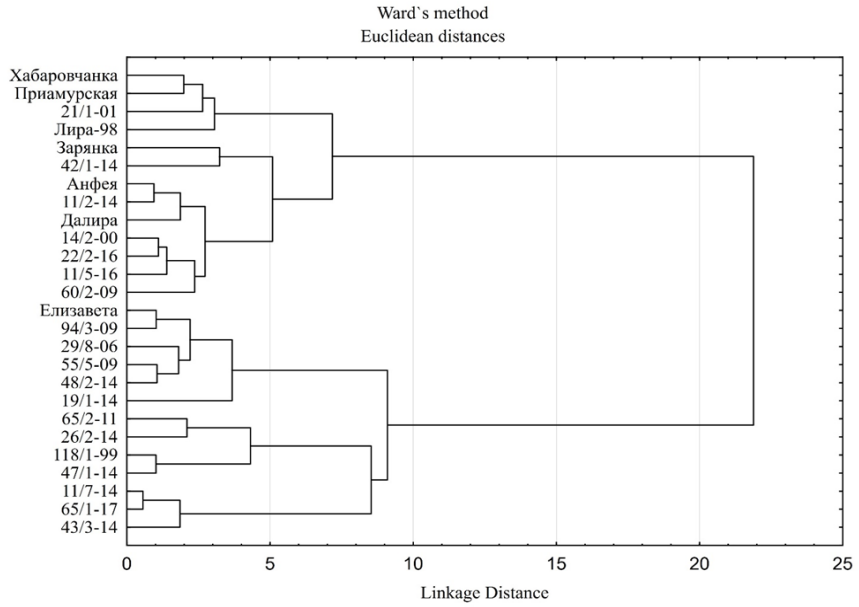


Рис. – Дендрограмма распределения сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы по селекционным индексам

Выводы. В среднем за годы исследований выделены селекционные линии и сорта Далира, Елизавета, Зарянка, 65/2-11, 60/2-09, 29/8-06, 26/2-14, 14/2-00, 11/7-14, 43/3-14, 47/1-14, 21/1-01, 19/1-14, 48/2-14, 22/2-16 с высокой урожайностью зерна (35,0…37,4 ц/га), превышающие стандарт на 3,9…6,9 ц/га.

Отмечены ценные образцы по ряду основных хозяйственных показателей: по высоте растений (104 см) – линии 48/2-14, 11/2-14, 43/3-14, ниже стандарта на 5 см; по длине колоса (9,7…10,0 см) – линии 60/2-09, 94/3-09, превышение над стандартом 0,7…1,0 см; по массе зерна с колоса (1,53…1,62 г) – линии 94/3-09, 47/1-14, 43/3-14, 65/1-17, 118/1-99, 19/1-14, 11/7-14, превосходящие стандарт на 0,22…0,31 г; по количеству зерен в колосе (39…40 шт.) – линии 11/7-14, 118/1-99, 47/1-14, 43/3-14, 65/1-17, выше стандарта на 4…5 шт.; по массе 1000 зерен (39,8…42,6 г) – линии 118/1-99, 94/3-09, 11/7-14, 55/5-09, 19/1-14, 29/8-06, 43/3-14, больше стандарта на 3,5…6,3 г.

В результате сравнительной оценки образцов пшеницы яровой мягкой по комплексу селекционных индексов (МИ=0,012…0,016; КИ=0,153…0,171; ФСИ=0,321…0,383; ЛПК=3,769…4,292; ИКЧ=0,976…1,204; ИП=0,326…0,390; ИПР=7,757…9,713; ИПК=0,076…0,092) выделены перспективные сорта и линии Елизавета, 94/3-09, 29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14, которые рекомендованы для использования в селекционных программах для создания сортов, адаптированных к неблагоприятным условиям региона.

Литература

1. Influence of the North Kazakhstan plans weather of the productivity of the spring soft wheat / R. Zholaman, E. Fedorenko, T. Savin, et al. // Scientific Horizons. 2022. No. 25 (10). P. 53–61. doi: 10.48077/scihor.25 (10).2022.53-61.

2. Novokhatin V. V. The theoretical justification of intensive genetic potential of the varieties of soft wheat // Agricultral biology. 2016. Vol. 51. No. 5. P. 627–635. doi: 10.15389/agrobiology.2016.5.627rus.

3. Оценка сортообразцов яровой мягкой пшеницы по показателям качества зерна в изменяющихся условиях Средневолжского региона / Т. Ю. Таранова, С. Е. Роменская, Е. А. Демина, и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 25–31.

4. Qian B., De Long R., Gameda S. Multivariate analysis of water-related agroclimatic factors limiting spring wheat yields on the Canadian prairies // European Journal of Agronomy. 2009. No. 30 (2). P. 140–150. doi: 10.1016/j.eja.2008.09.003.

5. Продуктивность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в условиях Приморская края / Н. В. Кузьменко, Г. А. Муругова, А. Г. Клыков, и др. // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 79–83. doi: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-79-83.

6. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 16–26.

7. Использование вегетационных индексов в селекции пшеницы и проса / С. Д. Вилюнов, В. С. Сидоренко, Н. А. Степанова, и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 5. С. 18-34. doi: 10.26897/0021-342X-2023-5-18-34.

8. Приоритетная технология создания новых высокоурожайных сортов яровой мягкой пшеницы на Среднем Урале / Н. Н. Зезин, В. А. Воробьев, А. В. Воробьев и др. // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 6. С. 59–63. doi: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-59-63.

9. Определение продуктивности яровой мягкой пшеницы на основе селекционных индексов / Н. А. Степанова, В. С. Сидоренко, Ж. В. Старикова и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 3(39). С. 91–96. doi: 10.24412/2309-348X-2021-3-91-96.

10. Доспехов Б. Ф. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

11. Международный классификатор СЭВ. Рода Triticum L. / В. Ф. Дорофеев, М. И. Руденко, А. А. Филатенко и др. Ленинград: ВИР, 1984. 85 с.

12. Иванисова А. С., Марченко Д. М. Использование селекционных индексов при оценке продуктивности озимой твердой пшеницы // Аграрная наука. 2024. № 8. С. 150–154. doi: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154.

13. Максимов, Р.А. Новый алгоритм отбора хозяйственно ценных генотипов ячменя // АПК России. 2017. Т. 24. № 2. С. 329–332.

Сведения об авторах:

Зенкина Кристина Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии зернобобовых культур и сои, e-mail: polosataya-zebra@mail.ru

Асеева Татьяна Александровна – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, член-корреспондент РАН, e-mail: aseeva59@mail.ru

Хабаровский Федеральный Исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Хабаровск, Россия

EVALUATION OF SOFT SPRING WHEAT LINES AND VARIETIES BY BREEDING INDICES

K. V. Zenkina, T. A. Aseeva

Abstract. The studies were conducted in 2019-2023 to evaluate soft spring wheat samples for the main economically important traits and to identify valuable forms for breeding. The material for the study was 26 varieties and lines of spring soft wheat bred by Far Eastern Research Institute of Agriculture, standard – Khabarovchanka. The soil of the site is meadow-brown podzolic-gley heavy loamy with pH_{salt} less than 4.5 units. In May-July of 2019, the excessive waterlogging was noted (HTC=2.6), in 2021-2023 – drought conditions (HTC=1.0…1.4), in 2020 – within the average long-term values

(HTC=1.7). According to grain yield (35.0…38.2 c/ha), the following varieties and breeding lines were distinguished: 21/1-01, 65/2-11, Zaryanka, 26/2-14, 19/1-14, 14/2-00, 29/8-06, 60/2-09, 11/7-14, Dalira, 48/2-14, 43/3-14, Elizaveta, 22/2-16, 47/1-14, which reliably exceeded the standard by 3.9…6.9 c/ha. The greatest influence on the productivity was exerted by the factor "year" - 67.8%, the effect of the factor "variety" reached 7.7%, their interaction - 24.5%. Promising for breeding work are the lines 94/3-09, 29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14, selected as a result of cluster analysis (Ward's method) of standardized values of a number of breeding indices: Mexican, which characterizes resistance to lodging (MI = 0.012 ... 0.016); Canadian, allowing to estimate the specific ear yield (KI = 0.153 ... 0.171); Finno-Scandinavian, determining the grain-forming ability (FSI = 0.321 ... 0.383); linear density of the spike, reflecting the genotype-environment relationship (LPC = 3.769 ... 4.292); spike potential, which characterizes potential productivity (IPC = 0.076 ... 0.092); the ratio of size to the number of grains in the spike, demonstrating competitiveness (ICC = 0.976 ... 1.204); prospects, indicating breeding value (IP = 0.326 ... 0.390); plant productivity, which indicates resistance to unfavorable environmental factors (IPR = 7.757 ... 9.713). High-yielding lines with high selection value include 29/8-06, 55/5-09, 48/2-14, 19/1-14, 65/2-11, 26/2-14, 118/1-99, 47/1-14, 11/7-14, 65/1-17, 43/3-14.

Key words: spring soft wheat (Triticum aestivum L.), productivity, yield, crop structure, selection index.

References

1. Zholaman R, Fedorenko E, Savin T. Influence of the North Kazakhstan plans weather of the productivity of the spring soft wheat. Scientific Horizons. 2022; No. 25 (10). 53-61 p. doi: 10.48077/scihor.25(10).2022.53-61.

2. Novokhatin VV. The theoretical justification of intensive genetic potential of the varieties of soft wheat. Agricultural biology. 2016; Vol.51. No.5. 627-635 p. doi: 10.15389/agrobiology.2016.5.627rus.

3. Taranova TYu, Romenskaya SE, Demina EA. [Evaluation of spring soft wheat varieties by grain quality indicators under changing conditions of the Middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2(74). 25-31 p.

4. Qian B, De Long R, Gameda S. Multivariate analysis of water-related agroclimatic factors limiting spring wheat yields on the Canadian prairies. European Journal of Agronomy. 2009; No.30 (2). 40-150 p. doi: 10.1016/j.eja.2008.09.003.

5. Kuzmenko NV, Murugova GA, Klykov AG. [Productivity of spring soft and durum wheat varieties in the conditions of Primorskiy Krai]. Agrarnaya nauka. 2023; 9. 79-83 p. doi: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-79-83.

6. Safonova IV, Aniskov NI. [Significance of a comprehensive assessment of selection indices and stress resistance parameters of winter rye varieties]. Agrarnyy vestnik Urala. 2022; 6 (221). 16-26 p.

7. Vilyunov SD, Sidorenko VS, Stepanova NA. [Use of vegetation indices in wheat and millet breeding]. Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 5. 18-34 p. doi: 10.26897/0021-342X-2023-5-18-34.

8. Zezin NN, Vorobev VA, Vorobev AV. [Priority technology for creating new high-yielding varieties of spring soft wheat in the Middle Urals]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2022; Vol.14. 6. 59-63 p. doi: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-59-63.

9. Stepanova NA, Sidorenko VS, Starikova ZhV. [Determination the productivity of spring soft wheat based on selection indices]. Zernobobovye i krupyanye kultury. 2021; 3(39). 91-96 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-3-91-96.

10. Dospekhov BF. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). 5-e izd., pererab. i dop. [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results). 5th edition, revised and added]. Moscow: Agropromizdat. 1985; 351 p.

11. Dorofeev VF, Rudenko MI, Filatenko AA. Mezhdunarodnyy klassifikator SEV. Roda Triticum L. [International classifier council for Mutual Economic Assistance. Triticum L genus.]. Leningrad: VIR. 1984; 85 p.

12. Ivanisova AS, Marchenko DM. [Use of selection indices in assessing the productivity of winter durum wheat]. Agrarnaya nauka. 2024; 8. 150-154 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154.

13. Maksimov RA. [New algorithm for selecting economically valuable barley genotypes]. APK Rossii. 2017; Vol.24. 2. 329-332 p.

Authors:

Zenkina Kristina Vladimirovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of the Laboratory of selection and biotechnology of leguminous crops and soybeans, e-mail: polosataya-zebra@mail.ru

Aseeva Tatyana Aleksandrovna – Doctor of Agricultural Sciences, chief researcher, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: aseeva59@mail.ru

Khabarovsk Federal Research Center of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-12-17
УДК 633.16:631.53:631.559

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗВЕНЕ ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА ЯЧМЕНЯ СОРТА ЗНАТНЫЙ ПРИ ПОСЕВЕ КОЛОСОМ

О. В. Левакова

Реферат. Исследование проводили в 2021–2023 годы в лесостепной зоне нечерноземной полосы Центрального региона РФ (Рязанская область) с целью оценки влияния регуляторов роста и развития растений (Циркон, Биосил), а также гуминовых веществ (Гумат калия) на продуктивность и биометрические показатели ячменя ярового в звене первичного семеноводства при посеве колосом. Полевую закладку опыта предварительно замоченными элитными колосьями проводили в питомнике испытания потомств 1 года (ПИП-1). Схема опыта включала следующие варианты: вода (контроль); Циркон (1 мл/10 л воды); Биосил (1 мл/0,5 л воды); Гумат калия (100 мл/1 л воды). Объект исследований – сорт ячменя ярового Знатный. Применение изучаемых препаратов, в сравнении с контрольным вариантом, положительно воздействует на рост и развитие растений, что проявилось в нарастании площади фотосинтетической активности листовой поверхности в разные фазы развития культуры и элементов структуры урожая. Наибольший достоверный прогрессивный эффект по всем исследуемым структурным показателям обеспечило применение Биосила, рост относительно контрольного варианта был равен 101,7…111,3%, по сравнению с другими вариантами опыта, – 2,7…5,4%. При этом длина колоса составила 9,8 см, количество зерен в колосе – 24,9 шт., количество продуктивных стеблей – 108,5 шт., коэффициент кущения – 3,8, масса зерна с колоса – 1,58 г, масса 1000 зерен – 54,2 г, высота растений – 67 см. В варианте с Биосилом отмечена самая высокая урожайность с семьи – 131,8 г, наибольшие уровень рентабельности (45,4 %) и условно чистый доход (13,18 тыс. руб./га).

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорт, посев колосом, первичное семеноводство, биометрические показатели, выход кондиционных семян, продуктивность, рентабельность.

Введение. Интенсификация развития селекции и производства семян стало одним из важнейших направлений в сфере растениеводческой отрасли. Их основная цель – создание и внедрение сортов/гибридов, обеспечивающих высокий и стабильный уровень продуктивности сельскохозяйственных культур с хорошими товарными показателями [1, 2].

Ассортимент сортов агрокультур, выращиваемых в сельскохозяйственном производстве, должен полностью соответствовать современному уровню развития агропромышленного комплекса, а успешное семеноводство поможет им реализовать свой продуктивный потенциал [3, 4, 5]. Для повышения урожайности зерновых культур применяют регуляторы роста и развития растений (РРРР) [6, 7], которые в последние годы все больше интересуют производителей растениеводческой продукции. Такие препараты привлекают своей экологичностью, сочетаются с любыми водорастворимыми удобрениями и пестицидами в баковой смеси [8, 9].

Особым вниманием пользуются экологически безопасные и нетоксичные препараты, произведенные на основе натурального сырья. Они обладают несколькими формами активности, способствующими стимуляции процессов метаболизма растений. Такие инновационные препараты предлагают новые подходы к управлению растительными процессами и предоставляют возможность решать более широкий спектр задач в практике сельского хозяйства [10, 11]. Экспериментальные полевые опыты, проведенные группой авторов [12, 13], доказывают, что в большинстве своем РРРР положительно влияют на зерновые культуры. Но нет данных об их использовании при производстве семеноводческой продукции.

Большое разнообразие используемых в аграрном производстве биологических препаратов, различающихся по составу микрофлоры и субстратов, из которых их готовят, и по воздействию на культурные растения, вызывает необходимость их всестороннего изучения в конкретных условиях регионов возделывания сельскохозяйственных культур. Оптимально подобранные элементы технологии в первичных звеньях семеноводства являются актуальным направлением исследований, так как играют значительную роль в повышении урожайности любой сельскохозяйственной культуры.

Цель исследований – оценка влияния РРРР (Циркон, Биосил) и гуминовых веществ (Гумат калия) на продуктивность и биометрические показатели ячменя ярового в звене первичного семеноводства при посеве колосом.

Условия, материалы и методы. Полевую закладку опыта предварительно замоченными колосьями проводили на полях Института семеноводства и агротехнологий – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Рязанская область), расположенного в лесостепной зоне нечерноземной полосы Центрального региона РФ в 2021–2023 годы. В опыте изучали РРРР Биосил (100 г/л смеси тритерпеновых кислот), полученный из экстракта хвои сибирской пихты; Циркон (0,1 г/л гидроксикоричных кислот (хлорогеновая, цикоревая, кофейная),

действующее вещество выделяют из лекарственного растения эхиноцея пурпурная); гуминовый препарат (ГП) –жидкий концентрат Гумата калия (80% гумата, янтарная и фульвовая кислоты, калий), полученный из ископаемого сырья (торфа, угля).

Объект исследований – сорт ячменя ярового Знатный.

Почва участка – темно-серая лесная, тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу, среднего уровня плодородия. Агрохимические показатели: pHсол. (ГОСТ 26483-85) – 4,88 ед.; содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91) – 4,54%; содержание подвижного фосфора и калия (ГОСТ Р 54650-2011) – соответственно 378,0 и 275,0 мг/кг почвы, азота нитратного (ГОСТ 26951-86) – 41,4 мг/кг, азота аммонийного (ГОСТ 26489-85) – 4,43 мг/кг, обменного магния (ГОСТ 26487-85) – 2,16 ммоль/100 г.

Предшественник в первичном семеноводстве – «чистый пар», минимизирующий механическое засорение посевов.

После отбора элитных растений в количестве 350…400 шт., питомник ПИП-1 (питомник испытания потомств 1 года) засевали вручную необмолоченными колосьями [14]. При таком способе закладки семьи развиваются в виде «гнезда». Схема посева 30×30 см (рис. 1).



Рис. 1 – Схема посева необмолоченным колосом ПИП-1 ячменя ярового

Экспериментальную закладку, учеты и оценку хозяйственно-биологической ценности вариантов полевого опыта, уборочный индекс, или коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($К_{хоз}$), статистический анализ данных осуществляли согласно общепринятым для аналогичных исследований методикам *(Методические рекомендации по производству семян элиты зерновых, зернобобовых и крупяных культур / разраб. Н. В. Большаков и др. М.: ВАСХНИЛ, 1990. 39 с.; Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.; Мокроносов А. Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма. М.: Наука, 1983. 64 с.)* с использованием компьютерной программы «Microsoft Office Excel».

Колосья предварительно замачивали на 2 часа согласно схеме опыта: 1) контроль (вода); 2) Циркон (1 мл/10 л воды); 3) Биосил (1 мл/0,5 л воды); 4) Гумат калия (100 мл/1 л воды).

Чистосортные семьи сорта Знатный убирали с помощью серпа с последующим обмолотом на пучковой молотилке МТПУ-500 и дальнейшей подработкой вручную на решётах для круной фракции 2,4×20,0 мм.

Метеорологические условия периода май–июль (по данным метеостанции Институте семеноводства и агротехнологий – филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) за весь период исследований отличался крайней неравномерностью распределения осадков и показателей среднесуточной температуры воздуха по фазам развития ячменя.

В 2021 году отмечали резкие перепады среднесуточных температур воздуха в течение вегетации и неравномерную влагообеспеченность (ГТК = 0,70). Вегетационный период 2022 года был засушливым (ГТК=0,53). Сильная засуха проявилась в июле, среднесуточная температура имела повышенные значения – дневные температуры достигали до 28…34°С, а среднесуточные на 5,2°С больше среднемноголетних значений.

Вегетационный период 2023 года характеризовался оптимальным значением по гидротермическому коэффициенту – ГТК=0,90. Температурный режим практически соответствовал среднемноголетним значениям, а осадки выпадали крайне неравномерно и в виде ливневых дождей. Но важные этапы органогенеза (кущение, выход в трубку, колошение) проходили со значительным недобором влаги в почве (рис. 2).

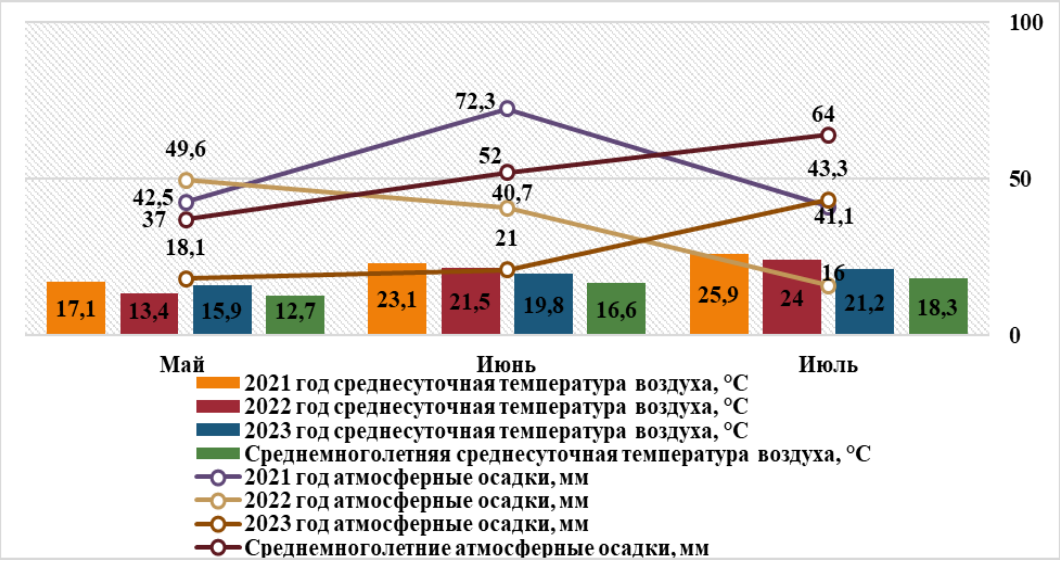


Рис. 2 – Распределение атмосферных осадков (мм) и среднесуточных температур воздуха (°С) периода вегетации ярового ячменя (2021–2023 годы)

Результаты и обсуждение. Размер листового аппарата играет не маловажную роль в формировании размера и качества урожая. Полевые наблюдения в разные фенологические фазы роста и развития растений ячменя на опытных вариантах выявили увеличение листовой поверхности с применением РРРР и Гумата калия в сравнении с контролем в фазе кущения на 0,6…0,7 см^2/растение, выход в трубку – 0,7…1,3 см^2/растение, колошение – 2,0…2,8 см^2/растение (рис. 3).

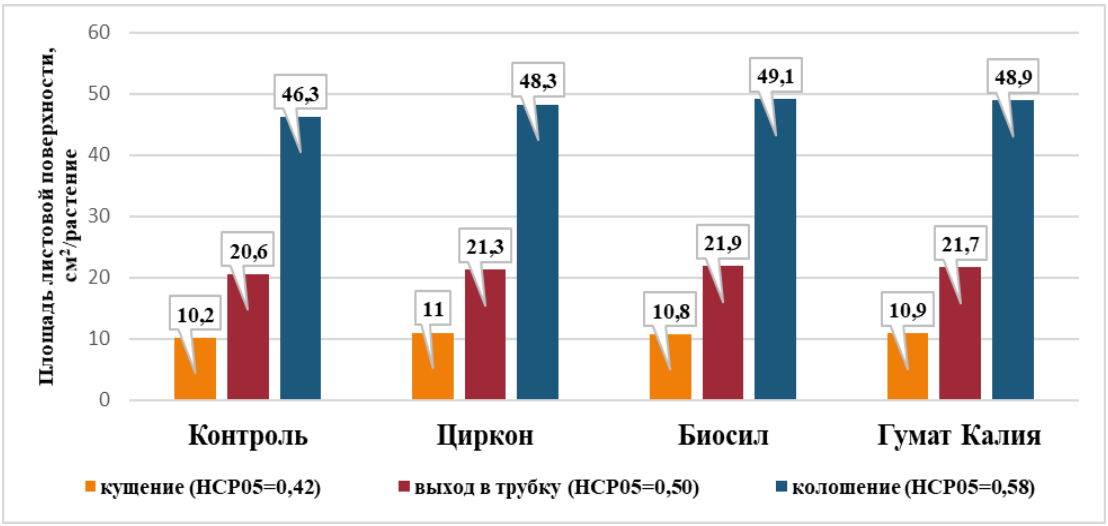


Рис. 3 – Площадь листовой поверхности (см^2/растение) ярового ячменя Знатный при посеве колосом в зависимости от варианта опыта (среднее 2021-2023 годы)

Наблюдается увеличение вегетативной массы, в сравнении с контролем, по фазам развития ячменя с применение РРРР и ГП: в фазе кущения на 105,9…107,8%; выхода в трубку – на 103,4…106,3%; колошения – на 104,3…106,0%. Наибольшая вегетативная масса отмечена при замачивании колосьев в растворе РРРР Биосил. При среднем вегетационном периоде вариантов опыта 86…87 дней, вариант с применением Биосила, благодаря большей вегетативной массе (r=+0,553), увеличивал период вегетации на 2…3 дня (89 дней).

Применение РРРР и ГП оказывало благоприятное влияние на рост и развитие растений ярового ячменя сорта Знатный. Предпосевное замачивание колосьев в растворах с РРРР и ГП оказало положительной

влияние на структурные показатели исследуемого сорта, в сравнении с контролем. Наибольший достоверный прогрессивный эффект по всем исследуемым биометрическим показателям на 101,7…111,3% относительно контрольного варианта обеспечил Биосил, в варианте с которым отмечали следующие структурные элементы: длина колоса – 9,8 см, количество зерен в колосе – 24,9 шт., количество продуктивных стеблей – 108,5 шт., коэффициент кущения – 3,8, масса зерна с колоса – 1,58 г, масса 1000 зерен – 54,2 г, высота растений – 67 см (см. табл.).

Эти структурные элементы имеют существенный, статистически значимый ($p \geq 0,05$) вклад в полученную урожайность семьи $r=0,711…0,976$. Соответственно, РРРР Биосил обеспечил самую высокую урожайность с семьи – 131,8 г, что выше, чем в контроле, на 115,4%, по сравнению с другими вариантами опыта, – на 109,7 …111,4%.

Масса 1000 зерен во всех вариантах составляла от 53,3 г (контроль) до 54,5 г (Гумат калия).

Таблица – Индивидуальная продуктивность семьи сорта Знатный при посеве колосом в зависимости от варианта опыта (среднее за 2021–2023 годы)

Вариант	Длина стебля, см	Коэффициент кущения	Количество, шт.		Длина колоса, см	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность семьи, г
			продуктивных стеблей	зерен в колосе				
Контроль	66±1,8	3,6±0,3	97,5±3,8	22,8±0,4	9,2±0,2	1,51±0,1	53,3±0,8	114,2±3,4
Циркон	61±1,6	3,7±0,2	106,5±5,3	24,0±0,8	9,3±0,1	1,53±0,1	53,6±0,7	118,3±2,7
Биосил	67±2,1	3,8±0,4	108,5±4,6	24,9±0,5	9,8±0,2	1,58±0,1	54,2±0,9	131,8±3,6
Гумат калия	66±2,0	3,6±0,1	98,0±5,4	24,8±0,4	9,5±0,2	1,52±0,1	54,5±1,6	120,2±4,1
$НСР_{05}$	5,1	0,12	4,8	1,2	0,36	0,18	0,83	3,7
Коррелируемые с урожайностью показатели, r								
-	+0,405	+0,854*	+0,711*	+0,901*	+0,976*	+0,968*	+0,617*	-

*Примечание. Данные в таблице представлены в виде среднего и стандартной ошибки средней ($\bar{x} \pm S\bar{x}$). *$p \geq 0,05$.*

Выбор $К_{хоз}$ в качестве косвенного критерия эффективности применяемых препаратов основан из многочисленных ретроспективных исследований, в которых показано, что за последние десятилетия рост урожайности ряда культур сопряжён с повышением $К_{хоз}$ у более современных сортов [15]. Наибольшая величина показателя $К_{хоз}$, % отмечена в варианте с применением Гумата калия – 57,0%, наименьшая при использовании Циркона – 53,9% (рис. 4).

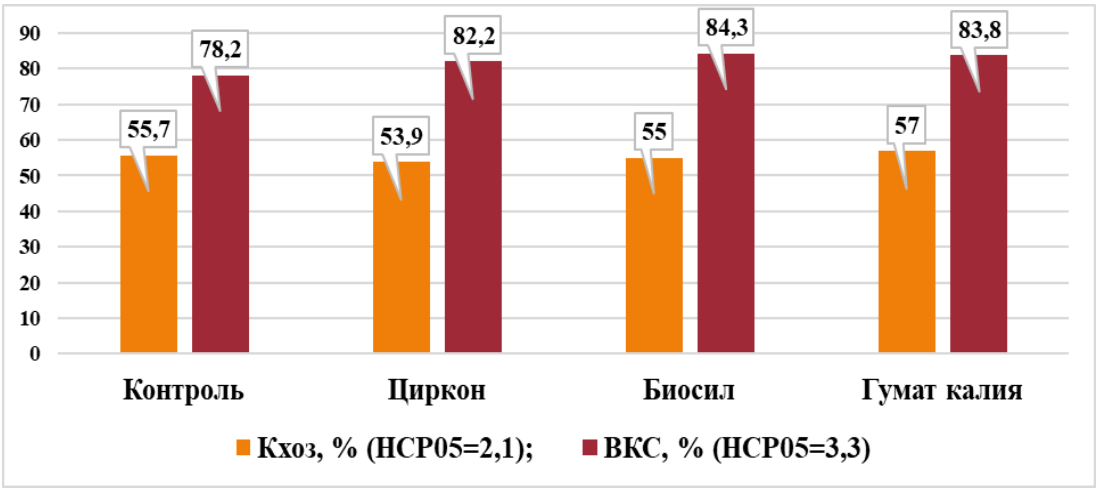


Рис. 4 – Уборочный индекс ($К_{хоз}$, %) и выход кондиционных семян (ВКС, %) (среднее за 2021–2023 годы)

Проведенный лабораторный анализ подработанного семенного материала ярового ячменя выявил высокий выход кондиционных семян (ВКС), имеющий важное значение в семеноводческой практике, во всех вариантах опыта – более 75,0%. Величина ВКС имеет тесную положительную связь ($r=+0,878$) с массой 1000 зерен. Применение РРРР и ГП повышало выход кондиционных семян на 104,3…107,8%. Самой высокой была величина этого показателя в варианте с применением РРРР Биосил – 84,3%.

Расчет экономической эффективности применения РРРР (Циркон, Биосил) и гуминовых веществ (Гумат калия), исходя из рыночной стоимости продукции (при продаже оригинального зерна питомника размножения 2-го года по стоимости 32000 руб./т), производственных затрат и урожайности показал, что наибольшие уровень рентабельности и условно чистый доход имеет РРРР Биосил – 45,4% и 13,18 тыс. руб./га,

соответственно. Эти показатели на 70,0% выше, в сравнении с контролем, и на 39,3…48,8%, в сравнении с другими вариантами опыта (рис. 5).

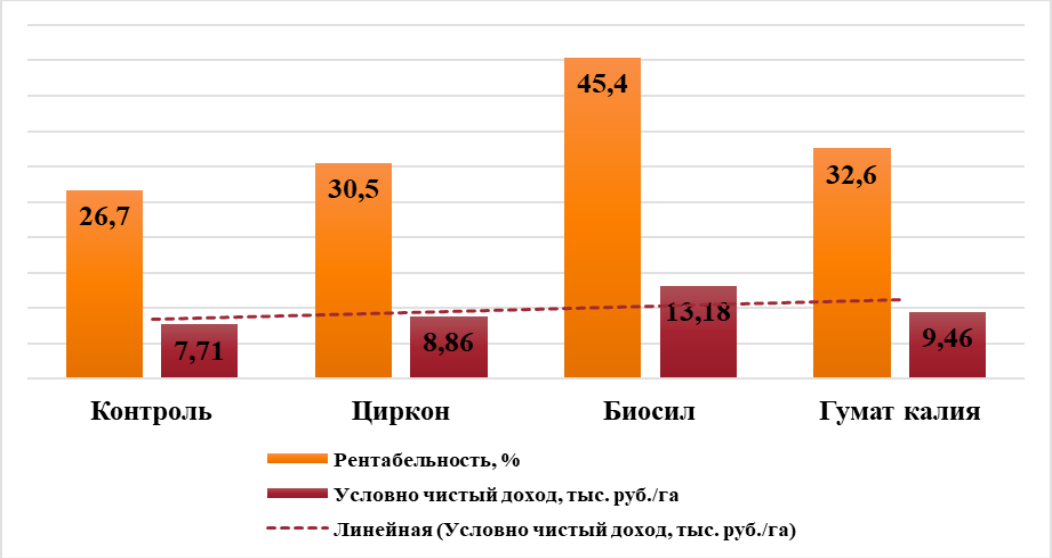


Рис. 5 – Рентабельность и условно чистый доход производства зерна ячменя с применением РРРР и Гумата калия при посеве колосом

Выводы. Проводимые исследования с применением РРРР (Циркон, Биосил) и гуминовых веществ (Гумат калия) в лесостепной зоне нечерноземной полосы Центрального региона РФ (Рязанская область) в звене первичного семеноводства при посеве колосом имеет положительный эффект на полученные продуктивность и структурные показатели растений ячменя. Наибольший достоверный эффект по всем исследуемым биометрическим показателям имел РРРР Биосил, увеличив следующие элементы относительно контроля: длину колоса на 106,5%, количества зерен в колосе на 109,2%, количество продуктивных стеблей на 111,3%, коэффициент кущения на 105,6%, массу зерна с колоса на 104,6%, массы 1000 зерен на 101,7%. РРРР Биосил показал самую высокую урожайность с семьи – 131,8 г (преимущество относительно контроля на 115,4%, других вариантов опыта – на 109,7 …111,4%) и высокие значения выхода кондиционных семян 84,3%. Расчет экономической эффективности показал, что наибольшие уровень рентабельности и условно чистый доход имеет РРРР Биосил – 45,4% и 13,18 тыс. руб./га, соответственно.

Литература

1.К созданию ярового ячменя сорта Камашевский / В. И. Блохин, М. К. Шайхов, М. А. Ланочкина и др. // Кормопроизводство. 2018. №3. С. 25–30.

2.Levakova O. V. Analytical studies of new genetic sources of Nordeum vulgare l. sensulato on ecological adaptability in the conditions of the center of the European part of Russia // BIO Web of Conferences. 2023. 71. Article 01086. URL:https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/16/bioconf_cibta2023_01086.pdf (дата обращения: 15.01.2024). doi:10.1051/bioconf/20237101086.

3.Левакова О. В., Гладышева О. В., Ерошенко Л. М. Адаптированный к условиям Центрального региона новый сорт ячменя ярового Рафаэль // Зерновое хозяйство России. 2023. №1. С. 42–49.

4.Организация первичного семеноводства новых сортов зерновых, зернобобовых, крупяных культур и сои / А. А. Полухин, З. Р. Цуканова, А. А. Гусева и др. // Земледелие. 2022. № 5. С. 28–31.

5.Левакова О. В. Отзывчивость нового сорта ярового ячменя Знатный на норму высева в условиях Рязанской области // Аграрная наука. 2021. № 3. С. 70–73.

6.Исследование действия биопрепарата на основе гуматов и микроэлементов на морфометрические показатели и урожайные данные озимой пшеницы / Н. Е. Павловская, И. Н. Гагарина, Д. Б. Бородин и др. // Вестник ОрелГАУ. 2023. № 1(100). С. 93–99.

7.Левакова О. В. Биологическая эффективность применения гиббереллиновой кислоты в технологии возделывания рапса ярового в условиях Рязанской области // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 42–47.

8.Оценка эффективности предпосевной обработки семян и посевов биологически активными веществами на яровой пшенице в условиях предкамья республики Татарстан / М. Ф. Амиров, А. Я. Сафиуллин, М. Ю. Гилязов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 2(70). С. 5–12.

9.Артемьева А. Е., Захарова М. Н., Рожкова Л. В. Эффективность применения регулятора роста Энергия-М в системе защиты озимой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (6). С. 887–895.

10.Никифорова С. А. Влияние макро- и микроудобрений и биостимулятора на продуктивность и качество маслосемян подсолнечника // Вестник Казанского ГАУ. 2022. № 6 (68). С. 32–38.

11.Сравнительная оценка эффективности различных гуминовых препаратов при возделывании ячменя в условиях радиоактивного загрязнения почв / Д. Г. Свириденко, К. В. Петров, С. П. Арышева и др. // Вестник

ОрелГАУ. 2023. №2 (101). С. 57–67.

12.Трухачев В. И. Об итогах международной научной конференции "Агробиотехнология-2021" // Известия ТСХА. 2021. № 5. С. 5–18.

13.Горепекин И. В., Федотов Г. Н. Оценка возможности разработки высокоэффективного универсального стимулятора для предпосевной обработки семян зерновых культур // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2021. № 2. С. 38–44.

14.К разработке селекционной сеялки для посева зерновых культур колосьями / М. К. Шайхов, Э. В. Жалнин, М. М. Шайхов и др. // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3(32). С. 114–120.

15.Visualizing harvest index in crops / A. Wnuk, A. Gorny, J. Bocianowski, et al. // Communications in Biometry and Crop Science. 2013. No. 8. P. 48–59.

Сведения об авторе:

Левакова Ольга Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, e-mail: levakova.olga@bk.ru

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Рязанская область, Россия

USE OF GROWTH STIMULATORS AND HUMIC SUBSTANCES IN THE PRIMARY SEED PRODUCTION LINK OF BARLEY OF ZNATNYY VARIETY WHEN SOWING IN ONE SPEECH

O. V. Levakova

Abstract. The study was conducted in 2021-2023 in the forest-steppe zone of the non-chernozem zone of the Central region of the Russian Federation (Ryazan region) in order to assess the effect of plant growth and development regulators (Zircon, Biosil), as well as humic substances (Potassium Humate) on the productivity and biometric indicators of spring barley in the primary seed production link when sowing in one spike. The field laying of the experiment with pre-soaked elite ears was carried out in the nursery for testing 1-year-old progeny (PIP-1). The experimental design included the following options: water (control); Zircon (1 ml/10 l of water); Biosil (1 ml/0.5 l of water); Potassium humate (100 ml/1 l of water). The object of the study is spring barley of Znatnyy variety. The use of the studied preparations, in comparison with the control variant, has a positive effect on the growth and development of plants, which was manifested in an increase in the area of photosynthetic activity of the leaf surface in different phases of crop development and elements of the crop structure. The greatest reliable progressive effect for all the studied structural indicators was provided by the use of Biosil, the growth relative to the control variant was 101.7 ... 111.3%, compared to other experimental variants - 2.7 ... 5.4%. The ear length was 9.8 cm, the number of grains in an ear was 24.9 pcs., the number of productive stems was 108.5 pcs., the tillering coefficient was 3.8, the grain weight per ear was 1.58 g, the weight of 1000 grains was 54.2 g, and the plant height was 67 cm. The Biosil variant showed the highest yield per family – 131.8 g, the highest profitability (45.4%) and conditional net income (13.18 thousand rubles/ha).

Key words: barley (*Hordeum vulgare* L.), variety, ear sowing, primary seed production, biometric indicators, yield of quality seeds, productivity, profitability.

References

1. Blokhin VI, Shaykhov MK, Lanochkina MA. [Creation of spring barley of Kamashevskiy variety]. Kormoproizvodstvo. 2018; 3. 25-30 p.

2. Levakova OV. Analytical studies of new genetic sources of Nordeum vulgare l. sensulato on ecological adaptability in the conditions of the center of the European part of Russia. [Internet]. BIO Web of Conferences. 2023; 71. Article 01086. [cited 2024, January 15]. Available from: https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/16/bioconf_cibta2023_01086.pdf. doi:10.1051/bioconf/20237101086.

3. Levakova OV, Gladysheva OV, Eroshenko LM. [New spring barley variety Rafael adapted to the conditions of the Central region]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2023; 1. 42-49 p.

4. Polukhin AA, Tsukanova ZR, Guseva AA. [Organization of primary seed production of new varieties of grain, legumes, cereal crops and soybeans]. Zemledelie. 2022; 5. 28-31 p.

5. Levakova OV. [Responsiveness of new spring barley of Znatnyy variety to the seeding rate in the conditions of Ryazan region]. Agrarnaya nauka. 2021; 3. 70-73 p.

6. Pavlovskaya NE, Gagarina IN, Borodin DB. [Study of the effect of a biopreparation based on humates and microelements on morphometric parameters and yield data of winter wheat]. Vestnik OrelGAU. 2023; 1(100). 93-99 p.

7. Levakova OV. [Biological efficiency of using gibberellic acid in spring rape cultivation technology in Ryazan region]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2023; 2. 42-47 p.

8. Amirov MF, Safiullin AYa, Gilyazov MYu. [Evaluation of the effectiveness of pre-sowing seeds treatment and crops with biologically active substances on spring wheat in the conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2023; 2(70). 5-12 p.

9. Artemeva AE, Zakharova MN, Rozhkova LV. [Efficiency of using Energiya-M growth regulator in the winter wheat protection system]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021; 22 (6). 887-895 p.

10. Nikiforova SA. [Influence of macro- and microfertilizers and biostimulator on the productivity and quality of sunflower oil seeds]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2022; 6 (68). 32-38 p.

11. Sviridenko DG, Petrov KV, Arysheva SP. [Comparative assessment of the effectiveness of various humic preparations in barley cultivation under conditions of radioactive soil contamination]. Vestnik OrelGAU. 2023; 2 (101). 57-67 p.

12. Trukhachev VI. [On the results of international scientific conference “Agrobiotechnology-2021”]. Izvestiya TSKhA. 2021; 5. 5-18 p.

13. Gorepekin IV, Fedotov GN. [Assessment the possibility of developing a highly effective universal stimulant for pre-sowing treatment of grain crop seeds]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. 2021; 2.38-44 p.

14. Shaykhov MK, Zhalnin EV, Shaykhov MM. [On the development of a breeding seeder for sowing grain crops with ears]. Vestnik VIESKh. 2018; 3(32). 114-120 p.

15. Wnuk A, Gorny A, Bocianowski J. Visualizing harvest index in crops. Communications in Biometry and Crop Science. 2013; No.8. 48-59 p.

Author:

Levakova Olga Viktorovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, e-mail: levakova.olga@bk.ru

Institute of Seed Production and Agricultural Technologies – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM”, Ryazan Region, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-18-23
УДК 631.46

ИЗОЛЯТЫ ИЗ РИЗОСФЕРЫ И ФИЛОПЛАНЫ ПОДСОЛНЕЧНИКА, ПРОДУЦЕНТЫ ФИТОГОРМОНОВ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БИОАГЕНТЫ-СТИМУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ

К. Сапармырадов, Н. М. Александрова, Ш. З. Валидов

Реферат. В условиях глобальных экологических вызовов возрастает необходимость модернизации земледелия путем разработки и распространения экологически безопасных бактериальных инокулянтов, способных заменить химические удобрения и пестициды, что особенно важно для устойчивого развития сельского хозяйства. Исследования проводили с целью поиска микроорганизмов-продуцентов фитогормонов для стимуляции роста растений и составления биологически активного консорциума. Работу выполняли в лабораторных условиях с выделенными из ризосферы и филопланы подсолнечника 17-и изолятами микроорганизмов, способных синтезировать ауксины, в частности, индолил-3-уксусную кислоту. Скрининг биосинтеза этой кислоты исследуемыми изолятами в чашечном тесте на агаризованной среде с реактивом Сальковского позволил выявить качественную положительную реакцию и установить концентрации индолил-3-уксусной кислоты у выделенных изолятов. В результате изучения фенотипических признаков и молекулярно-генетического анализа последовательностей гена 16S рРНК определена видовая принадлежность выделенных микроорганизмов. Три наиболее активных изолята, способных к производству фитогормона, относятся к роду *Pseudomonas* и были идентифицированы до вида как *Pseudomonas poae*, *Pseudomonas frederiksbergensis* и *Pseudomonas brassicacearum*. Синтез индолил-3-уксусной кислоты этими изолятами составляет 93,0±0,4 мкг/мл; 69,6±2,0 мкг/мл и 74,2±2,5 мкг/мл соответственно. Изолят КПД77, идентифицированный как *Arthrobacter oryzae*, продемонстрировал уровень синтеза индолил-3-уксусной кислоты, равный 86,1±2,8 мкг/мл. Способность микроорганизмов этого вида к синтезу такого фитогормона установлена впервые. На основе полученных данных отобрано пять перспективных изолятов, выделенных из ризосферы и филоплана подсолнечника, для формирования консорциума микроорганизмов, предназначенного для стимуляции роста растений.

Ключевые слова: индолил-3-уксусная кислота, фитогормон, биопрепарат, микроорганизмы.

Введение. Почвенная микрофлора представляет собой совокупность различных микроорганизмов, которые находятся в тесной взаимосвязи с растительным миром. Существование микробов в ризосфере во многом зависит от корневых экссудатов растений [1]. Аналогичным образом, эндофиты приносят пользу своему хозяину, синтезируя ценные вторичные метаболиты для своего хозяина и взамен получая пищу и убежище [2]. Одной из причин взаимодействия микроорганизмов с растениями выступает способность микроорганизмов вырабатывать фитогормоны [3]. Фитогормонами, вырабатываемыми микроорганизмами, считаются: ауксин, гиббереллин, цитокинин, этилен и абсцизовая кислота. В дополнение к этим пяти гормонам жасмоновая и салициловая кислоты также документированы как бактериальные гормоны [4]. Индолил-3-уксусная кислота служит наиболее распространенным членом семейства фитогормонов ауксинов [5]. Индолил-3-уксусная кислота в растении участвует в закладке и удлинении корней, а также в других процессах, связанных с дифференциацией и пролиферацией растительной ткани [6]. Также в некоторых исследованиях отмечено, что индолил-3-уксусная кислота управляет точными фенотипическими эффектами в растениях, включая реакцию корней и побегов на свет и гравитацию, дифференциацию сосудистой ткани, апикальное доминирование, инициацию боковых и придаточных корней [7].

Использование бактериальных инокулянтов, способствующих росту растений, в качестве живых микробных биоудобрений служит многообещающей альтернативой химическим удобрениям и пестицидам. Растворение неорганического фосфата и синтез индолил-3-уксусной кислоты выступает одним из основных механизмов стимулирования роста растений бактериями [8].

Существует много исследований, где разные ризосферные микроорганизмы использовали как биоагенты для стимуляции роста растений [9, 10, 11]. Результаты этих исследований показывают, что индолил-3-уксусная кислота, выделяемая бактериями, положительно сказывается как на всхожести, так и на росте растений в целом [12]. Положительное влияние оказывает как обработка культуральной бесклеточной жидкостью, так и клеточными препаратами.

В связи с этим, выделение из ризосферы и филопланы растений изолятов, продуцирующих фитогормоны актуально.

Цель исследований – поиск микроорганизмов-продуцентов фитогормонов для стимуляции роста растений, и составление биологически активного консорциума.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов на базе ФИЦ КазНЦ РАН. Образцы ризосферы и филопланы подсолнечника были получены на разных стадиях развития

подсолнечника на опытном поле Татарского научно-исследовательского института сельского хозяйства Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук» в период с июня по сентябрь 2022 года Все образцы ризосферы и филопланы подсолнечника хранили при температуре +4°С до исследования.

Образцы ризосферы и филопланы подсолнечника для исследований собирали в стерильные пробирки типа Falcon на 50 мл. Далее проводили смывы, к испытуемому образцу приливали фосфатно-солевой буфер (ФСБ) в соотношении 1 г образца: 19 мл буфера, перемешивали с использованием вортекса в течение 1 минуты. Разведенные до 10^{-6} смывы пересевали на питательную среду Кинга Б (пептон – 10 г/л, глицерин – 10 г/л, K_2HPO_4 – 1,5 г/л, $MgSO_4$ – 1,5 г/л, агар микробиологический – 20 г/л). Чашки Петри с культурами инкубировали при температуре +28°С в термостате в течение 24…36 часов.

Для определения видовой принадлежности полученных изолятов выделяли геномную ДНК методом фенол-хлороформной экстракции [13]. Полимеразную цепную реакцию амплификации гена 16S рРНК проводили по стандартной методике [14]. Использованы универсальные праймеры 27F (5’-gagtttgatcctggctcag-3’) и 1492R (5’-taccttgttacgactt-3’) [15]. Реакционную смесь для амплификации готовили из расчета на 1 пробу: 10Х Tag-буфер – 5 мкл, dNTP – 1 мкл, праймеры (27F/1492R) – 1 мкл, Taq-полимераза – 1 мкл, ДНК – 1 мкл и mQ – 42 мкл. ПЦР амплификация состояла из 36 циклов – денатурация ДНК при +95°С в течении 20 сек; отжиг при температуре +54°С в течении 30 сек; синтез при температуре +72°С в течении 90 сек. Окончательный синтез проводили при температуре +72°С в течении 5 мин. Полученные ампликоны хранили при температуре -20°С.

Секвенирование проводили по Сэнгеру в компании «Евроген» (Москва). Полученные последовательности секвенирования обрабатывали в программе Clone Manager 9 и сопоставляли с фрагментом гена 16S рРНК, представленным в базе данных NCBI GenBank, с использованием BLASTn (дата обращения: 15.08.2024).

Для первичного скрининга биосинтеза индол-3-уксусной кислоты исследуемые изоляты инкубировали на чашке Петри с агаризованной средой LB (триптон – 10 г/л, NaCl – 10 г/л, дрожжевой экстракт – 1,5 г/л, $MgSO_4$ – 1,5 г/л, агар микробиологический – 20 г/л) с добавлением 0,1% L-триптофана в качестве предшественника индолил-3-уксусной кислоты при температуре 28°С в течении 3 суток.

На агаризованную среду с выросшими культурами наносили реактив Сальковского (1 мл 0,5М $FeCl_3$ в 50 мл 35% хлорной кислоты) и оставляли в темном месте в течение 30 минут. Положительным результатом служили розовые круги вокруг колоний.

Количественный анализ индол-3-уксусной кислоты выполняли колориметрическим методом. Для оценки количества индол-3-уксусной кислоты изоляты выращивали в среде LB с добавлением 0,1% L-триптофана, который использовали в качестве предшественника. Культивирование проводили при температуре +28°С с постоянным встряхиванием (180 об/мин) в течение 72 часов. После завершения инкубации для удаления клеток культуральную жидкость центрифугировали при 13400 об/мин в течение 10 минут. Из полученного супернатанта отбирали 1 мл и смешивали с реактивом Сальковского в соотношении 1:4. Полученную смесь инкубировали в темном месте при комнатной температуре в течение 30 минут. Измерение оптической плотности проводили при длине волны 530 нм. Концентрацию индолил-3-уксусной кислоты оценивали по стандартной кривой в диапазоне 0…1000 мкг/мл. В качестве контроля использовали 1 мл стерильной среды LB, смешанной с реактивом Сальковского [16].

Для создания консорциума из микроорганизмов для стимуляции роста растений были отобраны наиболее перспективные изоляты и проводили тест на биосовместимость в трёх разных средах: LB, Кинга Б, PDA (Qingdao Hope Bio-Technology Co., Ltd., Китай).

Результаты и обсуждение. По полученным последовательностям гена 16S рРНК большинство выделенных изолятов отнесены к роду *Pseudomonas*, которые в основном входят в состав группы флюоресцирующих бактерий *Pseudomonas fluorescens group*, три изолята (АПД43, КПД20 и КПД77) – к классу *Actinobacteria* и столько же – к семейству *Bacilli* (КПД8, КПД18 и КПД75).

Бактерии комменсалы или симбионты растений часто синтезируют фитогормоны, такие как ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилены и абсцизовая кислота. Наиболее распространенным и лучше всего охарактеризованным и физиологически активным ауксином в растениях выступает индолил-3-уксусная кислота, которая повышает как скорость удлинения клеток, так и их деление, и дифференциацию в растениях.

Первичный скрининг биосинтеза индолил-3-уксусной кислоты исследуемых бактериальных изолятов в чашечном тесте на агаризованной среде с реактивом Сальковского, позволил выявить качественную положительную реакцию на все исследуемые изоляты. С использованием колориметрического метода с реактивом Сальковского определили концентрации индолил-3-уксусной кислоты в исследуемых изолятах (табл. 1).

Таблица 1 – Концентрация индолил-3-уксусной кислоты в исследуемых изолятах

Изолят	Видовая принадлежность	Концентрация индолил-3-уксусной кислоты, мкг/мл
АПД21	*Pseudomonas grimontii*	40,5±0,5
АПД23	*Pseudomonas poae*	93,0±0,4
АПД26	*Pseudomonas grimontii*	27,0±1,1
АПД28	*Pseudomonas extremaustralis*	32,0±2,4
АПД43	*Streptomyces luteogriseus*	55,2±0,3
АПД22	*Stenotrophomonas rhizophila*	36,5±2,4
КПД8	*Fictibacillus solisalsi*	29,0±1,8
КПД9	*Variovorax paradoxus*	25,5±2,3
КПД18	*Psychrobacillus psychrodurans*	11,9±2,8
КПД20	*Arthrobacter oryzae*	66,6±1,5
КПД29	*Pseudomonas poae*	41,2±2,5
КПД38	*Pseudomonas frederiksbergensis*	69,6±2,0
КПД68	*Pseudomonas brassicacearum*	74,2±2,5
КПД70	*Pseudomonas azotoformans*	19,6±2,1
КПД71	*Pseudomonas cedrina*	13,4±0,4
КПД75	*Bacillus aryabhattai*	56,9±1,6
КПД77	*Arthrobacter oryzae*	86,1±2,8

Большинство изолятов синтезируют относительно высокие концентрации индолил-3-уксусной кислоты. Наиболее активными продуцентами оказались изоляты АПД23, КПД20, КПД38, КПД68 и КПД77, из которых три относятся к роду *Pseudomonas*, а два – к *Arthrobacter*.

Род *Pseudomonas* – хорошо изученная группа микроорганизмов, известных способностью синтезировать индолил-3-уксусную кислоту. В различных исследованиях было показано, что концентрации этого соединения варьируют от 50 мкг/мл до 100 мг/мл [17]. Как сообщают E. Ibrahim, et al. [18], выделенный ими штамм *Pseudomonas poae* продемонстрировал стимуляцию роста пшеницы и синтезировал 72,5 мкг/мл индолил-3-уксусной кислоты. В то же время изолят АПД23, идентифицированный как *Pseudomonas poae*, показал более высокий уровень синтеза — 93,00±0,4 мкг/мл. Изоляты КПД38 и КПД68 также продемонстрировали значительные уровни синтеза индолил-3-уксусной кислоты, составившие 69,62±2,0 мкг/мл и 74,25±2,5 мкг/мл соответственно. Эти изоляты были идентифицированы как *Pseudomonas frederiksbergensis* и *Pseudomonas brassicacearum*. Согласно исследованиям A. Jiménez-Gómez, et al., *Pseudomonas brassicacearum* рассматриваются как перспективные кандидаты для стимуляции роста рапса, что было подтверждено полевыми испытаниями [19]. Кроме того, благодаря их высокой колонизирующей способности и другим положительным свойствам, эти микроорганизмы пользуются высоким спросом разработке биопрепаратов.

Микроорганизмы рода *Arthrobacter* известны своей устойчивостью к тяжелым металлам и способностью оказывать положительное влияние на загрязненные почвы [20, 21]. Изоляты КПД20 и КПД77 были идентифицированы до вида с использованием последовательности гена 16S рРНК как *Arthrobacter oryzae* и продемонстрировали высокие уровни синтеза индолил-3-уксусной кислоты, составившие 66,6±1,5 мкг/мл и 86,1±2,8 мкг/мл соответственно. Вид *Arthrobacter oryzae* был предложен как новый вид только в 2008 году [22], и его способность синтезировать индолил-3-уксусную кислоту ранее не описывалась. В наших исследованиях впервые отмечена способность микроорганизмов вида *Arthrobacter oryzae* к синтезу фитогормона индолил-3-уксусной кислоты, что открывает возможности их использования в составе консорциумов из микроорганизмов для разработки биопрепаратов.

Для микробных консорциумов с биозащитой, изолят АПД43, который был определен до вида как *Streptomyces luteogriseus*, будет служить хорошим кандидатом, так как его способность к синтезу индолил-3-уксусной кислоты выше средней среди исследуемых изолятов, точнее – 55,2±0,3 мкг/мл. Кроме того, стрептомицеты известны своими вторичными метаболитами: ферментами, антибиотиками, аминокислотами и др. Поэтому изолят АПД43 может послужить темой для дальнейших исследований.

Таким путем по полученным результатам были отобраны пять изолятов и из них сформирован консорциум. В состав консорциума вошли изоляты, выделенные из растений подсолнечника: *Pseudomonas frederiksbergensis* (КПД38, штамм, повышающий холодоустойчивость растений и контролирующий стресс растений от засоленных почв), *Pseudomonas poae* (АПД23, штамм-антагонист фитопатогенов), *Streptomyces luteogriseus* (АПД43, антагонист фитопатогенов, продуцент антибактериальных соединений пелиомицина и стрептонола А), *Pseudomonas azotoformans* (КПД70, подвижный штамм, колонизатор корней растений, смягчает стресс растений при засухе), *Fictibacillus solisalsi* (КПД8, колонизатор корней, галотолерантный штамм). Эти изоляты совместимы между собой (рис.).

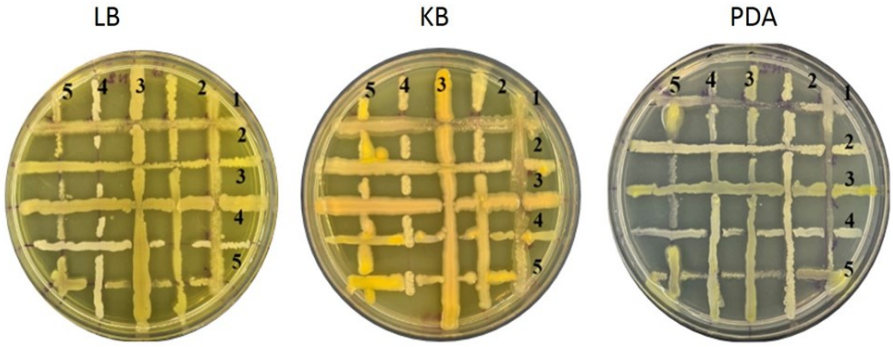


Рис. – Совместимость бактериальных штаммов консорциума

Выводы. Изоляты АПД23, КПД20, КПД38, КПД68 и КПД77, выделенные из ризосферы и филопланы подсолнечника, способны продуцировать фитогормоны и могут быть использованы в составе ростостимулирующих биопрепаратов для растений.

Сведение об источнике финансирования Работа выполнена в рамках Государственного задания № 124050300050-4.

Литература

1. An ABC transporter mutation alters root exudation of phytochemicals that provoke an overhaul of natural soil microbiota / D. V. Badri, N. Quintana, E. G. El. Kassis, et al. // Plant physiology. 2009. Vol. 151. No. 4. P. 2006–2017. doi: 10.1104/pp.109.147462.

2. Endophytic fungi as biocontrol agents: elucidating mechanisms in disease suppression / M. A. C. Latz, B. Jensen, D. B. Collinge, et al. // Plant Ecology & Diversity. 2018. Vol. 11. No. 5–6. P. 555–567. doi: 10.1080/17550874.2018.1534146.

3. Роль фитогормонов и света в процессе деэтиоляции / В. В. Кузнецов, А. С. Дорошенко, Н. В. Кудрякова и др. // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 6. С. 563–577. doi: 10.31857/S001533032006010X

4. Techniques to study microbial phytohormones / K. Patel, D. Goswami, P. Dhandhukia, et al. // Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem. 2015. P. 1–27. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24654-3_1 (дата обращения: 28.02.2025) doi: 10.1007/978-3-319-24654-3_1.

5. Пряников И. Д., Сорокин Д. С. Гормональная регуляция как механизм координации обмена веществ у растений // Молодая фармация - потенциал будущего: сборник материалов конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, 2023. С. 863-868.

6. Hassan M. K., McInroy J. A., Kloepper J. W. The interactions of rhizodeposits with plant growth-promoting rhizobacteria in the rhizosphere: a review // Agriculture. 2019. Vol. 9. No. 7. P. 1–13. URL: https://www.mdpi.com/2077-0472/9/7/142 (дата обращения: 28.02.2025). doi: 10.3390/agriculture9070142.

7. Glick B. R. Beneficial plant-bacterial interactions: Monography / B.R. Glick. – Heidelberg: Springer, 2015. Vol. 243. 383 p. doi: 10.1007/978-3-319-13921-0.

8. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic Pseudomonas isolates / N. Oteino, R. D. Lally, S. Kiwanuka, et al. // Frontiers in microbiology. 2015. Vol. 6. Art. 745. URL: https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2015.00745/full (дата обращения: 22.02.2025). doi: 10.3389/fmicb.2015.00745.

9. Громова О. А., Максимов А. Ю. Характеристика бактерий - продуцентов гидролитических ферментов, перспективных в качестве стимуляторов роста растений // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии: сборник статей по материалам региональной научной конференции. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2024. С. 98–100.

10. Новая грамположительная бактерия рода Exiguobacterium sp. S4/2 – эффективный многофункциональный стимулятор роста растений / Т. Н. Абашина, А. Н. Звонарев, А. П. Шорохова и др. // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 11–14.

11. Optimization of IAA production by endophytic Bacillus spp. from Vigna radiata for their potential use as plant growth promoters / N. Bhutani, R. Maheshwari, M. Negi, et al. // Israel journal of plant sciences. 2018. Vol. 65. №. 1-2. P. 83–96. doi: 10.1163/22238980-00001025.

12. Characterisation of the endophytic and rhizospheric Bacillus licheniformis strains isolated from sweet potato with plant growth-promoting and yield enhancing potential / Á. Bordé-Pavlicz, A. R. Zhumakayev, H. Allaga, et al. // Advances in Agriculture. 2024. Vol. 2024. P. 4073275. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2024/4073275 (дата обращения: 28.02.2025) doi: 10.1155/2024/4073275.

13. Gautam A. Phenol-chloroform DNA isolation method // DNA and RNA Isolation Techniques for Non-Experts. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 33–39. doi: 10.1007/978-3-030-94230-4.

14. Metabolic profiling of streptomyces strains from different types of Tatarstan soils using GEN III omnilog system / K. A. Saparmyradov, C. Bolormaa, I. A. Nabiullovich, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. Vol. 6. №. 4. P. 148–154.

15. Исламов Б. Р., Шульга Е. Ю. Получение перспективных штаммов из дикорастущих растений для применения в сельском хозяйстве // Вестник Казанского ГАУ. 2024. № 4 (76). С. 41–48. doi: 10.12737/2073-0462-2024-41-48.

16. Патент № 2822893 C1 Российская Федерация. Консорциум микроорганизмов для стимуляции роста растений и защиты от фитопатогенных грибов и способ повышения продуктивности растений / Д. М Афордоаньи., Ш. З. Валидов, Е. Ю. Шульга и др. / заявл. 28.12.2023; опубл. 15.07.2024. Заявитель: Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».

17. Kamble K. D., Galerao D. K. Indole acetic acid production from Pseudomonas species isolated from rhizosphere of garden plants in Amravati // International journal of advances in pharmacy, biology and chemistry. 2015. Vol. 4. №. 1. P. 23–31.

18. Biocontrol efficacy of endophyte Pseudomonas poae to alleviate Fusarium seedling blight by refining the morpho-physiological attributes of wheat / E. Ibrahim, R. Nasser, S.O. Ogunyemi, et al. // Plants. 2023. Vol. 12. No. 12. Art. 2277. URL: https://www.mdpi.com/2223-7747/12/12/2277 (дата обращения: 28.02.2025) doi: 10.3390/plants12122277.

19. Selection of the root endophyte Pseudomonas brassicacearum CDVBN10 as plant growth promoter for Brassica napus L. crops / A. Jiménez-Gómez, Z. Saati-Santamaría, M. Kostovcik, et al. // Agronomy. 2020. Vol. 10. No. 11. Art 1788. URL: https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1788 (дата обращения: 28.02.2025) doi: 10.3390/agronomy10111788.

20. Application of Arthrobacter sp. YM27 for promoting germination and early growth of panicum in heavy metal-contaminated soil / S. Hwang, S. Joo, Y. Lee, et al. // Microbiology and biotechnology letters. 2024. Vol. 52. №. 4. P. 383–396. doi: 10.48022/mbl.2410.10002.

21. Draft genome sequence of Arthrobacter oryzae TNBS02, a bacterium containing heavy metal resistance genes, isolated from soil of Antarctica / Y. J. Cho, A. Cho, S. G. Hong, et al. // Microbiology Resource Announcements. 2019. Vol. 8. No. 4. P. e01501-18. URL: https://journals.asm.org/doi/10.1128/mra.01501-18 (дата обращения: 28.02.2025) doi: 10.1128/mra.01501-18.

22. Arthrobacter oryzae sp. nov. and Arthrobacter humicola sp. nov. / A. Kageyama, K. Morisaki, S. Omura, et al. // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2008. Vol. 58. №. 1. P. 53–56. doi: 10.1099/ijs.0.64875-0.

Сведения об авторах:

Сапармырадов Керемли – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: saparmuradov.k@knc.ru

Александрова Наталья Михайловна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: natalya5566@yandex.ru

Валидов Шамиль Завдатович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: sh.validov@knc.ru

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Россия

ISOLATES FROM THE RHIZOSPHERE AND SUNFLOWER PHYLLOPLANES, PRODUCERS OF PHYTOHORMONES AS POTENTIAL BIOAGENTS-STIMULATORS OF PLANT GROWTH

K. Saparmyradov, N. M. Aleksandrova, Sh. Z. Validov

Abstract. In the context of global environmental challenges, there is an increasing need to modernize agriculture by developing and disseminating environmentally friendly bacterial inoculants capable of replacing chemical fertilizers and pesticides, which is especially important for the sustainable development of agriculture. The studies were conducted to find microorganisms-producers of phytohormones to stimulate plant growth and to form a biologically active consortium. The work was carried out in laboratory conditions with 17 isolates of microorganisms, capable of synthesizing auxins, in particular, indole-3-acetic acid, isolated from the rhizosphere and phylloplane of sunflower. Screening of the biosynthesis of this acid by the studied isolates in a plate test on an agar medium with Salkovskiy's reagent revealed a qualitative positive reaction and established the concentrations of indole-3-acetic acid in the assigned isolates. As a result of studying the phenotypic characteristics and molecular genetic analysis of the 16S rRNA gene sequences, the species affiliation of the isolated microorganisms was determined. The three most active isolates, capable of producing the phytohormone, belong to the *Pseudomonas* genus and were identified to the species level as *Pseudomonas poae*, *Pseudomonas frederiksbergensis* and *Pseudomonas brassicacearum*. The synthesis of indole-3-acetic acid by these isolates is 93.0±0.4 μg/ml; 69.6±2.0 μg/ml and 74.2±2.5 μg/ml, respectively. KPD77 isolate, identified as *Arthrobacter oryzae*, demonstrated the level of synthesis of indole-3-acetic acid equal to 86.1±2.8 μg/ml. The ability of microorganisms of this species to synthesize such a phytohormone was established for the first time. Based on the data obtained, five promising isolates extracted from the rhizosphere and sunflower of were selected to form a consortium of microorganisms designed to stimulate plant growth.

Key words: indole-3-acetic acid, phytohormone, biopreparation, microorganisms.

References

1. Badri DV, Quintana N, El. Kassis EG. An ABC transporter mutation alters root exudation of phytochemicals that provoke an overhaul of natural soil microbiota. Plant physiology. 2009; Vol.151. No.4. 2006-2017 p. doi: 10.1104/pp.109.147462.

2. Latz MAC, Jensen B, Collinge DB. Endophytic fungi as biocontrol agents: elucidating mechanisms in disease suppression. Plant Ecology & Diversity. 2018; Vol.11. No.5-6. 555-567 p. doi: 10.1080/17550874.2018.1534146.

3. Kuznetsov VV, Doroshenko AS, Kudryakova NV. [The role of phytohormones and light in the process of de-etiolation]. Fiziologiya rasteniy. 2020; Vol.67. 6. 563-577 p. doi: 10.31857/S001533032006010X

4. Patel K, Goswami D, Dhandhukia P. Techniques to study microbial phytohormones. [Internet]. Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem. 2015; 1-27 p. [cited 2025, February 28]. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24654-3_1. doi: 10.1007/978-3-319-24654-3_1.

5. Pryanikov ID, Sorokin DS. [Hormonal regulation as a mechanism for coordinating metabolism in plants. Young pharmacy - potential of the future]. Sbornik materialov konferentsii. Saint-Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy khimiko-farmatsevticheskiy universitet. 2023; 863-868 p.

6. Hassan MK, McInroy JA, Kloepper JW. The interactions of rhizodeposits with plant growth-promoting rhizobacteria in the rhizosphere: a review. [Internet]. Agriculture. 2019; Vol.9. No.7. 1-13 p. [cited 2025, February 28]. Available from: https://www.mdpi.com/2077-0472/9/7/142. doi: 10.3390/agriculture9070142.

7. Glick BR. Beneficial plant-bacterial interactions: Monography. Heidelberg: Springer. 2015; Vol.243. 383 p. doi: 10.1007/978-3-319-13921-0.

8. Oteino N, Lally RD, Kiwanuka S. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic Pseudomonas isolates. [Internet]. Frontiers in microbiology. 2015; Vol.6. Art. 745. [cited 2025, February 22]. Available from: https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2015.00745/full. doi: 10.3389/

fmicb.2015.00745.

9. Gromova OA, Maksimov AYu. [Characteristics of bacteria - producers of hydrolytic enzymes, promising as plant growth stimulants. Fundamental and applied research in biology and ecology]. Sbornik statey po materialam regionalnoy nauchnoy konferentsii. Perm: Permskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatelskiy universitet. 2024; 98-100 p.

10. Abashina TN, Zvonarev AN, Shorokhova AP. [New gram-positive bacterium of the genus Exiguobacterium sp. S4/2 – an effective multifunctional plant growth stimulator]. Aktualnaya biotekhnologiya. 2022; 1. 11-14 p.

11. Bhutani N, Maheshwari R, Negi M. Optimization of IAA production by endophytic Bacillus spp. from Vigna radiata for their potential use as plant growth promoters. Israel journal of plant sciences. 2018; Vol.65. 1-2. 83-96 p. doi: 10.1163/22238980-00001025.

12. Borde-Pavlicz A, Zhumakayev AR, Allaga H. Characterisation of the endophytic and rhizospheric Bacillus licheniformis strains isolated from sweet potato with plant growth-promoting and yield enhancing potential. [Internet]. Advances in Agriculture. 2024; Vol.2024. 4073275 p. [cited 2025, February 28]. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2024/4073275. doi: 10.1155/2024/4073275.

13. Gautam A. Phenol-chloroform DNA isolation method. DNA and RNA isolation techniques for non-experts. Cham: Springer International Publishing. 2022; 33-39 p. doi: 10.1007/978-3-030-94230-4.

14. Saparmyradov KA, Bolormaa C, Nabiullovich IA. Metabolic profiling of streptomyces strains from different types of Tatarstan soils using GEN III omnilog system. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015; Vol.6. 4. 148-154 p.

15. Islamov BR, Shulga EYu. [Obtaining promising strains from wild plants for use in agriculture]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2024; 4 (76). 41-48 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-41-48.

16. Afordoani DM, Validov ShZ, Shulga EYu. [Consortium of microorganisms for stimulating plant growth and protecting against phytopathogenic fungi and a method for increasing plant productivity]. Patent № 2822893 C1. Declared: 28.12.2023; published: 15.07.2024. Applicant: Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”.

17. Kamble KD, Galerao DK. Indole acetic acid production from Pseudomonas species isolated from rhizosphere of garden plants in Amravati. International journal of advances in pharmacy, biology and chemistry. 2015; Vol.4. 1. 23-31 p.

18. Ibrahim E, Nasser R, Ogunyemi SO. Biocontrol efficacy of endophyte Pseudomonas poae to alleviate Fusarium seedling blight by refining the morpho-physiological attributes of wheat. [Internet]. Plants. 2023; Vol.12. No.12. Art. 2277. [cited 2025, February 28]. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/12/12/2277. doi: 10.3390/plants12122277.

19. Jimenez-Gomez A, Saati-Santamaria Z, Kostovcik M. Selection of the root endophyte Pseudomonas brassicacearum CDVBN10 as plant growth promoter for Brassica napus L. crops. [Internet]. Agronomy. 2020; Vol.10. No.11. Art.1788. [cited 2025, February 28]. Available from: https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1788. doi: 10.3390/agronomy10111788.

20. Hwang S, Joo S, Lee Y. Application of Arthrobacter sp. YM27 for promoting germination and early growth of panicum in heavy metal-contaminated soil. Microbiology and biotechnology letters. 2024; Vol.52. 4. 383-396 p. doi: 10.48022/mbl.2410.10002.

21. Cho YJ, Cho A, Hong SG. Draft genome sequence of Arthrobacter oryzae TNBS02, a bacterium containing heavy metal resistance genes, isolated from soil of Antarctica. [Internet]. Microbiology Resource Announcements. 2019; Vol.8. No.4. e01501-18 p. [cited 2025, February 28]. Available from: https://journals.asm.org/doi/10.1128/mra.01501-18. doi: 10.1128/mra.01501-18.

22. Kageyama A, Morisaki K, Omura S. Arthrobacter oryzae sp. nov. and Arthrobacter humicola sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2008; Vol.58. 1. 53-56 p. doi: 10.1099/ijs.0.64875-0.

Authors:

Saparmyradov Keremli – Ph.D. in Biology, researcher of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: saparmuradov.k@knc.ru

Aleksandrova Natalya Mikhailovna – Ph.D. in Biology, senior researcher of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: natalya5566@yandex.ru

Validov Shamil Zavdatovich – Ph.D. in Biology, Head of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: sh.validov@knc.ru

Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-24-30
УДК 632.91

РЕЗУЛЬТАТЫ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИНСЕКТИЦИДОВ И БИОПРЕПАРАТА НОДИКС ИНСЕКТОБАКТ ПРОТИВ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЯРОВОГО РАПСА

С. Р. Сулейманов, Ф. Н. Сафиоллин, В. А. Колесар, И. И. Габбасов

Реферат. Исследования проводили с целью повышения продуктивности растений ярового рапса на основе совместного использования химических инсектицидов и биопрепарата Нодикс Инсектобакт. Работу выполняли в Республике Татарстан в 2021–2023 годы. Проводили два полевых эксперимента. Схема первого из них предусматривала самостоятельное и попарное совместное применение изучаемого биопрепарата с инсектицидами Хинфур, Имидор Про и Круйзер для обработки семян, второго – с препаратами Фастак, Кинмикс, Актара, Беретта для обработки вегетирующих растений» Почва опытного участка – серая лесная с содержанием гумуса по Тюрину 4,53%, подвижных фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 160 и 167 мг/кг, $pH_{сол.}$ – 5,8. Минеральные удобрений вносили общим фоном ($N_{101}P_{55}K_{77}$). Высевали сорт ярового рапса Руян. Эффективность баковой смеси препаратов Круйзер, КС, 10 кг/т + Нодикс Инсектобакт, 3 кг/т против крестоцветных блошек оказалась на 21,7% выше, чем предпосевная обработка семян Круйзер, КС, 10 кг/т, и на 61% выше, чем обработки Нодикс Инсектобакт, 3 кг/т. При обработке вегетирующих растений наиболее эффективным против капустной моли и рапсового цветоеда оказался вариант Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3/кг/га, в котором степень пораженности капустной молью была ниже на 69,5%, по сравнению с вариантом без обработки, а степень заселения рапсового цветоеда через 72 часа после обработки составила 0,8 шт./растение, против 6,1 шт. в контрольном варианте опыта. Максимальные в опыте урожайность (2,84 т/га) и содержание сырого жира выявлены в варианте Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т, который по урожайности превосходил контроль на 44%, по масличности семянок на 3,1%, по выходу растительного масла – в 2,9 раза.

Ключевые слова: яровой рапс (*Brassica napusoleifera*), крестоцветная блошка (*Phyllotreta cruciferae*), капустная моль (*Plutella xylostella*), рапсовый цветоед (*Meligethes aeneus*), инсектобакт, протравители семян, инсектициды, пораженность растений, урожайность, рентабельность, себестоимость.

Введение. В дореволюционной России рапсовое масло использовали для получения смазочных материалов, освещения, мыловарения. Экспорт рапсового масличного сырья в то время составлял 180…200 тыс. т в год [1]. Однако добыча нефти и производство более дешевых минеральных масел привели к резкому сокращению посевных площадей ярового рапса, и только в конце 80-х годов прошлого столетия он получил свое «второе дыхание», так как были созданы двунулевые сорта, пригодные для производства пищевого растительного масла, по содержанию олеиновой кислоты соответствующего оливковому маслу [2, 3]. Повышенный интерес к рапсу обусловлен и его хорошей адаптивностью к ограниченным термическим ресурсам, что очень важно для большинства регионов Российской Федерации, в том числе и Республики Татарстан. В последние годы в мире по объемам производства рапсовое масло уступает только пальмовому и соевому. Однако ежегодное увеличение численности вредителей, защита от которых остается слабым звеном в производстве масличного сырья [4, 5, 6]. Известно, что на яровом рапсе обитают более 80 видов вредителей, но значительный ущерб наносят крестоцветные блошки, скрытнохоботники, капустная моль и рапсовый цветоед. Самыми опасными на начальном этапе органогенеза культуры выступают крестоцветные блошки [7, 8, 9].

Повышение устойчивости основных вредителей ярового рапса к активным веществам современных дорогостоящих инсектицидов (на одну обработку 1 га посевов в среднем затрачивается 2,0…2,5 тыс. руб.) становится причиной существенного увеличения себестоимости продукции и регулярного повышения цен на растительное масло в розничной торговле [10, 11, 12].

В 1987–1990 годы против крестоцветных блошек использовали фосфамид, а в период появления всходов посевы обрабатывали препаратами метафос, карбофос и хлорофос. Им на смену пришел протравитель семян Фурадан, ТПС преимущество которого заключалось в том, что он уничтожал только тех вредителей, которые питались семядольными и первыми настоящими листьями культуры в течение 35 суток после посева [13]. Однако за последующие 15 лет появились резистентные к нему популяции. Поэтому в начале XXI века его заменили препаратом на основе карбофурана, затем имидаклоприда.

С точки зрения появления резистентности вредителей, наиболее перспективным выступает совместное использование химических и биологических препаратов, обладающих защитными свойствами против вредителей ярового рапса [14, 15, 16].

Цель исследований – повышение продуктивности растений ярового рапса на основе совместного использования химических инсектицидов и биопрепарата

Нодикс Инсектобакт.

Для ее достижения решали следующие задачи:

сравнительная оценка эффективности предпосевной обработки семян ярового рапса протравителями химического происхождения и биологическим препаратом Нодикс Инсектобакт против крестоцветных блошек;

определение эффективности двукратной обработки посевов химическими и биологическим препаратом как при самостоятельном применении, так и в смеси, против капустной моли, скрытнохоботника, пилильщика и рапсового цветоеда в период вегетации растений;

изучение влияния приемов защиты ярового рапса на урожайность, содержание сырого жира и валовой сбор маслосемян в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2021–2023 годы в стационарных полевых опытах, заложенных на полях агротехнопарка Казанского ГАУ в соответствии с методикой проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами.

Схема полевого опыта:

опыт 1 – предпосевная подготовка семян: Хинуфур 12 кг/т (контроль); Имидор Про 20 кг/т; Круйзер 10 кг/т; Нодекс Инсектобакт 3 кг/т; Хинуфур 12 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т; Имидор Про 20 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т; Круйзер 10 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т;

опыт 2 – опрыскивание посевов химическими и биологическими инсектицидами: без обработки (контроль); Фастак 100 г/га; Кинмикс 150 г/га; Актара 300 г/га; Беретта 300 г/га; Нодикс Инсектобакт 3 кг/га; Фастак 100 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/га; Кинмикс 150 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/га; Актара 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/ га; Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3/кг/га.

Протравливание семян проводили ручным способом, при норме расхода рабочего раствора 10 л/т.

Биопрепарат Нодикс Инсектобакт сейчас находится в стадии госрегистрации. Основой препарата служат энтамоциды *Bacillus thuringiensis* SL 17 и *B. thuringiensis* HN 23 с тиром 2 10^9 КОЕ/мл. Штаммы этих бактерий, попадая в организм насекомых, вызывают нарушение функции кишечника и вредители сельскохозяйственных растений гибнут в течение 3…5 суток.

Содержание сырого жира, белка в маслосеменах рапса, а также физико-химические свойства почвы определяли в Центре агроэкологических исследований университета. Объектом исследований служил сорт Руян селекции Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В. С. Пустовойта с потенциалом урожайности 3,0…3,5 т/га. Исходное содержание гумуса (по Тюрину) в серой лесной почве составляло 4,53%, подвижных фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 160 и 167 мг/кг, реакция среды ($pH_{сол}$) – 5,8. Повторность опыта – трехкратная, размещение делянок систематическое, площадь каждой делянки 63 м^2.

Система основной и предпосевной подготовки почвы включала зяблевую вспашку на глубину 22 см с углублением пахотного слоя до 26 см осенью, закрытие влаги при достижении физической спелости почвы тяжелыми зубовыми боронами в два следа весной, внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3 т/га ($N_{101}P_{55}K_{77}$). Посев проводили во второй декаде мая с нормой 2 млн шт./га всхожих семян с заделкой на глубину 2…3 см с последующим прикатыванием кольчатыми катками.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований существенно отличались от среднемноголетних значений. Первый год (2021) характеризовался крайне низкой влагообеспеченностью вегетационного периода – 55% от климатической нормы и высокой теплообеспеченностью – 122% (ГТК = 0,57). Вегетационный период 2022 года был весьма благоприятным: в мае-июле выпало 52…77 мм осадков, обеспеченность влагой была на 10,4% выше, по сравнению со среднемноголетними данными (ГТК = 1,2).

Начало вегетационного периода 2023 года было дождливым и холодным (май, июнь), во второй его половине осадки отсутствовали (июль, август). Засуха сопровождалась среднесуточными температурами воздуха выше 25°С (ГТК = 0,8). Среднемноголетнее количество осадков в мае составляло 38 мм, июне – 57, июле – 62, августе – 55 мм, а среднемноголетняя температура воздуха – соответственно 14,0; 18,3; 20,5; 18,0°С. Среднемноголетнее значение ГТК – 0,97.

Такие условия, несомненно, оказали большое влияние на поврежденность ярового рапса вредителями и, в конечном счете, на его урожайность.

Результаты и обсуждение. Количество поврежденных семядольных листьев зависит от погодных условий начала вегетационного периода (табл. 1) – в острозасушливом 2021 году их было значительно больше (из 146 шт./м^2 были повреждены от 17,7 до 27,6 шт./м^2), по сравнению с влагообеспеченным, относительно холодным 2022 год (от 13,7 до 21,1 шт./м^2).

Таблица 1 – Пораженность посевов ярового рапса в начальном этапе органогенеза крестоцветными блошками в зависимости от применения химических инсектицидов и биопрепарата Нодикс Инсектобакт (2021–2023 годы)

Вариант	Количество поврежденных растений, шт./м^2			
	2021 год	2022 год	2023 год	среднее
Хинуфур 12 кг/т (контроль)	26,3	20,2	22,1	22,9
Имидор Про 20 кг/т	22,7	17,4	19,3	19,8
Круйзер 10 кг/т	20,2	16,6	18,7	18,5
Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	27,6	21,1	24,7	24,5
Хинуфур 12 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	24,1	18,0	20,6	20,9
Имидор Про 20 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	20,6	14,2	16,3	17,0
Круйзер 10 кг/т + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	17,7	13,7	14,1	15,2
$НСР_{05}$	5,9	4,3	5,1	5,0

Ярко проявилась резистентность крестоцветных блошек к давно применяемым химическим протравителям, поскольку количество поврежденных листочков со сквозными отверстиями в варианте с препаратом Круйзер, КС было постоянно ниже (20,2; 16,6; 18,7 шт./м^2), по сравнению с препаратами Хинуфур, КС (26,3; 20,2; 22,1 шт/м^2) и Имидор Про (22,7; 17,4; 19,3 шт./м^2). Эффективность предпосевного протравливания семян смесью Круйзер, КС, 10 кг/т + Нодикс Инсектобакт, с содержанием энтамопотагенных бактерий из рода *B. thuringiensis*, 3 кг/т, как и других химических протравителей с этим биопрепаратом, оказалась заметно выше, по сравнению с действием только химических или биологического препаратов, однако достоверное увеличение эффективное отмечено только в варианте со смесью препаратов Круйзер и Нодикс Инсектобак.

Во влажные годы наибольший вред посевам ярового рапса наносит большой рапсовый скрытохоботник [17], личинки которого, проникая внутрь стебля, повреждают узел ветвления (рис. 1).



Рис. 1 – Личинки скрытнохоботника внутри стебля

Заселенные растения на первый взгляд выглядят не только нормальными, но и более ветвистыми. Однако стручки боковых ветвей, образовавшиеся после уничтожения центрального побега, к моменту уборки не созревают. Более того, снижается устойчивость растений к полеганию, особенно в загущенных посевах. Вредитель стимулирует скрытое поражение рапса некрозом корневой шейки, в результате происходит преждевременное созревание растений, что приводит к потере 20…30% урожая [18, 19, 20]. Единственным спасением от этого опасного вредителя остается качественная предпосевная подготовка семян (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние приемов предпосевной подготовки семян на пораженность ярового рапса скрытнохоботником (2021–2023 годы)

Вариант	Количество поврежденных растений, шт./м^2	± к контролю	
		шт./м^2	%
Хинуфур 12 кг/т (контроль)	14,4	-	100
Имидор Про 20 кг/т	10,3	-4,1	75,5
Круйзер 10 кг/т	8,1	-5,3	56,2
Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	15,6	+1,2	108,0
Хинуфур 12 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	10,7	-3,7	74,3
Имидор Про 20 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	7,6	-6,8	52,8
Круйзер 10 кг/т + Нодекс Инсектобакт 3 кг/т	5,2	-9,2	36,1
$НСР_{05}$	3,1		

В среднем за 3 года исследований из 146 растений/м^2 были повреждены от 5,2 до 15,6 шт. (при пороге вредоносности 15 шт./100 растений). Столь высокий диапазон

анализируемой величины подчеркивает решающее значение выбора как химического препарата, так и его смеси с биологическим. Например, в варианте применения стародавнего химического протравителя Хинуфур, КС, к которому вредители выработали устойчивость, отмечено наибольшее в опыте количество растений ярового рапса, поврежденных скрытнохоботником – 15,6 шт. В тех же условиях при совместном использовании Круйзера, КС с Нодикс Инсектобактом, 3 кг/т анализируемый показатель снизился до 5,2 шт., или на 63,9%, по сравнению с контрольным вариантом, и такие посевы в дополнительной обработке инсектицидами не нуждались.

Капустная моль в последние годы, особенно в жарком 2021 году, стала доминирующей среди опасных вредителей ярового рапса. К периоду ее массового появления (10-15 июня, в фазе ветвления) действие протравителей семян заканчивается, и посевы приходится обрабатывать дополнительно против этого вредителя. Ассортимент рекомендуемых химических инсектицидов весьма обширен [21]. Среди них наиболее эффективным с точки зрения контроля капустной моли оказался инсектицид Беретта, МД (табл. 3).

Таблица 3 – Степень пораженности посевов ярового рапса капустной мольюв зависимости от систем защиты (2021–2023 годы)

Вариант	Количество поврежденных растений, шт./м^2	± к контролю	
		шт./м^2	%
Контроль (без обработки)	16,4	-	100
Фастак 100 г/га	10,3	6,1	62,8
Кинмикс 150 г/га	12,7	-3,7	77,4
Актара 300 г/га	11,4	-5,0	69,5
Беретта 300 г/га	8,8	-7,6	53,7
Нодикс Инсектобакт 3 кг/га	14,1	-2,3	86,0
Фастак 100 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/га	6,5	-9,9	39,6
Кинмикс 150 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/га	7,8	8,6	47,6
Актара 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/ га	7,1	9,3	43,3
Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3/кг/га	5,0	11,4	30,5
$НСР_{05}$	2,8		

При однократной обработке посевов в фазе ветвления этим препаратом количество поврежденных капустной молью растений снижалось на 7,6 шт./м^2, или на 46,3%, по сравнению с контролем (16,4 шт./м^2). В тех же сроках обработки посевов ярового рапса, показатели пораженности растений при применении инсектицида Фастак, КЭ снижались на 6,1 шт./м^2 (на 37,2%), Актара, ВДГ – на 5,0 шт./м^2 (на 30,5%), Кинмикс, КЭ – на 3,7 шт./м^2 (на 22,6 %).

Эффективность инсектицида Беретта, МД повышалась при совместном его применении с Нодикс Инсектобактом 3 кг/га. Количество растений, поврежденных капустной молью, снижалось на 3,8 шт./м^2, или на 43,2%, по сравнению с вариантом обработки посевов только этим химическим инсектицидом.

Преимущество совместного применения инсектицида Беретта, МД и Нодикс Инсектобакта особенно четко проявлялось при сравнении с контрольным вариантом опыта – существенное снижение количества поврежденных растений можно было определить даже визуально по изменению цвета посевов.



Рис. 2 – Массовое появление цветоеда в конце бутонизации ярового рапса

Борьба с рапсовым цветоедом, численность которого в начале июля во много раз превышает порог вредоносности (2 жука/растение в фазе бутонизации) была и остается одной из важнейших проблем (рис. 2, табл. 4).

Сравнительная оценка эффективности изучаемых инсектицидов показывает весьма

существенную разницу. Так, в контрольном варианте численность цветоеда продолжала увеличиваться с 4,8 до 6,1 экз./растение, тогда как после обработки посевов инсектицидом Беретта, МД она снизилась в 4,0 раза, инсектицидом Фастак – в 2,7 раза, Кинмикс – в 2,1 раза, инсектицидом Актара – в 2,4 раза. Эффективность всех изучаемых инсектицидов значительно повышалась при добавлении в рабочий раствор биологического препарата Нодикс Инсектобакт из расчета 3 кг/га,_особенно в варианте с инсектицидом Беретта, МД – до 83,3%, а других инсектицидов – до 72,9…77,1%.

Таблица 4 – Действие изучаемых систем защиты ярового рапса на заселение цветоедом (2021–2023 годы), шт./растение

Вариант	До обработки	Через 24 ч	Через 48 ч	Через 72 ч
Контроль (без обработки)	4,8	5,0	5,8	6,1
Фастак 100 г/га	4,8	4,2	3,6	1,8
Кинмикс 150 г/га	4,8	4,4	3,8	2,3
Актара 300 г/га	4,8	4,3	3,7	2,0
Беретта 300 г/га	4,8	4,0	3,1	1,2
Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	4,8	4,5	3,8	2,4
Фастак 100 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	4,8	3,1	3,0	1,1
Кинмикс 150 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	4,8	3,3	3,2	1,3
Актара 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	4,8	3,2	3,1	1,2
Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	4,8	2,9	1,8	0,8
$НСР_{05}$	-	0,4	0,3	0,3

По мере интенсификации системы защиты объекта исследований его урожайность повышалась с 1,26 (в контроле) до 2,84 т/га в варианте с двукратной обработкой посевов смесью Беретта, МД, 0,3 л/га + Нодикс Инсектобакт, 3 кг/га, выход маслосемян в котором превышал контрольные значения почти в 2,25 раза (табл. 5). В этом варианте опыта выход растительного масла с 1 га пашни составил 1170,1 кг, что выше контроля на 188%.

Таблица 5 – Влияние систем защиты ярового рапса на урожайность, содержание сырого жира и выход растительного масла (2021–2023 годы)

Вариант	Урожайность, т/а	Содержание сырого жира, %	Выход растительного масла, кг/га
Контроль (без обработки)	1,26	38,7	406,2
Фастак 100 г/га	1,94	39,6	768,2
Кинмикс 150 г/га	1,86	39,2	729,1
Актара 300 г/га	1,84	39,0	717,6
Беретта 300 г/га	2,46	41,7	1025,8
Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	1,65	39,3	648,5
Фастак 100 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	2,54	40,7	1017,5
Кинмикс 150 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	2,40	39,9	957,6
Актара 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	2,37	39,7	940,9
Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т	2,84	41,8	1170,1
$НСР_{05}$	0,24		

Выводы. Действие протравливания семян против крестоцветных блошек баковой смесью химического протравителя и биологического инсектицида оказалось сильнее, по сравнению с влиянием только химического или биологического препаратов. Эффективность баковой смеси Круйзер, КС, 10 кг/т + Нодикс Инсектобакт, 3 кг/т оказалась выше, чем при использовании препарат Круйзер, КС, на 21,7%, по сравнению с обработкой Нодикс Инсектобакт, на 61%.

Аналогичные результаты отмечали в отношении пораженности ярового рапса скрытнохоботником. В вариантах Хинуфур 12 кг/т + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т, Имидор Про 20 кг/т + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т, Круйзер 10 кг/т + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т она была ниже, чем в контрольном (Хинуфур), 25,7…63,9%.

При обработке вегетирующих растений наиболее эффективным против капустной моли и рапсового цветоеда оказалось применение Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3/кг/га. В том варианте степень пораженности капустной молью была ниже, чем без обработки, на 69,5%. А степень заселения рапсового цветоеда через 72 ч после обработки составила 0,8 шт./растение, против 6,1 шт. в контроле.

Максимальные в опыте урожайность (2,84 т/га) и содержание сырого жира отмечены в варианте Беретта 300 г/га + Нодикс Инсектобакт 3 кг/т, который по урожайности превосходил контроль на 44 %, по масличности семянок на 3,1 %, по выходу растительного масла – в 2,9 раза.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан (соглашение №146/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Сафиоллин Ф. Н. Рапс в лесостепи Поволжья. Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2008. 406 с.

2. Файзрахманов Д. И., Сафиоллин Ф. Н., Низамов Р. М. 62 полезных совета по технологии возделывания масличных культур. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2013. 68 с.

3. Тойгильдин А. Л., Подсевалов М. И., Остин В. Н. Перспективы использования масличных культур в севооборотах лесостепной зоны Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(54). С. 54-61. doi 10.18286/1816-4501-2021-2-54-61.

4. Габбасов И. И., Низамов Р. М., Сулейманов С. Р. Влияние удобрений марки Изагри на ростовые процессы и продуктивность ярового рапса // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 5. С. 34–38. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10508.

5. Яровой рапс – перспективная культура для развития агропромышленного комплекса Красноярского края / Е. Н. Олейникова, М. А. Янова, Н. И. Пыжикова и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (142). С. 74–80.

6. Зубкова Т. В., Мотылева С. М., Виноградов Д. В. Исследование влияния органических и минеральных удобрений на урожайность рапса и зольный состав его маслосемян // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1(57). С. 77-84. doi 10.18286/1816-4501-2022-1-77-84.

7. Цыбулько Н. Н., Пунченко С. С. Эффективность применения дифференцированных доз минеральных удобрений под яровой рапс на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени эродированности // Почвоведение и агрохимия. 2015. № 1 (54). С. 189–200.

8. Интенсификация технологии возделывания ярового рапса на маслосемена / С. В. Гольцман, Т. В. Горбачева, Н. А. Рендов и др. // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (17). С. 12–14.

9. Нурлыгаянов Р. Б. Яровой рапс поддерживает земледельцев // Аграрная тема. 2012. № 10 (39). С. 43.

10. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake / M. Halpern, U. Yermiyahu, A. Bar-Tal, et al. // Advances in Agronomy. 2015. Vol. 130. P. 141–174. doi: 10.1016/bs.agron.2014.10.001.

11. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / В. М. Лукомец, Н. М. Тишков, В. Ф. Баранов и др. Под общей редакцией В. М. Лукомца. 2-е издание, переработанное и дополненное. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, 2010. 327 с.

12. Куликова А. Х., Карпов А. В., Пахалин В. А Влияние цеолита и удобрений на его основе на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность рапса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4(64). С. 37-42. doi 10.18286/1816-4501-2023-4-37-42.

13. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating red signaling as a possible unifying mechanism / A. K. Srivastava, P. Suprasanna, R. Pasala, et al. // Advances in Agronomy. 2016. Vol. 137. P. 237–278. doi: 10.1016/bs.agron.2015.12.002.

14. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Воздействие природного минерала на свойства и урожайность ярового рапса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2(62). С. 12-20. doi 10.18286/1816-4501-2023-2-12-20.

15. Брескина Г. М., Масютенко Н. П., Чуян Н. А. Биопрепараты как средство восстановления здоровья черноземных почв / Г. М. Брескина, // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2(58). С. 25-31. DOI 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31.

16 Юшкевич Л. В., Щитов А. Г., Пахотина И. В. Агротехнические особенности формирования продуктивности яровой пшеницы после рапса в лесостепи Западной Сибири // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии 2021. № 4(56). С. 46-52. doi 10.18286/1816-4501-2021-4-46-52.

17 Зубкова, Т. В., Виноградов Д. В. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помёта и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 46-54. doi 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54.

18. Антистрессовые и фитогормонные препараты в технологии возделывания ярового рапса на серых лесных почвах Республики Татарстан / Д. Г. Гатауллин, Ф. Н. Сафиоллин, Г. С. Миннуллин и др. // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 45–49. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.

19. Verma L. C., Prasad A. Estimation of Yield Gap in Rapeseed-Mustard through Cluster Front Line Demonstrations // Journal of Krishi Vigyan. 2023. Vol. 11. No. 2. P. 140–144. doi: 10.5958/2349-4433.2023.00024.7.

20. Формирование урожайности маслосемян рапса ярового при обработке посевного материала микроудобрениями / А. М. Хайруллин, Р. Р. Гайфуллин, В. С. Сергеев и др. // Аграрная наука. 2020. № 1. С. 62–65.

21. Селяков А. А., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Влияние приемов посева на урожайность и биохимический состав маслосемян сортов ярового рапса в Среднем Предуралье // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2. С. 47–51.

Сведения об авторах:

Сулейманов Салават Разяпович– кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: dusai@mail.ru

Сафиоллин Фаик Набиевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: faik1948@mail.ru

Колесар Валерия Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры общего земледелия, селекции и защиты растений, e-mail: klerochka@gmail.com

Габбасов Ильфат Ильдусович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: ilfat.gabbasov.88@mail.ru

Казанский государственных аграрный университет, г. Казань, Россия

RESULTS OF THE JOINT USE OF CHEMICAL INSECTICIDES AND THE BIOPRODUCT NODIX INSECTOBACT AGAINST SPRING RAPE PESTS

S. R. Suleymanov, F. N. Safiollin, V. A. Kolesar, I. I. Gabbasov

Abstract. The research was carried out in order to increase the productivity of spring rape plants based on the combined use of chemical insecticides and the biological product Nodix Insectobact. The work was carried out in the Republic of Tatarstan in 2021-2023. Two field experiments were conducted. The scheme of the first of them provided for independent and paired joint use of the studied biopreparation with the insecticides Hinfur, Imidor Pro and Kruiser for seed treatment, the second - with the preparations Fastak, Kinmiks, Aktara, Beretta for treating vegetative plants. The soil of the experimental plot is gray forest with a humus content according to Tyurin of 4.53%, mobile phosphorus and potassium (according to Kirsanov) - respectively, 160 and 167 mg/kg, pHsol. - 5.8. Mineral fertilizers were applied as a general background ($N_{101}P_{55}K_{77}$). The spring rape of Ruyan variety was sown. The efficiency of the tank mixture of Kruiser, KS, 10 kg/t + Nodix Insectobact, 3 kg/t against cruciferous flea beetles was 21.7% higher than the pre-sowing seed treatment with Kruiser, KS, 10 kg/t, and 61% higher than the treatment with Nodix Insectobact, 3 kg/t. When treating vegetative plants, the most effective against cabbage moth and rape blossom beetle was the Beretta 300 g/ha + Nodix Insectobact 3/ kg/ha variant, in which the degree of infestation by cabbage moth was 69.5% lower than in the variant without treatment, and the degree of colonization of rape blossom beetle 72 hours after treatment was 0.8 pcs/plant, against 6.1 pcs in the control variant of the experiment. The maximum yield (2.84 t/ha) and crude fat content in the experiment were found in the Beretta 300 g/ha + Nodix Insectobact 3 kg/t variant, which exceeded the control by 44% in yield, by 3.1% in seed oil content, and by 2.9 times in vegetable oil yield.

Key words: spring rape *(Brassica napusoleifera)*, cruciferous flea beetle *(Phyllotreta cruciferae)*, cabbage moth *(Plutella xylostella)*, rape blossom beetle *(Meligethes aeneus)*, insectobact, seed treatment agents, insecticides, plant infestation, yield, profitability, cost.

References

1. Safiollin FN. Raps v lesostepi Povolzhya. [Rape in the forest-steppe of Volga region]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo gos. un-ta. 2008; 406 p.

2. Fayzrakhmanov DI, Safiollin FN, Nizamov RM. 62 poleznykh soveta po tekhnologii vozdelyvaniya maslichnykh kultur. [62 useful tips of oilseed crops cultivating technology]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2013; 68 p.

3. Toygildin AL, Podsevalov MI, Ostin VN. [Prospects for the use of oilseed crops in crop rotations of the forest-steppe zone of Volga region]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2021; 2(54). 54-61 p. doi 10.18286/1816-4501-2021-2-54-61.

4. Gabbasov II, Nizamov RM, Suleymanov SR. [Influence of Izagri brand fertilizers on growth processes and productivity of spring rape]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019; Vol.33. 5. 34-38 p. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10508.

5. Oleynikova EN, Yanova MA, Pyzhikova NI. [Spring rape is a promising crop for the development of the agro-industrial complex of Krasnoyarsk Krai]. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; 1 (142). 74-80 p.

6. Zubkova TV, Motyleva SM, Vinogradov DV. [Study of the influence of organic and mineral fertilizers on rapeseed yield and ash composition of its oilseeds]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2022; 1(57). 77-84 p. doi 10.18286/1816-4501-2022-1-77-84.

7. Tsybulko NN, Punchenko SS. [Efficiency of applying differentiated doses of mineral fertilizers for spring rape on sod-podzolic light loamy soils with varying degrees of erosion]. Pochvovedenie i agrokhimiya. 2015; 1 (54). 189-200 p.

8. Goltsman SV, Gorbacheva TV, Rendov NA. [Intensification of spring rapeseed cultivation technology for oilseeds]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 1 (17). 12-14 p.

9. Nurlygayanov RB. [Spring rape supports farmers]. Agrarnaya tema. 2012; 10 (39). 43 p.

10. Halpern M, Yermiyahu U, Bar-Tal A. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. Advances in Agronomy. 2015; Vol.130. 141-174 p. doi: 10.1016/bs.agron.2014.10.001.

11. Lukomets VM, Tishkov NM, Baranov VF. [Methodology for conducting field agrotechnical experiments with oil crops]. Krasnodar: Vserossiyskiy nauchno-issledovatelskiy institut maslichnykh kultur im.V.S. Pustovoyta. 2010; 327 p.

12. Kulikova AKh, Karpov AV, Pakhalin VA. [Effect of zeolite and fertilizers based on it on the nutrient regime of leached chernozem and rapeseed yield]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 4(64). 37-42 p. doi 10.18286/1816-4501-2023-4-37-42.

13. Srivastava AK, Suprasanna P, Pasala R. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating red signaling as a possible unifying mechanism. Advances in Agronomy. 2016; Vol.137. 237-278 p. doi: 10.1016/bs.agron.2015.12.002.

14. Zubkova TV, Vinogradov DV. [Effect of natural mineral on properties and yield of spring rape]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 2(62). 12-20 p. doi 10.18286/1816-4501-2023-2-12-20.

15. Breskina GM, Masyutenko NP, Chuyan NA. [Biopreparations as a means of restoring the health of chernozem soils]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2022; 2(58). 25-31 p. DOI 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31.

16 Yushkevich LV, Shchitov AG, Pakhotina IV. [Agrotechnical features of the formation of spring wheat productivity after rapeseed in the forest-steppe of Western Siberia]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2021; 4(56). 46-52 p. doi 10.18286/1816-4501-2021-4-46-52.

17 Zubkova TV, Vinogradov DV. [Properties of organomineral fertilizer based on chicken manure and its application in spring rapeseed technology for seeds]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2021; 1(53). 46-54 p. doi 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54.

18. Gataullin DG, Safiollin FN, Minnullin GS. [Anti-stress and phytohormone preparations in the technology of spring rapeseed cultivation on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. Agrokhimicheskiy vestnik. 2021; 2. 45-49 p. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.

19. Verma LC, Prasad A. Estimation of yield gap in rapeseed-mustard through cluster front line demonstrations. Journal of Krishi Vigyan. 2023; Vol.11. 2. 140-144 p. doi: 10.5958/2349-4433.2023.00024.7.

20. Khayrullin AM., Gayfullin RR, Sergeev VS. [Formation of the yield of spring rapeseed oilseeds when treating the seed material with microfertilizers]. Agrarnaya nauka. 2020; 1. 62- 65 p.

21. Selyakov AA, Bogatyreva AS, Akmanaev ED. [Influence of sowing methods on the yield and biochemical composition of oilseeds of spring rape varieties in the Middle Urals]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 2. 47-51 p.

Authors:

Suleymanov Salavat Razyapovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Land Management and Cadastres Department, e-mail: dusai@mail.ru

Safiollin Faik Nabievich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Land Management and Cadastres Department, e-mail: faik1948@mail.ru

Kolesar Valeriya Aleksandrovna – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of General Agriculture, Selection and Plant protection Department, e-mail: klerochka@gmail.com

Gabbasov Ilfat Ildusovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Land Management and Cadastres Department, e-mail: ilfat.gabbasov.88@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-31-33
УДК 635.65:631.8

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГУМИНОВОГО СТИМУЛЯТОР РОСТА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СОИ

Н. В. Тютюма, А. Н. Бондаренко, А. В. Тютюма

Реферат. Исследования проводили с целью определения эффективности применения многофункционального гуминового стимулятора роста Лигногумат калийный марки АМ с повышенным содержанием фульвокислот на урожайность сои в условиях орошения. Работу выполняли в 2021–2023 годах на опытном орошаемом участке на севере Астраханской области. Почва опытного участка – светло-каштановая, солонцеватая. Содержание гумуса в пахотном слое составляло 0,9%, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – соответственно 24,3 и 441,5 мг/кг почвы, гранулометрический состав – среднесуглинистый. Схема полевого опыта предполагала изучение следующих вариантов: без обработки (контроль); Лигногумат калийный марки АМ в дозах 30, 50 и 70 г/га. За годы исследований среднесуточная температура воздуха варьировала от +16,5 до +26,9ºС. Достаточно жаркими были июль и август, когда максимальные температуры находились в диапазоне +34,1…+38,7ºС. Относительная влажность воздуха была на уровне 41,6…47,7%. Количество осадков, в среднем, за период вегетации, варьировало от 12,0 до 22,7 мм. Температура почвы на глубине 0,05…0,15 м находилась в диапазоне 24,3…26,8ºС. Максимальное в опыте количество зерен на 1 растение (138,3 шт.), масса зерен с 1 растения (22,3 г) и масса 1000 семян (212,3 г) отмечены в варианте с дозой препарата 50 г/га. По итогам трехлетнего изучения по продуктивности были выделены варианты с дозами препарата 50 и 70 г/га с урожайностью 4,5 т/га.

Ключевые слова: соя (*Glycine*), стимулятор, орошение, коэффициент водопотребления, урожайность.

Введение. В последние годы в агропромышленном секторе Нижневолжского региона прослеживается устойчивая тенденция увеличения посевных площадей зернобобовых культур, особенно сои [1, 2]. В первую очередь это связано с высоким спросом на эту ценную зернобобовую культуру, как на территории РФ, так и за рубежом [3, 4, 5].

Результаты исследований по разработке и совершенствованию агротехнических приемов с использованием стимуляторов роста и микробиологических препаратов при возделывании сои рассматривают многие авторы [6, 7, 8].

К сожалению**,** работы, связанные с изучением и обоснованием применения на сое ростостимулирующих калийных препаратов на территории севера Астраханской области, практически отсутствуют.

Цель исследования – определение эффективности применения различных доз многофункционального гуминового стимулятора Лигногумат калийный марки АМ, позволяющего получать высокие урожаи качественных семян в условиях капельного орошения на светло-каштановых почвах Северного Прикаспия.

Задачи научного исследования: определить действие многофункционального гуминового стимулятора роста Лигногумат калийный марки АМ с повышенным содержанием фульвокислот на величину и качество урожая сои; выявить наиболее высокопродуктивный вариант в зависимости от доз использования многофункционального гуминового стимулятора роста Лигногумат калийный марки АМ при возделывании сои.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2021–2023 годы на опытном орошаемом участке землепользования ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН». Объектом исследования служили растения сорта сои Волгоградка 1. Изучали препарат Лигногумат калийный марки АМ.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: без обработки (контроль); Лигногумат калийный марки АМ в дозах 30, 50 и 70 г/га. Обработку растений препаратом проводили дважды – в фазы бутонизации и массового цветения с расходом рабочего раствора из расчета 300 л/га.

Размещение делянок было систематическим. Площадь одной опытной делянки составляла 120 м^2. Повторность опыта – трехкратная.

Полевые учёты и наблюдения осуществляли по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2015 год), а также согласно Методическому руководству по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве (2018 год).

Структуру урожая определяли по учётным растениям. Обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа.

Полевые исследования проводили на светло-каштановой суглинистой почве с содержанием гумуса в пахотном слое менее 1%, $pH_{сол.}$ – 7,0 ед., подвижных фосфора и калия (по Мачигину) – соответственно 24,3 и 441,5 мг/кг почвы.

Сою размещали по чистым парам, которые после уборки предшественника подвергали дискованию БДТ-3 на глубину 0,08…0,10 м. Вспашку поля проводили на глубину 0,22…0,24 м ПЛН-4-35 в октябре. Весенняя подготовка почвы включала боронование

БЗТ-1 в два следа при наступлении физической спелости. При появлении всходов сорняков проводили культивации КПС-5 первую на глубину 0,08…0,10 м, вторую – на 0,06…0,08 м. Для посева использовались кондиционные семена. Посев семян проводили широкорядным способом на глубину 0,05…0,07 м с междурядьями 0,70 м, с нормой высева семян 350 тыс. шт./га. Посев осуществляли сеялкой точного высева (пунктирного сева) с одновременной раскладкой капельных лент СТВ12. Учет урожая выполняли комбайном Sampo. При сноповом анализе определяли количество бобов, зерен, массу зерен, массу 1000 зерен.

До посева на опытном участке перед культивацией вносили азофоску с содержанием $N_{16}P_{16}K_{16}$. Общее количество при первом внесении составило $N_{32}P_{32}K_{32}$. Минеральные удобрения вносили разбрасывателем минеральных удобрений АНТС-1000t. В период вегетации в фазе бутонизации было осуществлено второе внесение азофоски $N_{16}P_{16}K_{16}$ – с поливной водой. Также дополнительно была внесена аммиачная селитра N_{30} – 87 кг/га в физическом весе с поливной водой.

В борьбе с проволочником в период вегетации сои проводили две обработки через систему капельного орошения препаратом Диазол в дозе 1,5 л/га. Опрыскивание от болезней и вредителей проводили штанговым опрыскивателем ОН-600. Против вредителей (нарывник) обрабатывали препаратом Актара в дозе 120 г/га с расходом рабочего раствора 350 л/га, против альтернариоза – Курзатом в дозе 1,0 кг/га, против трипсов – Ланатом в дозе 1,0 кг/га.

В среднем за годы исследований суммарное водопотребление за вегетацию изучаемой культуры составило 2816 м^3/га.

Результаты и обсуждение. Всходы сои сорта Волгоградка 1 были отмечены на 8 сутки после посева. Период от посева до бутонизации занял 31…32 суток. Фаза цветения наступила на 45 сутки после посева изучаемой культуры. В контроле и варианте с внесением Лигногумата калийного марки АМ в дозе 30 г/га цветение затягивалось в среднем на 2…3 суток.

При обработке растений сои препаратом Лигногумат калийный марки АМ во всех дозах отмечена тенденция увеличения, по отношению к контролю, количества ветвей на растении – на 0,1 шт., или 3,1%, количества бобов на растении – на 3,5…5,8 шт., или 6,1…10,1%, количества зерен на растении – на 8,6…20,1 шт., или 7,3…17,0%, массы зерен с растения – на 0,3…3,3 г, или 1,6…17,4%, массы 1000 семян – на 3,0…34,3 г, или 1,7…19,3% при максимальной величине показателей в варианте с применением препарата в дозе 50 г/га (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние регулятора роста Лигногумат калийный марки АМ на формирование элементов структуры урожая сорта сои Волгоградка 1 (среднее за 2021–2023 годы)

Вариант	На 1 растение				Масса 1000 зерен, г
	количество ветвей, шт.	количество бобов, шт.	количество зерен, шт.	масса зерен, г	
Без обработки (контроль)	3,2	57,7	118,2	19,0	178,0
Лигногумат калийный марки АМ: 30 г/га	3,3	61,2	109,7	19,3	181,0
50 г/га	3,3	63,5	138,3	22,3	212,3
70 г/га	3,3	61,8	126,8	22,3	187,9
$НСР_{05}$	0,5	29,5	62,0	13,4	44,8

Наиболее высокая в опыте урожайность сои отмечена в вариантах с применением препарата в дозах 50 и 70 г/га.

В среднем за три года она составляла по 4,5 т/га, что оказалось на 0,7 т/га, или 18,4%, выше контрольного варианта. Коэффициент водопотребления составил в этих вариантах 625,8 м^3/т, что было на 96,3 м^3/т (13,3%) меньше, чем в варианте с применением препарата в дозе 30 г/га, и на 115,3 м^3/т (15,6%) меньше, в сравнении с контролем без использования препарата (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность и коэффициент водопотребления сои сорта Волгоградка 1 в зависимости от нормы внесения препарата Лигногумат калийный марки АМ (2021–2023 годы)

Вариант	Коэффициент водопотребления, м^3/т	Урожайность, т/га				Прибавка, %
		2021 год	2022 год	2023 год	средняя	
Без обработки (контроль)	741,1	2,8	3,4	5,2	3,8	-
Лигногумат калийный марки АМ: 30 г/га	722,1	3,4	5,2	3,0	3,9	+2,6
50 г/га	625,8	5,4	5,0	3,0	4,5	+18,4
70 г/га	625,8	4,2	5,6	3,6	4,5	+18,4
$НСР_{05}$	33,9	0,19	0,24	0,19		

Выводы. В среднем за годы исследований при возделывании сои в условиях орошения наиболее эффективным было применение препарата Лигногумат калийный марки АМ в дозе 50 г/га.

Обработка растений сои в фазы бутонизации и массового цветения в этом варианте обеспечивала увеличение количества ветвей на растениях на 3,1%, количества бобов – на 10,1%, количества зерен – на 17,0%, массы зерна – на 17,4%, массы 1000 семян – на 19,3%, урожайности – на 0,7 т/га (18,4%) при снижении коэффициента водопотребления на 15,6%, в сравнении с контролем без применения препарата.

Литература

1. Лытов М. Н. Агроэкологическая оценка сортов и приемов возделывания орошаемой сои на повторно осваиваемых землях Волгоградского Заволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2023. № 2 (70). С. 191–200. doi: 10.32786/2071-9485-2023-02-22.

2. Продуктивность сортов сои при различных режимах орошения / В. В Толоконников, Г. П. Канцер, Т.С. Кошкарова и др. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С.343–352. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-343-352.

3. The efficiency of combined application of mineral fertilizers, inoculants in soybean growing technology, and functioning of nitrogen-fixing symbiosis under increasing nitrogen rates / S. Kalenska, N. Novytska, V. Kalenskii, et al. // Agronomy Research. 2022. Vol. 20. No. 4. P. 730–750. doi: 10.15159/AR.22.075.

4. Bednarczyk M., Pisarek I. Sustainable development for soya production based on the field research carried out at the Variety assessment experimental station of Glubczyce in the years 2015-2017 // Economic and Environmental Studies. 2020. Vol. 18. No. 4. P. 1219–1234. doi: 10.25167/ees.2018.48.3.

5. Крылова Т. С., Дубровин А. Н., Дорожкина Л. А. Эффективность почвенных гербицидов и их смесей в посевах сои в условиях Амурской области // Земледелие. 2020. № 4. С. 33–36. doi:10.24411/0044-3913-2020-10409.

6. Применение современных стимуляторов роста при возделывании зернобобовых культур: гороха, нута, сои / В. Г. Васин, А. В. Васин, О. В. Вершинина, и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2 (2). С. 339–343.

7. Early, medium and late maturing varieties of soybean as a catch crop for irrigated conditions of Uzbekistan / A. I. Nurbekov, L. Khalilova, F. Namozov, et al. // European science review. Section 4. Agricultural sciences. 2021. P. 30–34. doi: 10.29013/ESR-21-11.12-30-34.

8. Agronomic efficiency of Bradyrhizobium pre-inoculation in association with chemical treatment of soybean seeds / K. Silva, E. Edmilson, E. Cunha, et al. // African Journal of Agricultural Research. 2018. No. 13. P. 726–732. doi: 10.5897/AJAR2018.13016.

Сведения об авторах:

Тютюма Наталья Владимировна – доктор сельскохозяйственных наук, член.-корр. РАН, директор, e-mail: pniiaz@mail.ru

Бондаренко Анастасия Николаевна – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией агротехнологий овощных культур, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Тютюма Андрей Владимирович – заведующий отделом механизации и инженерного обеспечения науки, e-mail: pniiaz@mail.ru

Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, Астраханская обл., Россия

EVALUATION OF BIOLOGICAL EFFICIENCY OF HUMIC GROWTH STIMULATOR IN SOYBEAN CULTIVATION

N. V. Tyutyuma, A. N. Bondarenko, A. V. Tyutyuma

Abstract. The studies were conducted to determine the effectiveness of using the multifunctional humic growth stimulator Lignohumate of AM potassium brand with an increased content of fulvic acids on soybean productivity under irrigated conditions. The work was carried out in 2021-2023 on an experimental irrigated site in the north of Astrakhan region. The soil of the experimental site is light chestnut, solonetzic. The humus content in the arable layer was 0.9%, mobile phosphorus and potassium (according to Machigin) - 24.3 and 441.5 mg/kg of soil, respectively, the particle size distribution is medium loamy. The field experiment design included the following variants: no treatment (control); lignohumate of AM potassium brand at a dose of 30, 50 and 70 g/ha. Over the years of study, the average daily air temperature varied from +16.5 to +26.9 ºC. July and August were quite hot, with maximum temperatures ranging from +34.1 to +38.7 ºC. Relative air humidity was 41.6 to 47.7%. Average precipitation during the growing season varied from 12.0 to 22.7 mm. Soil temperature at a depth of 0.05 to 0.15 m ranged from 24.3 to 26.8 ºC. The maximum number of grains per plant (138.3 pcs.), the weight of grains per plant (22.3 g) and the weight of 1000 seeds (212.3 g) were noted in the variant with the preparation dose of 50 g/ha. Based on the results of a three-year study, variants with the preparation doses of 50 and 70 g/ha with a yield of 4.5 t/ha were identified by productivity.

Key words: soybean (Glycine), stimulant, irrigation, water consumption coefficient, yield.

References

1. Lytov MN. [Agroecological assessment of varieties and cultivation methods of irrigated soybeans on reclaimed lands of Volgograd Volga region]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. 2023; 2 (70). 191-200 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-02-22.

2. Tolokonnikov VV, Kantser GP, Koshkarova TS. [Productivity of soybean varieties under different irrigation regimes]. Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2020; Vol.15. 4. 343-352 p. doi: 10.22363/2312-797X 2020-15-4-343-352.

3. Kalenska S, Novytska N, Kalenskii V. The efficiency of combined application of mineral fertilizers, inoculants in soybean growing technology, and functioning of nitrogen-fixing symbiosis under increasing nitrogen rates. Agronomy Research. 2022; Vol.20. No.4. 730-750 p. doi: 10.15159/AR.22.075.

4. Bednarczyk M, Pisarek I. Sustainable development for soya production based on the field research carried out at the variety assessment experimental station of Glubczyce in the years 2015-2017. Economic and Environmental Studies. 2020; Vol.18. No.4. 1219-1234 p. doi: 10.25167/ees.2018.48.3.

5. Krylova TS, Dubrovin AN, Dorozhkina LA. [Efficiency of soil herbicides and their mixtures in soybean crops in Amur region]. Zemledelie. 2020; 4. 33-36 p. doi:10.24411/0044-3913-2020-10409.

6. Vasin VG, Vasin AV, Vershinina OV. [Use of modern growth stimulants in the leguminous crops cultivation: peas, chickpeas, soybeans]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2018; Vol.20. 2 (2). 339-343 p.

7. Nurbekov AI, Khalilova L, Namozov F. Early, medium and late maturing varieties of soybean as a catch crop for irrigated conditions of Uzbekistan. European science review. Section 4. Agricultural sciences. 2021; 30-34 p. doi: 10.29013/ESR-21-11.12-30-34.

8. Silva K, Edmilson E, Cunha E. Agronomic efficiency of Bradyrhizobium pre-inoculation in association with chemical treatment of soybean seeds. African Journal of Agricultural Research. 2018; No.13. 726-732 p. doi: 10.5897/AJAR2018.13016.

Authors:

Tyutyuma Natalya Vladimirovna – Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, e-mail: pniiaz@mail.ru

Bondarenko Anastasiya Nikolaevna – Doctor of Agricultural Sciences, Head of Laboratory of Vegetable Crops Agricultural Technologies, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Tyutyuma Andrey Vladimirovich– Head of the Department of Mechanization and Engineering Support of Science, e-mail: pniiaz@mail.ru

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan region, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-34-40
УДК 633.3:633.321

СООТНОШЕНИЕ КОРМОВОЙ И СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.) В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н. А. Феоктистова

Реферат. Работу выполняли в климатических условиях Западной Сибири (г. Тюмень) в 2015–2022 годах с целью прогноза кормовой и семенной продуктивности клевера лугового с учётом погодных условий вегетационного периода. Оценивали урожайность вегетативной массы в сухом виде и семян у 15 сортообразцов клевера лугового позднеспелого типа при рядовом способа посева. Метеоусловия 7 лет исследований по гидротермическому коэффициенту (ГТК) увлажнения Селянинова варьировали от сильно засушливых (ГТК=0,48 в 2021 году) до избыточно увлажнённых (ГТК=1,72 в 2019 году) и отклонялись от нормы, как по месяцам, так и за весь период вегетации (ГТК=1,43). Урожайность вегетативной массы (сена) у образцов клевера лугового в среднем по годам составляла 7,0…17,7 т/га, семян − 0,151…0,511 т/га. Наибольший сбор сена (17,7; 15,7 т/га) отмечали в годы с достаточным увлажнением 2018, 2019 (ГТК=1,24…1,89), самый низкий (7,0; 9,8 т/га) − в засушливых условиях 2020, 2021 года (ГТК=0,98…0,28). Соотношение между урожайностью сена и семян в разные годы менялось от 14:1 до 105:1, процентное содержание семян в общем урожае составляло от 0,9 до 6,8%. При высокой урожайности сена (15,7; 17,7 т/га), доля семян в общем урожае снижалась до минимальных значений (0,9 и 1,1%). За 7 лет у 11 сортообразцов между урожайностью сена и семян отмечена отрицательная корреляционная связь от средней до тесной силы (r=-0,5…-0,9). Условия достаточного увлажнения способствовали развитию вегетативной массы, засушливые − увеличению урожайности семян. Реакция генотипов на изменение условий среды была неустойчивой, лучшими в опытах были 2 образца − 11-6-67 и 21-2-58(2).

Ключевые слова: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), урожайность сена, урожайность семян, гидротермический коэффициент (ГТК), вариация, корреляция.

Введение. В кормопроизводстве Сибири из многолетних бобовых трав наиболее востребован клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) [1, 2, 3]. Его ценность состоит в том, что наряду с высокой кормовой продуктивностью условия умеренно-континентального климата позволяют формировать высокое количество семян практически ежегодно, что важно для животноводческих предприятий при производстве кормов [4, 5, 6].

Распространённые в регионе сорта клевера лугового Атлант, Ермак, Родник Сибири относят к позднеспелому или одноукосному типу [7], особенностью которого считают наличие побегов с 8…10 междоузлиями, длиной до 150 см, и количеством соцветий от 6 до 100 шт., что способствует хорошей урожайности вегетативной массы и семян [8, 9]. Соцветия преимущественно (до 90%) находятся в верхней части побегов, в них формируется 95% семян [10]. Масса 1000 семян у разных сортов отличается несущественно, но количество выполненных семян зависит от условий года [11]. Необходимая сумма эффективных температур для созревания семян у позднеспелых сортов клевера составляет 1400…1600ºС, при значении ГТК не превышающем 2,6 [12, 13].

Семенная продуктивность клевера лугового формируется благодаря насекомым-опылителям, основные из которых шмели [14, 15]. Эффективность их работы зависит от погоды и времени суток. В частности, установлено, что активность шмелей снижается при относительной влажности 57% и температуре воздуха более 27°С [16, 17].

По морфологическим особенностям каждое растение клевера лугового представляет собой систему автономных вегетативных и генеративных побегов, отличающихся один от другого по возрасту, росту, степени развития. Между ними существует баланс, выражающийся в распределении поступающих ресурсов при чередовании благоприятных и неблагоприятных периодов в течение года, от чего зависит продуктивность и целесообразность использования травостоя на корм или семена [18]. Наблюдения за растениями в полевых опытах позволяют определить, как происходит распределение поступающих ресурсов. В частности, в условиях Центрально-Чернозёмного региона РФ установлено, что семенная продуктивность клевера лугового положительно коррелировала со сбором сухой массы (r=0,70…0,72) [19].

Цель исследований − прогноз урожайности сена и семян у сортообразцов клевера лугового позднеспелого типа с учётом погодных условий Западно-Сибирского региона.

Условия, материалы и методы. Материалом для исследования служили 8 позднеспелых сортообразцов клевера лугового – Родник Сибири (стандарт), Атлант, Гефест, Ермак, Сальдо, Светлячок, Сударь, Памяти Бурлаки, а также 7 гибридных популяций – 11-1-15, 11-4-67, 21-2-58 (2), 13-2, 13-3, 14-5, 14-12. Наблюдения проводили в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ) в 1-й год пользования травостоя в течение 7 лет (2015 год, 2017–2022 годы).

Способ посева − рядовой, норма высева семян − 1,5 г/м^2. Повторность 3-х кратная, площадь одной делянки – 20 м^2, площадь

учёта вегетативной массы – 1 м^2; семян – 19 м^2. Уборку вегетативной массы проводили в период укосной спелости растений (II декада июля); семян − в период их созревания (I…II декада сентября) прямым комбайнированием с последующей сушкой и сортировкой [20].

Опытное поле находится вблизи г. Тюмень. Климат территории − умеренно континентальный. Холодный период с устойчивыми низкими температурами и снежным покровом длится до 270 дней, таяние снега начинается не ранее марта. Лето тёплое, сумма температур выше 10ºС достигает 1900…2200ºС. В течение года выпадает 300…380 мм осадков, из которых на тёплый период приходится 70…80% их годовой суммы [21].

В период, предшествующий укосу, отмечали контрастные погодные условия: очень засушливые (ГТК=0,28 в 2021 году), с нормальным увлажнением (ГТК=1,24…1,55 в 2019, 2015, 2022 годы), с избыточным увлажнением (ГТК=1,89…2,42 в 2018, 2017 годы). Период от цветения до созревания семян характеризовался как сильно засушливый (ГТК=0,47) в 2018 году, среднезасушливый (ГТК=0,65…0,88) в течение 4-х лет, с избыточным увлажнением (ГТК=1,68 и 2,33) в 2015 и 2019 года (рис. 1) [22].

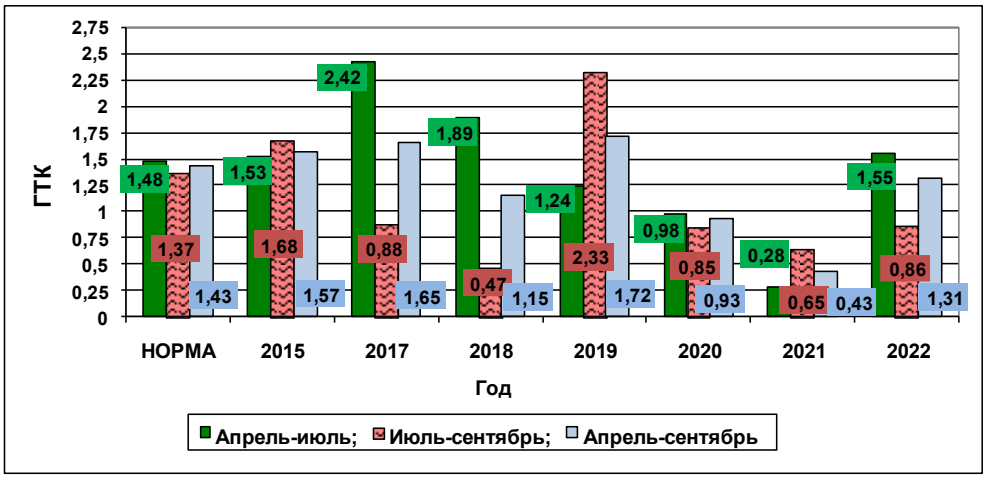


Рис. 1− Гидротермический коэффициент Селянинова

Статистические показатели ($\bar{x}$ – средняя арифметическая, V – коэффициент вариации, r − коэффициент корреляции Пирсона рассчитывали по Б. А. Доспехову [23]. Коэффициент корреляции r между признаками (x) «урожайность сена» и (Y) «урожайность семян» рассчитывали для каждого сортообразца за период 7 лет, принятый за число наблюдений или пар (7), коэффициент корреляции r_2 рассчитывали по всем сортообразцам за каждый год, где число пар соответствовало числу сортообразцов (15). Достоверность коэффициентов корреляции определялась по критическим значениям для числа наблюдений выборки. В опытах с повторениями (здесь было 3) по данным урожайности сена и семян за каждый год проводился дисперсионный анализ, вычислялась НСР между образцами. Значимость различий определяли по результатам дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. Урожайность вегетативной массы в сухом виде у 15 сортообразцов клевера лугового за период наблюдений в среднем составляла от 7,0 (2021 год) до 17,7 т/га (2019 год), у отдельных образцов (18,3…21,5 т/га) она превышала среднее значение по опыту на 16…21%, и формировалась в условиях достаточного увлажнения (2018, 2019 года). Самая низкая кормовая продуктивность (5,4…8,4 т/га) была в сильно засушливых условиях 2021 года.

Урожайность семян отличалась по годам бóльшим варьированием − (0,151…0,511 т/га), разница между средними значениями по опыту за отдельные годы составила 70,5%. Высокая урожайность семян, превышающая у отдельных образцов 0,5 т/га, отмечена в годы с засушливыми условиями в течение всего полевого сезона (2020 год, 2021 год) и в слабо - засушливых условиях во время созревания семян (2017 год). Самые низкие сборы семян (0,151…0,201 т/га) отмечены в контрастных условиях вегетации 2018 год (ГТК=1,89…0,47) и 2019 год (ГТК=1,24…2,33) (табл. 1).

Как правило, сборы сена в годы с достаточным увлажнением (5 лет из 7-ми) повышались и у отдельных образцов достигали 18,3…21,5 т/га, по сравнению с засушливыми условиями 2020, 2021 года, когда отмечали снижение урожайности до 5,4…11,9 т/га, однако и при близких значениях ГТК (1,53 и 1,55 в 2015 и 2022 года) также наблюдали существенную разницу в продуктивности (11,1 и 13,9 т/га), достигающую 20%. Такой результат указывает на то, что даже при одинаковых значениях ГТК в разные годы, показатели продуктивности могут отличаться, поэтому прогнозы с его использованием могут иметь погрешность.

Таблица 1− Урожайность сена и семян позднеспелых сортообразцов клевера лугового, т/га*

Сортообразец	2015 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
Родник Сибири, стандарт	8,9 0,251	10,2 0,339	12,9 0,157	17,4 0,186	11,5 0,548	7,4 0,524	12,9 0,270	11,6 0,325
Атлант	11,2 0,279	9,3 0,417	16,2 0,146	18,4 0,156	12,8 0,585	7,3 0,540	17,1 0,255	13,2 0,339
Гефест	13,0 0,295	10,1 0,431	17,7 0,130	18,6 0,202	11,2 0,643	8,3 0,527	11,0 0,243	12,8 0,353
Ермак	8,6 0,255	7,4 0,339	17,1 0,156	16,3 0,168	9,9 0,360	5,7 0,437	11,7 0,249	10,9 0,280
Сальдо	11,1 0,305	12,4 0,498	16,7 0,180	21,5 0,210	8,9 0,352	8,0 0,402	15,1 0,278	13,4 0,318
Светлячок	14,2 0,267	10,7 0,417	18,3 0,162	17,4 0,147	8,5 0,313	6,4 0,526	14,3 0,252	12,8 0,298
Сударь	11,1 0,270	12,3 0,468	17,2 0,147	19,1 0,162	10,2 0,304	7,0 0,559	13,3 0,265	12,9 0,311
Памяти Бурлаки	10,9 0,275	11,7 0,440	13,9 0,144	17,9 0,149	9,5 0,303	8,4 0,457	13,8 0,264	12,3 0,293
11-1-15	12,0 0,348	12,2 0,467	16,8 0,193	16,9 0,230	9,6 0,345	6,1 0,539	16,2 0,253	12,8 0,339
11-4-67	10,8 0,334	17,2 0,503	16,2 0,129	18,6 0,252	11,9 0,412	6,4 0,520	14,9 0,280	13,7 0,347
21-2-58 (2)	14,2 0,326	14,7 0,447	12,2 0,165	20,4 0,208	9,6 0,382	7,8 0,536	15,5 0,247	13,5 0,330
13-2	10,3 0,322	17,3 0,494	14,3 0,148	14,5 0,204	10,4 0,336	6,1 0,533	16,5 0,257	12,8 0,328
13-3	8,6 0,278	17,9 0,442	16,2 0,135	15,8 0,244	8,5 0,266	8,0 0,558	15,1 0,280	12,8 0,315
14-5	10,7 0,300	16,6 0,525	14,7 0,151	16,4 0,233	7,5 0,310	5,4 0,480	10,5 0,245	11,7 0,320
14-12	11,2 0,288	15,2 0,464	15,5 0,128	16,0 0,273	7,5 0,275	7,1 0,509	11,4 0,246	11,9 0,312
Среднее	11,1 0,293	13,0 0,446	15,7 0,151	17,7 0,201	9,8 0,382	7,0 0,511	13,9 0,259	
НСР $_{05}$	2,2 0,04	4,3 0,09	3,6 0,02	2,7 0,03	0,9 0,03	0,7 0,02	2,0 0,01	

Примечание - в числителе сбор сена, т/га; знаменателе – сбор семян, т/га.*

Соотношение между урожайностью сена и семян варьировало от 14:1 в год засухи 2021 года, до 105:1 в условиях увлажнения 2018 года, а в среднем за 7 лет сбор сена превышал урожайность семян у разных образцов в 36…43 раза. Доля семян, содержащихся в общем урожае, выраженная в %, в разные годы составляла от 0,9 до 6,8%. При высоких сборах сена (15,7; 17,7 т/га) в 2018 и 2019 года, вклад семян в общий урожай был самым низким − 0,9 и 1,1%.

Содержание семян в общей продуктивности сортообразцов в основном не превышало 3,5%, как в отдельные годы (2015, 2018, 2019, 2022 года), так и за весь период наблюдений (2,3…2,7%) (табл. 2).

Таблица 2 − Соотношение урожайности сена и семян 15 сортообразцов

Статистические показатели	2015 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	Среднее
min÷max*	31:1÷53:1	22:1÷40:1	82:1÷136:1	58:1÷120:1	17:1÷32:1	12:1÷20:1	43:1÷67:1	36:1÷43:1
Среднее	38:1	29:1	105:1	91:1	27:1	14:1	54:1	
V, %	15,4	18,8	16,6	23,5	16,6	18,4	14,3	
Содержание семян в общем урожае, %								
min÷max	1,8÷3,0	2,8÷4,4	0,8÷1,3	0,8÷1,7	2,9÷5,4	4,8÷8,1	1,5÷2,3	2,3÷2,7
Среднее	2,6	3,4	0,94	1,1	3,6	6,8	1,8	
V, %	13,9	17,6	17,3	26,2	18,5	14,4	13,6	

Примечание - min ÷ max* – наименьшее и наибольшее по выборке сортообразцов проявление признака.*

Контраст между урожайностью сена и семян наиболее заметен на диаграмме, отражающей среднюю общую продуктивность (сено + семена) 15 сортообразцов в годы проведения наблюдений. Влияние погоды сильнее отражалось на росте вегетативной массы, которая больше зависела от условий увлажнения. Для семенной продуктивности погодные условия были приемлемыми в течение 5 лет из 7, что позволяло получать хорошие для Западной Сибири урожаи семян клевера лугового (0,259…0,511 т/га). Наиболее оптимальное соотношение между урожаями сена и семян отмечено в 2017 г., когда период роста вегетативной массы характеризовался как избыточно увлажнённый (ГТК=2,42), а период цветения и созревания семян как средне - засушливый (ГТК=0,88) (рис. 2).

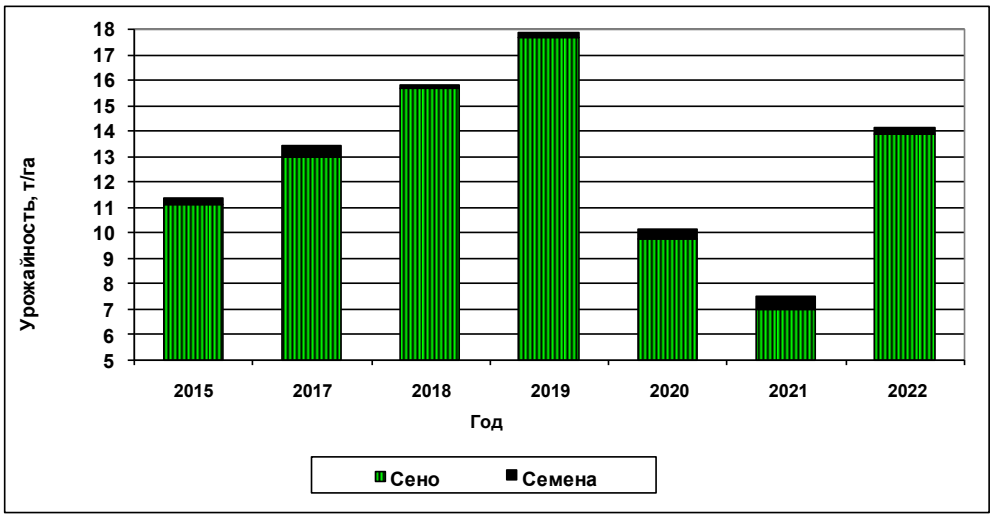


Рис. 2 − Общая продуктивность клевера лугового, т/га, 2015–2022 годы

Исследование тесноты и направления связей между признаками «урожайность сена» и «урожайность семян», выраженных коэффициентом корреляции (r) показало наличие отрицательных корреляционных связей от слабых (r= -0,215) до сильных (r=-0,906). Достоверность связей определялась по критическому значению для 7 наблюдений (r ≥ -0,754), и подтвердилась для 5 сортообразцов. Коэффициент корреляции r_2, рассчитанный для всех образцов за каждый вегетационный период, показал сильную достоверную положительную связь r_2= 0,733 и r_2= 0,778 только в 2017 и 2020 гг., когда образцы с хорошим развитием травостоя дали бóльший урожай семян. В остальные годы связь между урожаями семян и вегетативной массы практически отсутствовала (r_2= -0,007…0,388). При таких неоднозначных результатах требуется продолжение исследований (табл. 3).

Таблица 3 − Коэффициент корреляции между урожайностью сена и урожайностью семян у сортообразцов клевера лугового

Сортообразец	r (2015–2022 годы) критическое значение r ≥ 0,754/						
Родник Сибири	-0,584						
Атлант	-0,746						
Гефест	-0,744						
Ермак	-0,906						
Сальдо	-0,686						
Светлячок	-0,915						
Сударь	-0,823						
Памяти Бурлаки	-0,765						
11-1-15	-0,885						
11-4-67	-0,523						
21-2-58 (2)	-0,610						
13-2	-0,405						
13-3	-0,292						
14-5	-0,215						
14-12	-0,358						
	r_2 (за вегетацию) критическое значение r_2 ≥ 0,514						
	2015год	2017год	2018год	2019год	2020год	2021год	2022год
	0,367	0,733	-0,007	-0,204	0,778	0,047	0,388

Корреляционные связи подтвердили, что высокая урожайность семян у большинства исследуемых образцов клевера лугового формировалась при снижении урожайности вегетативной массы − отрицательная связь от средней до сильной (r=-0,5 до r=-0,9) отмечена у 11 сортообразцов. Очевидно, что в хороших условиях увлажнения создавалось преимущество для развития вегетативной массы, в засушливых условиях − для образования семян.

Выводы. В полевых опытах, проведённых в 2015–2022 годах в условиях Западной Сибири (г. Тюмень), при рядовом способе посева клевера лугового позднеспелого типа средняя урожайность 15 сортообразцов составляла от 7,0 до 17,7 т/га сена, от 0,151 до 0,511 т/га семян. В основном высокие сборы сена отмечали в условиях достаточного увлажнения при значениях гидротермического коэффициента ГТК=1,24…2,42; низкие − в засушливых условиях с ГТК=0,98…0,28. При одинаковых значениях ГТК в разные годы, показатели продуктивности также существенно отличались, поэтому прогнозы с его использованием могут иметь погрешность.

Соотношение между урожайностью сена и семян в разные годы значительно менялось и варьировало от 14:1 до 105:1, а в среднем за 7 лет сбор сена превышал урожайность семян в 36…42 раза. При увеличенном урожае вегетативной массы (15,7…17,7 т/га), вклад семян в общую продуктивность сорта был наименьшим (0,9…1,1%), из чего можно заключить, что хорошие условия увлажнения создавали преимущества для развития вегетативной массы, засушливые − для образования семян.

Коэффициенты корреляции между урожаями сена и семян у разных сортов за 7 лет были отрицательными и варьировали от слабых до сильных (r=-0,215; r=-0,906), при этом достоверность сильных связей подтвердилась у 5 образцов.

Наличие отрицательной связи исключает возможность одновременного формирования высокой урожайности сена и семян за один вегетационный период, что подтвердили коэффициенты корреляции по годам исследований − сильная положительная связь отмечена только в 2017 и 2020 годах.

Реакция большинства генотипов на изменение условий среды была неустойчивой, выделены всего 2 образца − 11-6-67 и 21-2-58 (2), которые в большинстве лет были лучшими как по кормовой, так и по семенной продуктивности.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FWRZ-2021-0015.

Литература

1. Клевер луговой – важнейшая кормовая культура в западной части Нечерноземной зоны / А. Д. Прудников, А. Г. Прудникова, М. И. Перепичай и др. // Аграрная наука. 2024. № 3. С. 134–140. doi: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-134-140.

2. Исторические аспекты, состояние и перспективы развития семеноводства кормовых трав в России / В. Н. Золотарев, О. В. Трухан, П. И. Комахин и др. // Кормопроизводство. 2022. №7. С. 3–9.

3. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 401–407. doi: 10.18699/VJ21.044.

4. Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. Создание исходного селекционного материала клевера лугового с высокими кормовыми качествами для условий Северного региона // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 3. С. 287–298. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-287-298.

5. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Оценка сортов клевера лугового в условиях среднего Предуралья // Вестник Казанского Государственного аграрного университета. 2021. Т.16. № 4 (64). С. 15–18.

6.Тормозин М. А., Зырянцева А. А. Сравнительный анализ сортообразцов клевера лугового питомника конкурсного сортоиспытания с высокими кормовыми качествами // Аграрный вестник Урала. 2021. № 7 (210). С. 16–24. doi: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-16-24.

7. Каталог сортов сельскохозяйственных культур научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья / Е. П. Ренев, А. А. Ярославцев, В. В. Новохатин и др. / НИИСХ Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН. Тюмень: Печатник, 2022. 40 с.

8. Мухина Н. А. Клевер красный. Л.: Колос, 1971. 86 с.

9. Осокин И. В., Акманаев Э. Д., Попов В. А. Сравнение семенной продуктивности одноукосного и двуукосного клевера лугового при разных приёмах посева и некорневой подкормке азотом // Аграрный вестник Урала. 2009. № 1 (55). С. 51–53.

10. Золотарев В. Н. Сопряженность семенной продуктивности клевера лугового с полеганием травостоя // Адаптивное кормопроизводство. 2022. №1. С. 13–25. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-13-25.

11. Марченко Л. В. Семенная продуктивность сортов клевера лугового в условиях Северного Зауралья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 65–69.

12. Корелина В. А. Влияние абиотических факторов на семенную продуктивность клевера лугового (Trifolium pratense L.) в условиях субарктической зоны РФ // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 2. С. 40–47. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47.

13. Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. Оценка перспективных селекционных образцов клевера лугового в конкурсном сортоиспытании по основным хозяйственно полезным признакам // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4 (28). С. 101–109. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-101-109.

14. Гребенников В. С. Шмели-опылители клевера. М.: Россельзохиздат, 1984. 62 с.

15. Riggi L. G. A., Lundin O., Berggren A. Mass - flowering red clover crops have positive effects

on bumblebee richness and diversity after bloom // Basic and Applied Ecology. 2021. Vol. 56. P. 22–31. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179121000979 (дата обращения: 15.09.2024). doi: 10.1016/j.baae.2021.06.001.

16. Karbassioon A., Stanley D. A. Exploring relationships between time of day and pollinator activity in the context of pesticide use // Basic and Applied Ecology. 2023. Vol. 72. P. 74–81. URL: https:// www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179123000324 (дата обращения: 15.09.2024 г.) doi: 10.1016/ j.baae.2023.06.001.

17. Responses in honeybee and bumblebee activity to changes in weather conditions / A. Karbassioon, J. M. Yearsley, T. Dirilgen, et al. // Oecologia. 2023. Vol. 201. P. 689–701. URL:https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/ PMC10038957/ (дата обращения 15.09.2024). doi: 10.1007/s00442-023-05332-x.

18. Туркова Е. В. Морфогенетический цикл апикальных меристем. Типы онтогенеза побегов: 4. Многолетние травянистые бобовые растения // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2005. № 3. С. 27–32.

19. Зарьянова З. А., Кирюхин С. В. Параметры отбора перспективного материала для селекции клевера лугового в условиях Центрально-Черноземного региона РФ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. №3 (35). С. 128–133. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11195.

20. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новосёлов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов и др. М.: Россельхозакадемия, 1997. 156 с.

21. Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. Азиатская часть. М.: Мысль, 1978. 512 с.

22. Погода и климат. 2004-2024. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28367 (дата обращения: 15.09.2024).

23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

Сведения об авторе:
Феоктистова Наталья Александровна − научный сотрудник отдела растениеводства, e-mail: nata_feo@mail.ru
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия

RATIO OF FORAGE AND SEED PRODUCTIVITY OF RED CLOVER (*TRIFOLIUM PRATENSE L.*) IN WESTERN SIBERIA

N. A. Feoktistova

Abstract. The work was carried out in the climatic conditions of Western Siberia (Tyumen) in 2015-2022 in order to predict the forage and seed productivity of red clover, taking into account the weather conditions of the growing season. The productivity of vegetative mass in dry form and seeds was estimated in 15 varieties of red clover of late-ripening type with the row sowing method. The meteorological conditions of the 7 years of research on the hydrothermal coefficient (HTC) of Selyaninov's humidification varied from very dry (HTC = 0.48 in 2021) to excessively moist (HTC = 1.72 in 2019) and deviated from the norm both by month and for the entire growing season (HTC = 1.43). The productivity of vegetative mass (hay) in red clover samples averaged 7.0 ... 17.7 t/ha, seeds - 0.151 ... 0.511 t/ha. The highest hay yield (17.7; 15.7 t/ha) was observed in the years with sufficient moisture in 2018, 2019 (HTC=1.24…1.89), the lowest (7.0; 9.8 t/ha) − in dry conditions of 2020, 2021 (HTC=0.98…0.28). The ratio between the hay and seed yield in different years varied from 14:1 to 105:1, the percentage of seeds in the total yield ranged from 0.9 to 6.8%. With a high hay yield (15.7; 17.7 t/ha), the share of seeds in the total yield decreased to minimum values (0.9 and 1.1%). Over 7 years, a negative correlation from medium to strong (r=-0.5…-0.9) was noted between hay and seed yields in 11 varieties. Sufficient moisture conditions contributed to the development of vegetative mass, while dry conditions contributed to an increase in seed yield. The response of genotypes to changes in environmental conditions was unstable; the best in the experiments were 2 samples: 11-6-67 and 21-2-58(2).

Key words: red clover (*Trifolium pratense L.*), hay yield, seed yield, hydrothermal coefficient (HTC), variation, correlation.

References

1. Prudnikov AD, Prudnikova AG, Perepichay MI. [Red clover is the most important forage crop in the western part of the Non-Chernozem zone]. Agrarnaya nauka. 2024; 3. 134-140 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-134-140.

2. Zolotarev VN, Trukhan OV, Komakhin PI. [Historical aspects, state, and prospects for the development of forage grass seed production in Russia]. Kormoproizvodstvo. 2022; 7. 3-9 p.

3. Kosolapov VM, Chernyavskikh VI, Kostenko SI. [Development of modern breeding and seed production of forage crops in Russia]. Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2021; Vol.25. 4. 401-407 p. doi: 10.18699/VJ21.044.

4. Korelina VA, Batakova OB, Zobnina IV. [Creation of initial breeding material of red clover with high forage qualities for the conditions of the Northern region]. Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2022; Vol.17. 3. 287-298 p. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-287-298.

5. Kasatkina NI, Nelyubina ZhS. [Evaluation of red clover varieties in the conditions of Middle Urals]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 4 (64). 15-18 p.

6. Tormozin MA, Zyryantseva AA. [Comparative analysis of red clover variety samples from a competitive variety testing nursery with high forage qualities]. Agrarnyy vestnik Urala. 2021; 7 (210). 16-24 p. doi: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-16-24.

7. Renev EP, Yaroslavtsev AA, Novokhatin VV. [Catalog of agricultural crop varieties of Northern Urals Research Institute of Agriculture]. NIISKh Severnogo Zauralya – filial TyumNTs SO RAN. Tyumen: Pechatnik. 2022; 40 p.

8. Mukhina NA. Klever krasnyy. [Red clover]. Leningrad: Kolos. 1971; 86 p.

9. Osokin IV, Akmanaev ED, Popov VA. [Comparison of seed productivity of single-cut and double-cut red clover with different sowing methods and foliar fertilizing with nitrogen]. Agrarnyy vestnik Urala. 2009; 1 (55). 51-53 p.

10. Zolotarev VN. [Correlation of seed productivity of red clover with grass lodging]. Adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2022; 1. 13-25 p. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-13-25.

11. Marchenko LV. [Seed productivity of red clover varieties in the conditions of Northern Urals]. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaysvennoy akademii. 2018; 9. 65-69 p.

12. Korelina VA. [Influence of abiotic factors on seed productivity of red clover (Trifolium pratense L.) in the subarctic zone of the Russian Federation]. Adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2019; 2. 40-47 p. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47.

13. Korelina VA, Batakova OB, Zobnina IV. [Evaluation of promising breeding samples of red clover in competitive variety testing for the main economically useful traits]. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki. 2021; 4 (28). 101-109 p. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-101-109.

14. Grebennikov VS. Shmeli-opyliteli klevera. [Bumblebees as pollinators of clover]. Moscow: Rosselzokhizdat. 1984; 62 p.

15. Riggi LGA, Lundin O, Berggren A. Mass - flowering red clover crops have positive effects on bumblebee richness and diversity after bloom. [Internet]. Basic and Applied Ecology. 2021; Vol.56. 22-31 p. [cited 2024, September 15]. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179121000979. doi: 10.1016/j.baae.2021.06.001.

16. Karbassioon A, Stanley DA. Exploring relationships between time of day and pollinator activity in the context of pesticide use. [Internet]. Basic and Applied Ecology. 2023; Vol.72. 74-81 p. [cited 2024, September 15]. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179123000324 doi: 10.1016/j.baae.2023.06.001.

17. Karbassioon A, Yearsley JM, Dirilgen T. Responses in honeybee and bumblebee activity to changes in weather conditions. [Internet]. Oecologia. 2023; Vol.201. 689-701 p. [cited 2024, September 15]. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10038957/. doi: 10.1007/s00442-023-05332-x.

18. Turkova EV. [Morphogenetic cycle of apical meristems. Types of shoot ontogenesis: 4. Perennial herbaceous legumes]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya. 2005; 3. 27-32 p.

19. Zaryanova ZA, Kiryukhin SV. [Parameters for selection of promising material for breeding of red clover in the conditions of Central Black Earth Region of the Russian Federation]. Zernobobovye i krupyanye kultury. 2020; 3 (35). 128-133 p. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11195.

20. Novoselov YuK, Kireev VN, Kutuzov GP. [Methodological guidelines for conducting field experiments with forage crops]. Moscow: Rosselkhozakademiya. 1997; 156 p.

21. Gvozdetskiy NA, Mikhaylov NI. Fizicheskaya geografiya SSSR. [Physical geography of the USSR]. Aziatskaya chast. Moscow: Mysl. 1978; 512 p.

22. Weather and climate. 2004-2024. [cited 2024, September 15]. Available from: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28367.

23. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta. [Methodology of field experiment]. Moscow: Agropromizdat. 1985; 352 p.

Author:

Feoktistova Natalya Aleksandrovna - researcher of Plant Growing Department, e-mail: nata_feo@mail.ru

Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals - branch of Federal State Budgetary Institution of Science of Federal Research Center of Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-41-46
УДК 546.244-31:330.15:631.58

ПРОБЛЕМЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

М. М. Хисматуллин, А. В. Ивойлов, А. А. Лукманов, М. М. Хисматуллин

Реферат. Рост содержания парниковых газов (ПГ) в атмосфере, влияющий на потепление климата на Земле, – один из основных вызовов XXI века. В значительной степени это связывают с антропогенной деятельностью (использование ископаемых видов топлива транспортом, при выработке энергии, при производстве продукции в промышленности и сельском хозяйстве и др.). Цель исследований – ретроспективный анализ планетарного потепления климата, обусловленного деятельностью человека для определения проблем, связанных с декарбонизацией отрасли растениеводства. Методология исследования основана на изучении и анализе публикаций отечественных и зарубежных авторов по карбоновой тематике с использованием общенаучных методов. Считать антропогенную деятельность основным виновником потепления климата на планете некорректно. Декарбонизация отраслей экономики путем снижения эмиссии в атмосферу CO_2, метана, оксида азота – приоритетное направление при разработке и использовании технологий в различных сферах материального производства, в том числе в сельском хозяйстве. В то же время переход растениеводства на низкоуглеродные модели сталкивается с множеством сложностей, требующих философского, методологического и методического анализа. Почвы и агрофитоценозы выполняют важную роль в регулировании содержания ПГ в тропосфере. Одной из ключевых проблем выступает отсутствие унифицированной методики для оценки объемов депонирования и эмиссии ПГ в сельском хозяйстве, что затрудняет объективную оценку полученных результатов, а также нормативной базы по эмиссии и депонированию их разными типами почвы по широкому спектру сельскохозяйственных культур при различных технологиях возделывания. Инвентаризация источников и количественная оценка потоков ПГ в растениеводстве и земледелии позволит разрабатывать адекватные уровню хозяйствования стратегии снижения их углеродной нейтральности для сдерживания темпов глобального изменения климата.

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы, диоксид углерода, метан, оксид азота, секвестрация парниковых газов, эмиссия, почвы.

Введение. Одним из наиболее значимых вызовов современности выступает рост концентрации парниковых газов в атмосфере, что связывается с концепцией глобального потепления (global warming). Согласно этой концепции, повышение средней температуры поверхности Земли обусловлено антропогенными выбросами парниковых газов, прежде всего диоксида углерода (CO_2). Этот процесс требует не только научного осмысления, но и разработки практических решений для смягчения его последствий. Термин «глобальное потепление» появился в 70-х годах прошлого века с легкой руки американского исследователя Уоллеса Брокера (Wallace Smith Broecker) [1] и породил не прекращающуюся вот уже около 50 лет дискуссию о вкладе деятельности людей в этот процесс на Земле.

Согласно современным научным воззрениям, ключевым фактором, ответственным за повышение среднегодовой температуры поверхности Земли, выступает увеличение концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы. К ним относятся углекислый газ (CO_2), гексафторид серы (SF_6), метан (CH_4), оксид азота (N_2O), трифторид азота (NF_3), а также фторорганические соединения, используемые в качестве хладагентов. Эти газы, удерживая инфракрасное излучение солнечной радиации вблизи поверхности планеты, создают парниковый эффект, что приводит к нагреванию Земли. Чем выше их концентрация, тем интенсивнее становится глобальное потепление [2].

Эффективным решением для снижения выбросов парниковых газов служит декарбонизация экономики. Это включает переход на низкоуглеродные источники энергии, такие как возобновляемая энергетика, повышение энергоэффективности, сокращение выбросов метана (например, предотвращение утечек природного газа), а также увеличение поглощения углерода экосистемами и технологическими средствами. Кроме того, необходимо внедрение низкоуглеродных технологий в ключевых отраслях: в металлургии и химической промышленности, при производстве цемента, в сельском хозяйстве и др. [3, 4].

Цель исследований – ретроспективный анализ и нетривиальный взгляд на проблему планетарного потепления климата, связанную с деятельностью людей, означить проблемы декарбонизации отрасли растениеводства при переходе на достижение углеродной нейтральности.

Условия, материалы и методы. Методология исследования основана на изучении и анализе публикаций отечественных и зарубежных авторов по карбоновой тематике с использованием общенаучных и методов исследования – системного подхода, обобщения, восхождения от абстрактного к конкретному и др.

Результаты и обсуждение. У концепции, что виной «глобального потепления»

выступает антропогенный фактор, имеются как сторонники, так и противники [5]. Известно, что климат Земли никогда не был постоянным. Наличие в атмосфере парниковых газов периодически создавало парниковый эффект на нашей планете и в доиндустриальный период [6]. Энергогенерация вследствие использования угля, нефти, природного газа, определяя формирование прибавочной стоимости и материально-финансовых ресурсов, в рамках рыночной парадигмы выступает соблазнительным инструментом конкуренции и различных манипуляций [7]. Поэтому научная дискуссия по этому вопросу плавно перетекла из экологической проблемы в политическую плоскость, завязанную на экономике. В этом контексте невозможно не согласиться с мнением члена-корреспондента РАН, доктора экономических наук И. С. Королева, который отмечает: «Глобальное потепление представлено как главная угроза человечеству, превосходящая даже социальное неравенство, бедность, болезни и риск ядерного конфликта. Этот нарратив используется для оправдания форсированного перехода к возобновляемым источникам энергии, несмотря на значительные экономические и социальные издержки. Климатическая повестка стала инструментом политической игры, направленной на получение выгод отдельными государствами и корпорациями. Ярким примером является решение Европейского союза ввести углеродный налог на импорт товаров с высоким углеродным следом, включая минеральное сырье, металлы, цемент, удобрения и другие продукты» [8].

Известно, что в основном парниковый эффект создает водяной пар, о чем в большинстве случаев умалчивают при обсуждении карбоновой проблемы. Его же вклад составляет примерно 50%, облачности – 25%, то есть суммарное вложение атмосферной влаги в парниковый эффект достигает 75%. При этом доля CO_2 составляет 20%, а на вклад всех остальных газов приходится не более 5% [9]. В то же время эмиссия парниковых газов, связанная с растениеводством, составляет примерно 5% всех их выбросов, вызванных деятельностью человека [10].

Кроме людей, значительная лепта в повышение выбросов в атмосферу парниковых газов, и в первую очередь CO_2, принадлежит естественным для планеты процессам – извержениям вулканов [11], выделению диоксида углерода Мировым океаном в процессе нагревания его вод и др. Известно, например, что растворимость газа и его накопление в воде увеличивается при понижении температуры; и наоборот, при повышении температуры воды депонирование CO_2 уменьшается, о чем свидетельствуют публикации [12].

Из всего сказанного следует, что некорректно однозначно считать антропогенную деятельность основным виновником потепления климата на планете.

Рассмотрим другой аспект проблемы декарбонизации экономики – вклад аграрного сектора в эмиссию парниковых газов. Опубликованы данные, которые показывают, что мировой агропромышленный комплекс образует от 1 до 12% парниковых газов от всего антропогенного объема [13], а объединенный вклад сельского и лесного хозяйства по оценкам 2022 года равен 24% [14]. При этом основные составляющие растениеводства и земледелия – почва и сельскохозяйственные культуры – выступают одновременно в качестве поглотителей и эмитентов парниковых газов. Так, дыхание почвы [15] и растений вносят значительный вклад в эмиссию CO_2 в атмосферу. В то же время растения в ходе фотосинтеза поглощают CO_2 из атмосферы с образованием органического вещества. По экспертным оценкам усвоение диоксида углерода в процессе фотосинтеза в течение года составляет около 260 млрд т, что эквивалентно $7{,}8\times10^{10}$ т углерода [16]. Установлено, что при концентрации CO_2 в 300 ppm потенциал фотосинтеза используется лишь наполовину. По данным C. D. и K. E. Idso [17], удвоение текущей концентрации диоксида углерода приведет (в среднем) к ускорению прироста биомассы у C_3 растений (большинство известных видов) на 41%, а у C_4 (некоторые травянистые растения, в том числе важные сельскохозяйственные культуры – кукуруза, сорго, сахарный тростник, просо и др.) – на 22%. Это успешно используют при производстве сельскохозяйственной продукции (овощей, ягод, цветов) в закрытых объемах (теплицах). Практически у всех видов растений рост концентрации CO_2 в воздухе приводит к активизации фотосинтеза и росту продуктивности растений. По расчетам В. А. Ковды [18], без непрерывного поступления диоксида углерода из почвы в атмосферу существующих запасов его хватило бы не более чем на 35 лет.

С биосферной точки зрения, ключевым процессом, обеспечивающим круговорот углерода, служит фотосинтез. Он выступает основным источником кислорода и потребителем углекислого газа. Углерод накапливается в живой биомассе, органическом веществе, известковых породах, горючих ископаемых, гумусовом слое почв и каустобиолитах [19]. В агроэкосистемах круговорот углерода определяется балансом между его поглощением растениями для синтеза органического вещества и выделением в процессе дыхания почв и растений. Почвы играют двойную роль: они выступают источником CO_2 (так называемое «почвенное дыхание») и одновременно представляют собой важный буферный резервуар как органического (гумус, пожнивно-корневые остатки), так и неорганического углерода [20]. Карбонаты, присутствующие в твердой и жидкой фазах почвы, находятся в динамическом равновесии с углекислым газом почвенной атмосферы. В зависимости от условий, они могут либо аккумулировать CO_2,

либо высвобождать его, регулируя газообмен между почвой, атмосферой и другими геосферами [15]. Углерод, выступая одним из ключевых элементов процессов фотосинтеза растений (так называемого воздушного питания растений), также занимает значительную долю в структуре гумуса, участвует в процессах минерализации и иммобилизации азота, выступает источником питания микроорганизмов, чувствителен к воздействию удобрений [20, 21].

Одной из проблем повышения углеродной нейтральности агропромышленного производства выступает отсутствие общепринятой единой методики определения объемов депонирования и эмиссии парниковых газов в растениеводстве, что затрудняет объективно анализировать и оценивать полученные результаты [2, 22, 23].

В октябре 2021 года была утверждена Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, основная цель которой – обеспечение углеродной нейтральности при стабильном росте экономики страны и среднем темпе не менее 3% годовых ВВП [24]. В ней, кроме прочих, разработаны конкретные мероприятия и для растениеводческой составляющей сельского хозяйства:

распространение применения медленнодействующих минеральных удобрений и удобрений с ингибиторами процессов нитрификации, которые растворяются и высвобождают азот медленнее, нежели традиционные азотные удобрения, соблюдение норм и сроков внесения удобрений в почву, изменение способов внесения удобрений [25, 26];

дифференцированное внесение на возделываемых землях агрохимикатов, использование наилучших доступных технологий в сельском хозяйстве, применение дистанционного зондирования Земли из космоса для наблюдения за состоянием почв и мониторинга посевов [27];

использование прогрессивных агрономических методов (регенеративных технологий), повышающих урожайность и способствующих более интенсивному поглощению остаточного углерода [28, 29];

противоэрозионные и полезащитные мелиоративные мероприятия [28, 30];

обеспечение накопления углерода в почвах сельскохозяйственных земель [24].

Предложенные меры способствуют частичному решению задачи достижения углеродной нейтральности в сельском хозяйстве. Однако вопрос накопления углерода в почвах сельскохозяйственных угодий требует дополнительного глубокого анализа. Например, депонирование углерода в форме органического вещества (гумуса) сопровождается фиксацией азота, который часто находится в дефиците для большинства культур. Это вынуждает фермеров вносить азотные удобрения, что создает дополнительные сложности. Более того, значительное увеличение содержания гумуса в почвах возможно только при применении специальных мер, таких как внесение больших доз органических удобрений или перевод земель в залежь, что не всегда экономически оправдано [31].

Долгосрочные исследования показывают, что традиционные агротехнические методы, направленные на повышение урожайности (оптимизация доз удобрений, минимизация обработки почвы, отказ от чистого пара), приводят лишь к незначительному увеличению содержания гумуса в почве (на 0,1…0,2%) [31, 32, 33]. Даже систематическое внесение растительных остатков (соломы, корневых и пожнивных остатков) не обеспечивает непрерывного накопления углерода. На определенном уровне достигается равновесие между поступлением углерода и его потерями в процессе минерализации («дыхания почвы») [34, 35, 36].

Выводы. Анализ зарубежных и отечественных публикаций по вопросам «глобального потепления климата» и «карбоновой тематики» указывает, что однозначно считать антропогенную деятельность основным и главным виновником потепления климата на Земле некорректно. Это планетарный процесс, в котором задействовано множество «игроков».

Растениеводческая отрасль сельского хозяйства практически единственная сфера, которая способна стать поглотителем выбросов парниковых газов и депонирования углерода.

Декарбонизация сельскохозяйственной отрасли и ее отдельных элементов –комплексный и многоступенчатый процесс. Вряд ли возможно найти универсальный подход к достижению углеродной нейтральности растениеводства, который будет оптимальным для всех регионов и хозяйств разных форм собственности и уровней интенсивности технологий возделывания культур как с точки зрения сокращения эмиссии парниковых газов и депонирования углерода, так и по критерию экономической эффективности.

Отсутствие научно обоснованной и общепринятой нормативной базы по эмиссии и депонированию парниковых газов разными почвами и широким спектром сельскохозяйственных культур при различных технологиях их возделывания (системах и способах обработки, уровнях удобренности и методах защиты растений от вредных организмов и др.), отсутствие адекватной методики определения потоков CO_2, CH_4, N_2O в растениеводстве, затрудняет возможности объективного сравнения и оценки полученных результатов.

Инвентаризация источников и количественная оценка объемов поступления и использования парниковых газов в растениеводстве и земледелии позволит разрабатывать стратегии достижения углеродной нейтральности адекватные уровню хозяйствования.

Литература

1. Broecker W. S. Climatic change; are we on the brink of a pronounced global warming. // Science. 1975. Vol. 189. No. 4201. P. 460–463.

2. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / А. Ю. Иванов, Н. Д. Дурманов, М. П. Орлов и др. / под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.

3. Башмаков И. А. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // Вопросы экономики. 2020. № 7. С. 51–74.

4. Перспективы декарбонизации мировой экономики в контексте реализации Парижского климатического соглашения ООН / Г. В. Сафонов, М. Л. Козельцев, А. В. Стеценко и др. // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2022. Т. 17. № 4. С.38–61.doi:10.17323/1996-7845-2022-04-02.

5. Maslin M. Global Warming: A Very Short Introduction. Oxford University Press; 3 edition (December 1, 2014). 200 p.

6. Глаголев М. В., Сабреков А. Ф. Ответ А. В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2014. Т. 5. № 2. С. 50–70.

7. Снакин В. В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019. Т. 41. № 2. С. 148–164.

8. Королев И. С. «Глобальное потепление» и энергетический переход (внешнеэкономический аспект) // Анализ и прогноз. Журнал ИМЭМО РАН. 2022. № 2. С. 13–22.

9. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект / Н. В. Сырчина, Г. Я. Кантор, В. Н. Пугач и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223.

10. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands / K. M. Carlson, J. S. Gerber, N.D. Mueller, et al. // Nature Climate Change. 2017. Vol. 7. P. 63–68.

11. The emissions of CO2 and other volatiles from the world's subaerial volcanoes / T. P. Fischer, S. Arellano, S. Carn, et al. // Scientific reports. 2019. Vol. 9. No. 1. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-019-54682-1 (дата обращения: 18.01.2025). doi: 10.1038/s41598-019-54682-1.

12. Гудзенко В. Т., Вареничев А. А., Громова М. П. Мировая экономика и газогидраты // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 10. С. 43–57.

13. Carbon, nitrogen and Greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France / B. Loubet, P. Laville, S. Lehuger, et al. // Plant Soil. 2011. Vol. 343. P. 109–137.

14. Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU) / G. J. Nabuurs, R. Mrabet, A. A. Hatab, et al. // Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2023. P. 747–860.

15. Кудеяров В. Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России // Почвоведение. 2018. № 6. С. 643–658.

16. Ивлев А.А. Фотосинтез и оценки баланса углерода в глобальном цикле углерода // Геология нефти и газа. 2020. № 3. С. 71–77. doi: 10.31087/0016-7894-2020-3-71-77.

17. Idso C. D., Idso K. E. Forecasting world food supplies: the impact of rising atmospheric CO2 concentration // Technology 7 (suppl). 2000. P. 33–56.

18. Ковда В. А. Основы учения о почвах. В 2 кн.: Общая теория почвообразовательного процесса. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 448 с. Кн. 2. 468 с.

19. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 264 с.

20. Strawn D. G., Bohn H. L., O´Connor G. A. Soil Chemistry. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 2015. 397 p.

21. Семенов В. М., Лебедева Т. Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // Агрохимия. 2015. № 11. С. 3–12.

22. Особенности оценки углеродного следа в сельском хозяйстве: сравнительный анализ методических подходов / Б. А. Красноярова, А. Е. Назаренко, Т. Г. Плуталова и др. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естеств. науки. 2024. № 1. С. 76–88. doi: 10.18522/1026-2237-2024-1-76-88.

23. Методические указания по количественному определению объема парниковых газов. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. URL: https://eipc.center/pdf/analitic/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf (дата обращения: 18.01.2025).

24 Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». URL: https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-29102021-n-3052-r-ob-utverzhdenii/ (дата обращения: 18.01.2025).

25. Хисматуллин М. М., Хисматуллин М. М., Сафиоллин Ф. Н. Практические приемы частичной замены минеральных удобрений листовой подкормкой многолетних трав на серых лесных почвах Среднего Поволжья // Кормопроизводство. 2019. № 7. С. 12–18.

26. Хисматуллин М. М. Агроэнергетическая и экономическая эффективность поверхностного улучшения пойменных лугов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2010. Т. 5. № 1 (15). С. 120–122.

27. Техника и технология поверхностного улучшения пойменных лугов Республики Татарстан / Ф. Н. Сафиоллин, А. Р. Валиев, С.Р. Сулейманов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 4 (68). С. 50–55. doi: 10.12737/2073-0462-2023-50-55.

28. Сычев В. Г., Хисматуллин М. М., Хисматуллин М. М. Роль мелиорации в повышении эффективности сельскохозяйственного производства и плодородия почв: экономико-правовые аспекты // Плодородие. 2023. № 1 (130). С. 57–63. doi: 10.25680/S19948603.2023.130.14.

29. Антистрессовые и фитогормонные препараты в технологии возделывания ярового рапса на серых лесных почвах Республики Татарстан / Д. Г. Гатауллин Ф. Н. Сафиоллин, Г. С. Миннуллин и др. // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 45–49. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.

30. К вопросу развития и экономической эффективности мелиоративной отрасли Республики Татарстан / А.Р. Валиев, Н.М. Асадуллин, Л.В. Михайлова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 199–205. doi: 10.12737/2073-0462-2023-199-205

31. Шарков И. Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21–27.

32. Дедов А. А., Несмеянова М. А., Дедов А. В. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2017. № 9. С. 25–32.

33. Шарков И. Н., Антипина П. В. Некоторые аспекты углерод-секвестирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. e175. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-uglerod-sekvestriruyuschey-sposobnosti-pahotnyh-pochv/viewer (дата обращения: 18.01.2025). doi: 10.31251/pos.v5i2.175.

34. Демин Е. А., Миллер С. С., Ахтямова А. А. Влияние минеральных удобрений и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // Земледелие. 2024. № 1. С. 17–22. doi: 10.24412/0044-3913-2024-1-17-22.

35. Демин Е. А., Миллер С. С. Влияние различных способов обработки и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // Земледелие. 2024. № 4. С. 13–18. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18.

36. Мирсаяпов Р. Р., Низаметдинов З. М., Асылбаев И. Г. Оценка эмиссии и секвестрация углерода сельскохозяйственными культурами // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 12. С. 35–40. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_35.

Сведения об авторах:

Хисматуллин Марс Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, директор[1], научный сотрудник[2], e-mail: rezi-almet@yandex.ru

[1]Управление «Приволжскмелиоводхоз», г. Казань, Россия

[2]Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия

Ивойлов Александр Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры, e-mail: ivoilov.av@mail.ru

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Лукманов Анас Ахтямович – доктор сельскохозяйственных наук, директор, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Центр агрохимической службы «Татарский», г. Казань, Россия

Хисматуллин Марсель Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экономики и организации производства, e-mail: marselmansurovic@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

PROBLEMS OF DECARBONIZATION OF PLANT PRODUCTION SECTOR AT THE PRESENT STAGE

M. M. Khismatullin, A. V. Ivoylov, A. A. Lukmanov, M. M. Khismatullin

Abstract. The growth of greenhouse gas content in the atmosphere, which affects global warming on Earth, is one of the main challenges of the 21st century. To a large extent, this is associated with anthropogenic activity (the use of fossil fuels in transport, energy production, industrial and agricultural production, etc.). The purpose of the research is a retrospective analysis of planetary warming caused by human activity to identify problems associated with the decarbonization of the plant production sector. The research methodology is based on the study and analysis of publications by domestic and foreign authors on carbon topics using general scientific methods. It is incorrect to consider anthropogenic activity as the main culprit of global warming on the planet. Decarbonization of economic sectors by reducing emissions of CO_2, methane, and nitrogen oxide into the atmosphere is a priority in the development and use of technologies in various areas of material production, including agriculture. At the same time, the transition of crop production to low-carbon models faces many difficulties that require philosophical, methodological and methodical analysis. Soils and agrophytocenoses play an important role in regulating the content of greenhouse gas in the troposphere. One of the key problems is the lack of a unified methodology for assessing the volumes of greenhouse gas deposition and emission in agriculture, which complicates an objective assessment of the results obtained, as well as a regulatory framework for their emission and deposition by different types of soil for a wide range of agricultural crops under various cultivation technologies. An inventory of sources and a quantitative assessment of greenhouse gas flows in crop production and agriculture will allow developing strategies for reducing their carbon neutrality that are adequate to the level of management in order to curb the pace of global climate change.

Key words: climate change, greenhouse gases, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, greenhouse gas sequestration, emissions, soil.

References

1. Broecker WS. Climatic change; are we on the brink of a pronounced global warming. Science. 1975; Vol.189. No.4201. 460-463 p.

2. Ivanov AYu, Durmanov ND, Orlov MP. [Battle for the climate: carbon farming as a stake for Russia: expert report]. Moscow: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki. 2021; 120 p.

3. Bashmakov IA.[Strategy of low-carbon development of the Russian economy]. Voprosy ekonomiki.2020;7.51-74 p.

4. Safonov GV, Kozeltsev ML, Stetsenko AV. [Prospects of the world economy decarbonization in the context of implementation of the UN Paris Climate Agreement]. Vestnik mezhdunarodnykh organizatsiy: obrazovanie, nauka, novaya ekonomika. 2022; Vol.17. 4. 38-61 p. doi: 10.17323/1996-7845-2022-04-02.

5. Maslin M. Global warming: a very short introduction. Oxford University Press; 3 edition (December 1, 2014).200 p.

6. Glagolev MV, Sabrekov AF. [A reply to A.V. Smagin: II. Carbon balance of Russia]. Dinamika okruzhayushchey sredy i globalnye izmeneniya klimata. 2014; Vol.5. 2. 50-70 p.

7. Snakin VV. [Global climate change: forecasts and reality]. Zhizn Zemli. 2019; Vol.41. 2. 148-164 p.

8. Korolev IS. ["Global warming" and energy transition (external economic aspect). Analysis and forecast]. Zhurnal IMEMO RAN. 2022; 2. 13-22 p.

9. Syrchina NV, Kantor GYa, Pugach VN. [Contribution of carbon dioxide and water to the greenhouse effect]. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2021; 4. 218-223 p.

10. Carlson KM, Gerber JS, Mueller ND. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. Nature Climate Change. 2017; Vol.7. 63-68 p.

11. Fischer TP, Arellano S, Carn S. The emissions of CO2 and other volatiles from the world's subaerial volcanoes. [Internet]. Scientific reports. 2019; Vol.9. No.1. [cited 2025, January 18]. Available from: https://www.nature.com/articles/s41598-019-54682-1. doi: 10.1038/s41598-019-54682-1.

12. Gudzenko VT, Varenichev AA, Gromova MP. [Global economy and gas hydrates]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2018; 10. 43-57 p.

13. Loubet B, Laville P, Lehuger S. Carbon, nitrogen and greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France. Plant Soil. 2011; Vol.343. 109-137 p.

14. Nabuurs GJ, Mrabet R, Hatab AA. Agriculture, forestry and other land uses (AFOLU). Climate Change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 2023; 747-860 p.

15. Kudeyarov VN. [Soil respiration and biogenic sink of carbon dioxide in Russia].Pochvovedenie.2018;6.643-658 p.

16. Ivlev AA. [Photosynthesis and carbon balance estimates in the global carbon cycle]. Geologiya nefti i gaza. 2020; 3. 71-77 p. doi: 10.31087/0016-7894-2020-3-71-77.

17. Idso CD, Idso KE. Forecasting world food supplies: the impact of rising atmospheric CO2 concentration. Technology 7 (suppl). 2000; 33-56 p.

18. Kovda VA. Osnovy ucheniya o pochvakh. V 2 kn.: obshchaya teoriya pochvoobrazovatelnogo protsessa. [Fundamentals of soil science. in 2 books: general theory of soil-formation process]. Moscow: Nauka. 1973; Kn.1. 448 p. Kn. 2. 468 p.

19. Kovda VA. Biogeokhimiya pochvennogo pokrova. [Biogeochemistry of soil cover]. Moscow: Nauka. 1985; 264 p.

20. Strawn DG, Bohn HL, O'Connor GA. Soil chemistry. Fourth edition. John Wiley & Sons, Ltd. 2015; 397 p.

21. Semenov VM, Lebedeva TN. [The problem of carbon in sustainable agriculture: agrochemical aspects]. Agrokhimiya. 2015; 11. 3-12 p.

22. Krasnoyarova BA, Nazarenko AE, Plutalova TG. [Features of carbon footprint assessment in agriculture: a comparative analysis of methodological approaches]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestv. nauki. 2024; 1. 76-88 p. doi: 10.18522/1026-2237-2024-1-76-88.

23. Methodological guidelines for the quantitative determination of greenhouse gases. [Internet]. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of June 30, 2017 No 20-r. [cited 2025, January 18]. Available from: https://eipc.center/pdf/analitic/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf.

24. Order of the government of the Russian Federation of October 29, 2021 No. 3052-r "On approval of the strategy for the social and economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050". [Internet]. Legalacts. [cited 2025, January 18]. Available from: https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-29102021-n-3052-r-ob-utverzhdenii/.

25. Khismatullin MM, Khismatullin MM, Safiollin FN. [Practical methods for partial replacement of mineral fertilizers with foliar feeding of perennial grasses on gray forest soils of the Middle Volga region]. Kormoproizvodstvo. 2019; 7. 12-18 p.

26. Khismatullin MM. [Agroenergetic and economic efficiency of surface improvement of floodplain meadows]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010; Vol.5. 1 (15). 120-122 p.

27. Safiollin FN, Valiev AR, Suleymanov SR. [Technique and technology of surface improvement of floodplain meadows of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 4 (68). 50-55 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-50-55.

28. Sychev VG, Khismatullin MM, Khismatullin MM. [The role of land reclamation in increasing the efficiency of agricultural production and soil fertility: economic and legal aspects]. Plodorodie. 2023; 1 (130). 57-63 p. doi: 10.25680/S19948603.2023.130.14.

29. Gataullin DG, Safiollin FN, Minnullin GS. [Anti-stress and phytohormonal preparations in the technology of spring rape cultivation on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. Agrokhimicheskiy vestnik. 2021; 2. 45-49 p. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.

30. Valiev AR, Asadullin NM, Mikhaylova LV. [On the development and economic efficiency of land reclamation industry of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2 (70). 199-205 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-199-205

31. Sharkov IN. [The concept of humus reproduction in soils]. Agrokhimiya. 2011; 12. 21-27 p.

32. Dedov AA, Nesmeyanova MA, Dedov AV. [The influence of biologization techniques of agriculture and soil cultivation methods on the content of organic matter in typical chernozem and the productivity of crop rotations]. Agrokhimiya. 2017; 9. 25-32 p.

33. Sharkov IN, Antipina PV. Some aspects of the carbon sequestering capacity of arable soils. [Internet]. Soils and environment. 2022; Vol.5. 2. e175 p. [cited 2025, January 18]. Available from: https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-uglerod-sekvestriruyuschey-sposobnosti-pahotnyh-pochv/viewer. doi: 10.31251/pos.v5i2.175.

34. Demin EA, Miller SS, Akhtyamova AA. [Influence of mineral fertilizers and soil temperature on carbon dioxide emission in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Urals]. Zemledelie. 2024; 1. 17-22 p. doi: 10.24412/0044-3913-2024-1-17-22.

35. Demin EA, Miller SS. [Effect of various tillage methods and soil temperature on carbon dioxide emission in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Urals]. Zemledelie. 2024; 4. 13-18 p. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18.

36. Mirsayapov RR, Nizametdinov ZM, Asylbaev IG. [Emission assessment and carbon sequestration by agricultural crops]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024; Vol.38. 12. 35-40 p. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_35.

Authors:

Khismatullin Mars Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, director[1], researcher[2], e-mail: rezi-almet@yandex.ru

[1]Privolzhskmeliovodkhoz Department, Kazan, Russia

[2]Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Ivoylov Aleksandr Vasilevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Agronomy and Landscape Architecture Department, e-mail: ivoilov.av@mail.ru

Mordovian State University named after N.P.Ogarev, Saransk, Russia

Lukmanov Anas Akhtyamovich – Doctor of Agricultural Sciences, Director, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Center for Agrochemical Service "Tatarskiy", Kazan, Russia

Khismatullin Marsel Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Economics and Organization of Production Department, e-mail: marselmansurovic@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53
УДК 620.92

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ТЕПЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБОГРЕВА ТЕПЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА

А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, М. О. Уткин, Д. Т. Халиуллин, О. С. Дмитриева

Реферат. В условиях современного энергопотребления и возрастающего спроса на энергоэффективные технологии особую актуальность приобретают системы теплового накопления, способные обеспечить эффективное использование избыточной энергии. Одним из перспективных направлений в этой области является использование высокотемпературных теплоносителей и специализированных теплоизоляционных материалов. Настоящая работа посвящена разработке и исследованию теплового накопителя энергии, использующего олово в качестве теплоносителя и керамический теплоаккумулятор с вольфрамовыми экранами для теплоизоляции. В рамках исследования была разработана и смоделирована конструкция теплового накопителя энергии, предназначенная для аккумулирования тепловой энергии и её последующего использования в системах обогрева тепличных хозяйств и других объектов агропромышленного комплекса. Целью работы является численное двухмерное моделирование процесса нагрева теплового накопителя энергии с использованием программного комплекса SimInTech. В ходе численного моделирования рассчитывались зависимости изменения температуры наружной поверхности теплоизоляции (асбеста) от времени при различных значениях массового расхода олова 0,1-0,3 кг/с, количества вольфрамовых экранов от 3 до 12 и их степени черноты от 0,04 до 0,8. Результаты показали, что увеличение числа вольфрамовых экранов замедляет нагрев наружной поверхности теплоизоляции, что повышает эффективность системы. С увеличением расхода олова ускоряется процесс нагрева, что указывает на более быструю передачу тепла. Изменение степени черноты вольфрамовых экранов оказывает влияние на интенсивность теплопередачи: экраны с высокой степенью черноты поглощают больше тепла, что требует увеличения их количества для поддержания изоляционных свойств. Исследование подтвердило возможность использования программного комплекса SimInTech для моделирования процессов нагрева теплового накопителя, двухмерная осесимметричная модель позволила учесть изменения температуры в радиальном и осевом направлениях, что обеспечило точное представление тепловых процессов.

Ключевые слова: тепловой накопитель энергии, высокотемпературный теплоноситель, теплоаккумулятор, моделирование, теплопередача, система теплоизоляции.

Введение. Тепличное отопление играет ключевую роль в росте и урожайности сельскохозяйственных культур в регионах с неблагоприятными климатическими условиями для открытого грунта [1]. Таким образом крайне важно разработать подходящий метод обогрева теплиц из-за растущей потребности в продуктах питания [2]. При этом затраты на отопление составляют значительную долю эксплуатационных расходов сельского хозяйства, а ископаемое топливо является основным используемым топливом, что влияет на доходы [3]. Кроме того, в отрасли широко распространены потери тепла и энергии [4]. В связи с этим важным направлением с практической и научной точки зрения является разработка энергоэффективных и энергосберегающих методов снижения потребления энергии для управления температурным режимом теплицы [5]. В этом направлении проводятся исследования, например, предложены технологии с использованием электрообогрева [6], солнечной тепловой энергии и энергии биомассы [7], теплоты уходящих газов [8], материалов с фазовым переходом для хранения тепла [9] и др. [10]. Рекуперация отходящего тепла может значительно снизить потребление энергии и выбросы парниковых газов в сельскохозяйственном производстве. В этом исследовании предлагается новый комбинированный режим обогрева теплицы, интегрированный с системой теплового накопителя энергии и солнечными панелями.

Поскольку культуры отличаются по своим потребностям в тепле актуальной задачей является разработка эффективных методов моделирования процесса нагрева теплового накопителя энергии [11], что позволит детально изучить распределение температур в нем, эффективность теплоизоляции и др. параметры при различных условиях эксплуатации, что обеспечит мониторинг и доступ к системе теплоснабжения [12].

Целью работы является оценка эффективности обогрева тепличного хозяйства с использованием разработанного теплового накопителя энергии при помощи двухмерного моделирования процесса в среде SimInTech.

Авторами работы предлагается использовать тепловой накопитель энергии (рис. 1), включающий теплоаккумулятор *3* из сверхвысокотемпературной керамики, два слоя теплоизоляции: первый – из множества тонкостенных экранов из вольфрама *5* с небольшими зазорами между ними, заполненными аргоном, и второй – из асбестового полотна *6*. Такой выбор теплоизоляции обусловлен тем, что экраны из вольфрама препятствуют излучению тепла, а аргон между ними ввиду своей низкой теплопроводности, ограничивает конвективную теплопередачу, а также предотвращает окисление вольфрамовых экранов при температурах более 600°С. Для закачки аргона в тепловой накопитель предусмотрен

штуцер *8*. Отметим, что толщина первого слоя теплоизоляции рассчитывается таким образом, чтобы максимальная температура его наружной стенки в ходе эксплуатации теплового накопителя энергии составляла не более 900°С с целью применения в качестве второго слоя теплоизоляции асбестовых материалов, способных выдерживать температуры до 1000–1500°С и более выгодных в закупке с экономической точки зрения.

Для передачи тепловой энергии теплоаккумулятору *3* и последующего его отбора тепла применяется в качестве высокотемпературного теплоносителя *1* олово, т.к. в процессе эксплуатации теплового накопителя рабочие температуры достигают 2000°С. Поэтому цилиндрический канал *2* и корпус теплоаккумулятора *4* изготавливаются из тугоплавкого материала вольфрама (рис. 1).

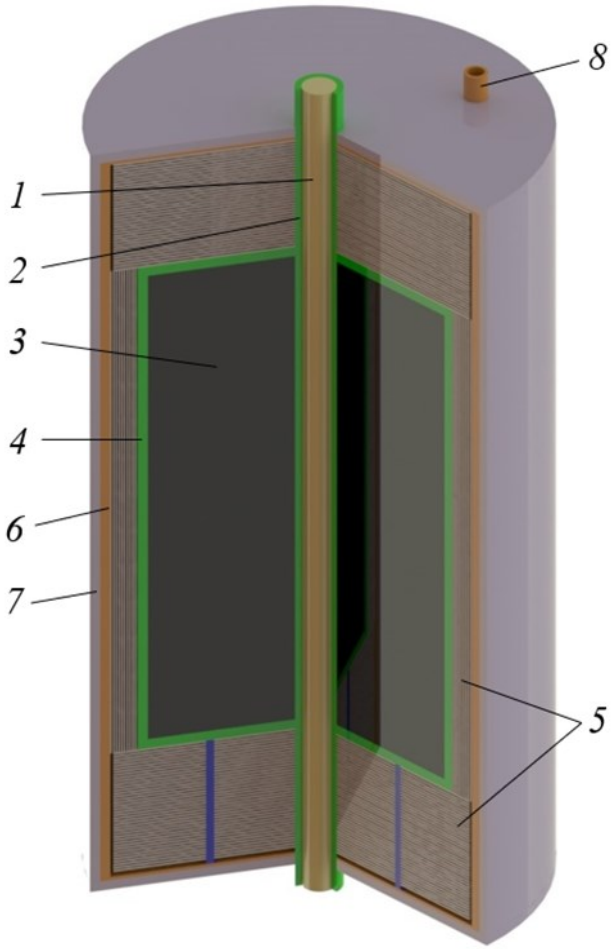


Рис. 1 – Тепловой накопитель энергии (вид с разрезом):
1 – высокотемпературный теплоноситель; *2* – цилиндрический канал; *3* – теплоаккумулятор; *4* – корпус теплоаккумулятора; *5*, *6* – первый и второй слои теплоизоляции соответственно; *7* – корпус теплонакопителя; *8* – штуцер

При этом, олово обладает высокой теплоемкостью, низкой стоимостью и экологичностью, не вступает в реакцию с внутренними стенками цилиндрического канала из вольфрама, что предотвращает коррозию и продлевает срок службы системы. Сверхвысокотемпературная керамика обладает высокой тепловой инерцией, что позволяет аккумулировать большое количество тепловой энергии и медленно ее отдавать, обеспечивая стабильную работу системы даже при циклических нагрузках.

Тепловой накопитель энергии (рис. 1) может быть использован для отопления теплиц или других объектов агропромышленного комплекса по следующей схеме реализации (рис. 2). В первом контуре олово нагревается с помощью избыточной электроэнергии, вырабатываемой солнечными панелями *3* до температуры 1500-2000°С, за счет электричества, поступающего на трубчатые электронагреватели. Циркуляция олова по контуру *6* осуществляется электромагнитным насосом *7* через теплообменник *8* и тепловой накопитель энергии *5* без использования движущихся механических частей за счет взаимодействия электрического тока и магнитного поля, что делает систему надежной и долговечной даже при экстремально высоких температурах.

Теплообменник *8* содержит вольфрамовую трубку, по которой течет нагретое олово, вокруг которой находится воздушная прослойка, далее находится цилиндрическая труба, по которой течет теплоноситель (вода). Причем наружная цилиндрическая труба связана со вторым контуром, включающим систему трубопроводов *9* и *10*, расположенных под теплицей *2*. Вода в цилиндрической трубе нагревается за счет излучения от вольфрамовой трубки, превращаясь в пар, который поднимается по трубам *10* и подогревает грунт *1* под теплицей *2*. Сконденсированный пар в виде капель воды возвращается под действием силы тяжести по линии *9* в теплообменник *8*, в котором снова нагревается, превращаясь в пар. Таким образом, осуществляется замкнутый цикл, обеспечивающий эффективное использование тепловой энергии олова для генерации пара, позволяющий системе эффективно и экологично осуществлять обогрев тепличного хозяйства для роста и созревания культур.

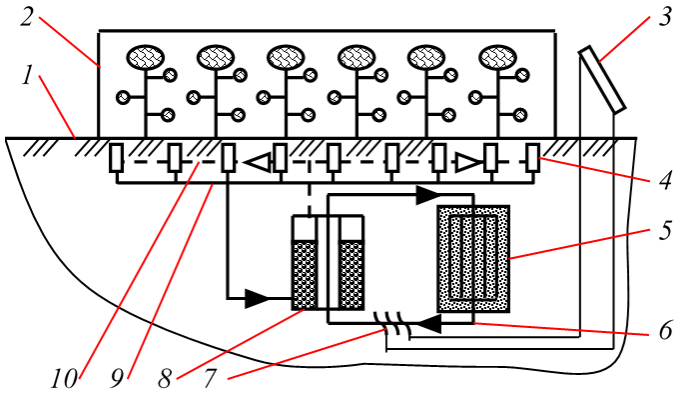


Рис. 2 – Схема применения теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства: 1 – поверхность грунта; 2 – тепличное хозяйство; 3 – солнечные панели; 4 – тепловые трубы; 5 – тепловой накопитель энергии; 6 – линия циркуляции жидкого металла; 7 – насос-нагреватель; 8 – теплообменник; 9 – линия движения воды; 10 – линия движения пара

Условия, материалы и методы. Конструкция теплового накопителя энергии и процесс его работы были смоделированы с использованием программного продукта SimInTech в учебной версии (рис. 3) в нестационарной постановке. В рамках исследования решалась двухмерная осесимметричная задача, что позволило учесть изменение температуры в радиальном и осевом направлениях теплонакопителя.

На входе в цилиндрический канал теплонакопителя, через который циркулирует олово, задавался его расход G в диапазоне от 0,1 до 0,3 кг/с, при начальной температуре t_0 = 1700°C. На выходе из канала задавалось атмосферное давление $P_{атм} = 10^5$ Па. По мере движения олова по высоте цилиндрического канала происходит передача тепла к поверхности стенок канала, теплоаккумулятору и другим элементам системы теплоизоляции, что учитывается в расчетах. Высота канала была разбита на 10 расчетных блоков, в каждом из которых производился расчет локальной температуры t и коэффициента теплоотдачи α. При создании теплоаккумулятора в качестве материала была выбрана керамика толщиной 0,5 м. Внутренний слой теплоизоляции теплоаккумулятора состоит из нескольких вольфрамовых экранов, каждый толщиной 0,5 мм, с зазорами величиной 0,5 мм, заполненными аргоном. Наружный слой изоляции выполнен из асбеста толщиной 0,2 м. Температура окружающей среды t_f принята равной 20°C, коэффициент теплоотдачи от второго слоя изоляции к окружающей среде α = 10 Вт/(м^2·°C) (рис. 3).

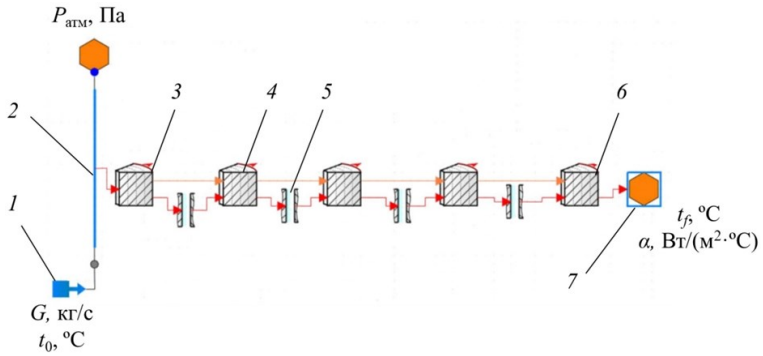


Рис. 3 – Расчетная схема модели теплового накопителя энергии в SimInTech: *1* – МГД-насос; *2* – линия движения олова; *3* – теплоаккумулятор (керамика); *4* – вольфрамовые экраны (3 шт.); *5* – зазоры с аргоном; *6* – асбестовая теплоизоляция; *7* – внешняя среда

В ходе моделирования варьировалось количество вольфрамовых экранов от 3 до 12, а также их степень черноты ε от 0,04 до 0,8, что позволило провести исследование их влияния на изменение температуры нагрева наружной поверхности второго слоя во времени.

В процессе моделирования использовались основные уравнения теплопередачи, учитывались все виды теплообмена. Для учета температурного поля температура осреднялась на основе результатов, полученных из 10 расчетных блоков вдоль высоты трубы.

Результаты и обсуждение. На основе данных, полученных в результате расчета средствами SimInTech построены зависимости изменения температуры нагрева наружной поверхности второго слоя теплоизоляции (асбеста) теплового накопителя энергии t в течение времени τ при различных условиях моделирования (рис. 4, 5).

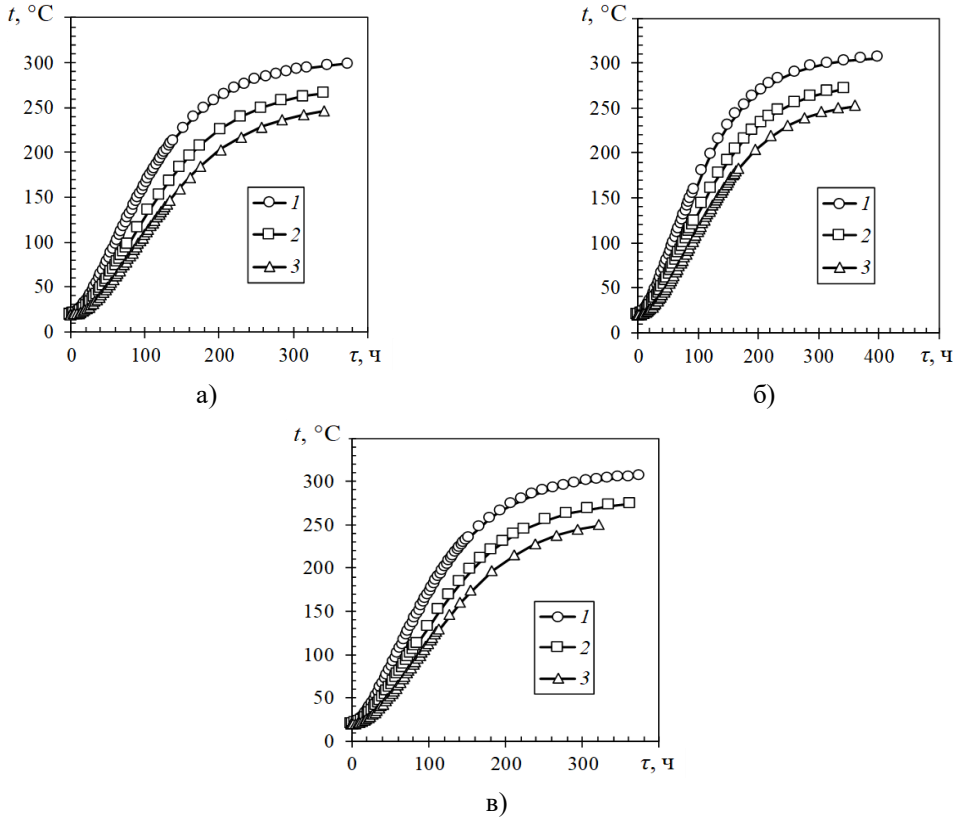


Рис. 4 – Изменение температуры нагрева наружной поверхности второго слоя теплоизоляции из асбеста в течение времени со степенью черноты вольфрамовых экранов ε = 0,04 при разном их количестве в первом слое: *а*) при расходе олова G = 0,1 кг/с; *б*) при расходе олова G = 0,2 кг/с; *в*) при расходе олова G = 0,3 кг/с; *1* – количество вольфрамовых экранов – 3 шт.; *2* – количество вольфрамовых экранов – 8 шт.; *3* – количество вольфрамовых экранов – 12 шт.

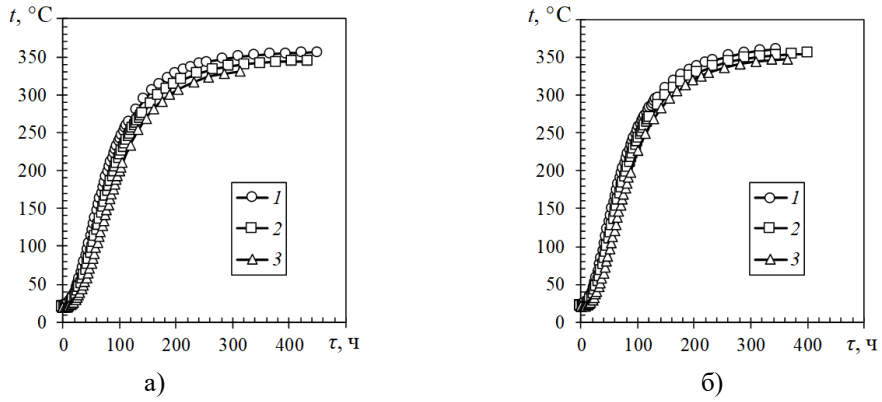


Рис. 5 – Изменение температуры нагрева наружной поверхности второго слоя теплоизоляции из асбеста в течение времени при расходе олова G = 0,3 кг/с и разном количестве вольфрамовых экранов в первом слое: *а*) со степенью черноты ε = 0,5, *б*) со степенью черноты ε = 0,8; *1* – количество вольфрамовых экранов – 3 шт.; *2* – количество вольфрамовых экранов – 8 шт.; *3* – количество вольфрамовых экранов – 12 шт.

Видно, что увеличение числа вольфрамовых экранов в первом слое теплоизоляции (от 3 до 8) способствует уменьшению скорости нагрева наружной поверхности асбеста, что свидетельствует о повышении эффективности теплоизоляционных свойств. При увеличении расхода олова с 0,1 до 0,3 кг/с происходит более быстрый нагрев наружной поверхности асбеста (рис. 4, *а-в*), т .к. большее количест во тепловой энергии переносится через теплоаккумулятор за единицу времени. Изменение степени черноты вольфрамовых экранов ε от 0,04 (рис. 4, *в*) до 0,5-0,8 (рис. 5, *а* и *б*) приводит к более интенсивному поглощению теплового излучения при прохождении через несколько вольфрамовых экранов, т.к. отражательная и поглощающая способности материала напрямую зависят от его степени черноты, то при низком значении ε = 0,04 (рис. 4, *в*) вольфрамовый экран действует как отражатель, поскольку большая часть падающего теплового излучения не поглощается, а отражается от его поверхности. При высокой степени черноты ε = 0,8 (рис. 5, *б*) материал становится поглотителем тепловой энергии. Чем выше степень черноты, тем больше падающей тепловой энергии он поглощает и, соответственно, больше нагревается. Поглощенная энергия приводит к увеличению температуры материала теплоизоляции, т.к. большая часть излучения трансформируется в тепловую энергию внутри структуры. Так, изменение температуры наружной поверхности асбеста составляет от 305 до 359°С при увеличении степени черноты вольфрамовых экранов ε от 0,04 до 0,8 в количестве 3 шт. Ввиду этого, при высоких значениях ε, необходимо увеличить количество вольфрамовых экранов (рис. 4, *в* и рис. 5, *а-б*).

На представленных графиках (рис. 4, 5) можно наблюдать, что все температурные зависимости с течением времени выходят на асимптоту, указывающую на достижение стационарного состояния в процессе передачи тепловой энергии. Данный этап характеризует баланс между теплопоступлением от жидкометаллического теплоносителя олова и тепловыми потерями через слои теплоизоляции. Иными словами, система достигает термодинамического равновесия. Переход на асимптотическую часть графика можно интерпретировать как момент завершения процесса зарядки теплового накопителя энергии. В точках выхода на асимптоту дальнейший рост температуры практически прекращается, что указывает на полное накопление тепла в системе.

При массовом расходе олова G = 0,1 кг/с и степени черноты вольфрамовых экранов ε = 0,04 температура наружной поверхности теплоизоляции из асбеста t составила 298 (τ = 374 ч), 265 (τ = 342 ч) и 246 (τ = 340 ч) °С при количестве экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно (рис. 4, *а*). С увеличением расхода олова до значений G = 0,2 кг/с температура наружной поверхности асбеста t составила 305 (τ = 400 ч), 270 (τ = 344 ч) и 252 (τ = 361 ч) °С при количестве экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно (рис. 4, *б*). При G = 0,3 кг/с температура наружной поверхности асбеста t составила 305 (τ = 375 ч), 274 (τ = 363 ч) и 249 (τ = 322 ч) °С при количестве экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно (рис. 4, *в*). Таким образом, оценочное время зарядки теплового накопителя энергии в среднем составляет 352, 368 и 353 ч при расходе олова 0,1, 0,2 и 0,3 кг/с соответственно и при ε = 0,04 (рис. 4, *а-в*).

При степени черноты вольфрамовых экранов ε = 0,5 и массовом расходе олова G = 0,3 кг/с температура наружной поверхности второго слоя теплоизоляции составила 355 (τ = 450 ч), 344 (τ = 433 ч) и 331 (τ = 313 ч) °С при количестве экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно (рис. 5, *а*). При увеличении степени черноты вольфрамовых экранов ε до 0,8 температура наружной поверхности асбеста t составила 359 (τ = 344 ч), 354 (τ = 400 ч) и 347 (τ = 363 ч) °С при количестве экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно (рис. 5, *б*). Стоит отметить, что для степени черноты вольфрамовых экранов ε = 0,04 результаты представлены выше на рисунке 4, *в*. Оценочное время зарядки теплового накопителя энергии в среднем составляет 353, 404 и 369 ч для условия, когда степень черноты вольфрамовых экранов равна 0,04 (рис. 4, *в*), 0,5 (рис. 5, *а*) и 0,8 (рис. 5, *б*) соответственно при G = 0,3 кг/с.

Таким образом, достигнутые стационарные состояния при проведенных численных расчетах соответствуют моменту полной зарядки теплового накопителя энергии, что позволяет оценить необходимое время для завершения данного процесса.

Исследование продемонстрировало возможность использования программного обеспечения SimInTech для моделирования процессов теплопередачи в тепловом накопителе энергии. В данном случае рассматривались конструкции накопителя энергии с количеством экранов от 3 до 12, однако в реальных промышленных установках число экранов может быть значительно больше, что значительно улучшит теплоизоляционные свойства и продлит срок эксплуатации системы.

Выводы. В результате проведенного исследования была достигнута цель оценки эффективности обогрева тепличного хозяйства с использованием разработанного теплового накопителя энергии. Использование двухмерного моделирования в среде SimInTech позволило детально изучить распределение температур в тепловом накопителе, эффективность теплоизоляции и другие параметры при различных условиях эксплуатации.

Увеличение количества вольфрамовых экранов с 3 до 12 шт. замедлило нагрев наружной поверхности теплоизоляции, что свидетельствует о значительном улучшении теплоизоляционных характеристик системы. Это подтверждает гипотезу о влиянии количества экранов на теплоизоляцию.

Увеличение расхода олова с 0,1 до 0,3 кг/с ускорило процесс нагрева системы и сократило время выхода на стационарное состояние. Это подтверждает более эффективную передачу тепла при большем расходе теплоносителя.

Увеличение степени черноты вольфрамовых экранов от 0,04 до 0,8 привело к более интенсивному поглощению теплового излучения, что требует увеличения количества экранов для поддержания оптимальной теплоизоляции.

Время полной зарядки теплового накопителя варьировалось от 352 до 404 часов в зависимости от массового расхода олова и степени черноты экранов. Это позволяет прогнозировать сроки эксплуатации системы и планировать ее использование.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации систем теплоснабжения в тепличных хозяйствах, что приведет к росту экономического эффекта производства за счет повышения энергоэффективности и сокращения затрат на отопление.

Рекомендации и направления для дальнейшего развития: разработать более сложные модели, учитывающие трехмерные эффекты и динамические изменения в системе, исследовать влияние других материалов и конструкций экранов на эффективность теплоизоляции.

Сведения об источнике финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061, https://rscf.ru/project/24-29-20061/.

Литература

1. Смирнов П.А., Тихонова А.В. Опытно-аналитическое определение критических температурных точек теплицы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 4 (68). С. 98–105. doi: 10.12737/2073-0462-2023-98-105.

2. Research of different heating modes of greenhouses / K. V. Osintsev, I. S. Prikhodko, V. S. Shichkina [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article 052007. doi: 10.1088/1755-1315/723/5/052007.

3. Tahery D., Roshandel R., Avami A. An integrated dynamic model for evaluating the influence of ground to air heat transfer system on heating, cooling and CO2 supply in Greenhouses: Considering crop transpiration // Renewable Energy. 2021. Vol. 173. P. 42–56. doi: 10.1016/j.renene.2021.03.120.

4. Пындак В.И., Новиков А.Е., Амчеславский О.В. Теплицы для малоземельных хозяйств // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (41). С. 234–240.

5. Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Исследование влияния различных факторов на тепловую мощность лучисто-конвективной системы отопления зимней теплицы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 149–161. doi: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-149-161.

6. Разработка электрического саморегулируемого позисторного подогревателя грунта / В. Ф. Калинин, С. В. Кочергин, А. В. Кобелев и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 1. С. 163–168.

7. Integration of a heating and cooling system driven by solar thermal energy and biomass for a greenhouse in Mediterranean climates / J. Prieto, R. M. Ajnannadhif, O. P. Fernández-del [et al.] // Applied Thermal Engineering. 2023. Vol. 221. Article 119928. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119928.

8. Новичков С.В., Бурденкова Е.Ю. Использование теплоты уходящих газов котла-утилизатора бинарной ПГУ для обогрева тепличного хозяйства // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 3. С. 20–24. doi: 10.18635/2071-2219-2020-3-20-24.

9. Nishad S., Krupa I. Phase change materials for thermal energy storage applications in greenhouses: A review // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2022. Vol. 52. Part C. Article 102241. doi: 10.1016/j.seta.2022.102241.

10. Sethi V.P., Sharma S.K. Survey and Evaluation of Heating Technologies for Worldwide Agricultural Greenhouse Applications // Solar Energy. 2008. Vol. 82. № 9. P. 832–859. doi: 10.1016/j.solener.2008.02.010.

11. Modeling the destruction of the grain shell of cereal crops / E. G. Nurullin, A. V. Dmitriev, D. T. Khaliullin [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”. Vol. 52. – Kazan: EDP Sciences, 2022. – P. 00060. – DOI 10.1051/bioconf/20225200060.

12. Zinurov V., Nikandrova M., Kharkov V. Assessment of Thermal Storage Technologies in Energy Sector // IEEE Xplore. 2020. P. 68–71. doi: 10.1109/USEC50097.2020.9281236.

Сведения об авторах:

Дмитриев Андрей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств, e-mail: ieremiada@gmail.com

Зинуров Вадим Эдуардович – кандидат технических наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой инженерной графики, e-mail: vadd_93@mail.ru

Уткин Максим Олегович – аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств, e-mail: 209maks@mail.ru

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Халиуллин Дамир Тагирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: damirtag@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

Дмитриева Оксана Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры оборудования пищевых производств, e-mail: ja_deva@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

NUMERICAL SIMULATION OF HEATING OF A THERMAL ENERGY STORAGE DEVICE FOR HEATING A GREENHOUSE

A. V. Dmitriev, V. E. Zinurov, M. O. Utkin, D. T. Khaliullin, O. S. Dmitrieva

Abstract. In the context of modern energy consumption and increasing demand for energy-efficient technologies, heat accumulation systems capable of ensuring the efficient use of excess energy are of particular relevance. One of the promising areas in this area is the use of high-temperature heat carriers and specialized thermal insulation materials. This work is devoted to the development and study of a thermal energy storage device using tin as a heat carrier and a ceramic heat accumulator with tungsten screens for thermal insulation. As part of the study, a design of a thermal energy accumulator was developed and modeled, intended for the accumulation of thermal energy and its subsequent use in heating systems of greenhouses and other objects of the agro-industrial complex. The aim of the work is a numerical two-dimensional simulation of the heating process of a thermal energy storage device using SimInTech software package. In the course of numerical simulation, the dependences of the change in the temperature of the outer surface of the thermal insulation (asbestos) on time were calculated at different values of the mass flow rate of tin of 0.1-0.3 kg/s, the number of tungsten screens from 3 to 12 and their emissivity from 0.04 to 0.8. The results showed that an increase in the number of tungsten screens slows down the heating of the outer surface of the thermal insulation, which increases the efficiency of the system. With an increase in tin consumption, the heating process accelerates, which indicates faster heat transfer. A change in the emissivity of tungsten screens affects the intensity of heat transfer: screens with a high emissivity absorb more heat, which requires an increase in their number to maintain the insulating properties. The study confirmed the possibility of using SimInTech software package for modeling the heating processes of a heat accumulator; a two-dimensional axisymmetric model made it possible to take into account temperature changes in the radial and axial directions, which ensured an accurate representation of thermal processes.

Key words: thermal energy storage, high-temperature coolant, heat accumulator, modeling, heat transfer, thermal insulation system.

References

1. Smirnov PA, Tikhonova AV. [Experimental and analytical determination of critical temperature points of a greenhouse]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 4 (68). 98-105 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-98-105.

2. Osintsev KV, Prikhodko IS, Shichkina VS. Research of different heating modes of greenhouses. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; Article 052007. doi: 10.1088/1755-1315/723/5/052007.

3. Tahery D, Roshandel R, Avami A. An integrated dynamic model for evaluating the influence of ground to air heat transfer system on heating, cooling and CO2 supply in Greenhouses: Considering crop transpiration. Renewable Energy. 2021; Vol.173. 42-56 p. doi: 10.1016/j.renene.2021.03.120.

4. Pyndak VI, Novikov AE, Amcheslavskiy OV. [Greenhouses for small-scale farms]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2016; 1 (41). 234-240 p.

5. Pavlov MV, Karpov DF. [Study of the influence of various factors on the thermal power of the radiant-convective heating system of a winter greenhouse]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. 2019; Vol.21. 6. 149-161 p. doi: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-149-161.

6. Kalinin VF, Kochergin SV, Kobelev AV. [Development of an electric self-regulating posistor soil heater]. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 1. 163-168 p.

7. Prieto J, Ajnannadhif RM, Fernandez-del OP. Integration of a heating and cooling system driven by solar thermal energy and biomass for a greenhouse in Mediterranean climates. Applied Thermal Engineering. 2023; Vol.221. Article 119928. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119928.

8. Novichkov SV, Burdenkova EYu. [Using the heat of exhaust gases from a waste heat boiler of a binary combined cycle gas turbine to heat a greenhouse]. Energobezopasnost i energosberezhenie. 2020; 3. 20-24 p. doi: 10.18635/2071-2219-2020-3-20-24.

9. Nishad S, Krupa I. Phase change materials for thermal energy storage applications in greenhouses: a review. Sustainable energy technologies and assessments. 2022; Vol.52. Part C. Article 102241. doi: 10.1016/j.seta.2022.102241.

10. Sethi VP, Sharma SK. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. Solar Energy. 2008; Vol.82. 9. 832-859 p. doi: 10.1016/j.solener.2008.02.010.

11. Nurullin EG, Dmitriev AV, Khaliullin DT. Modeling the destruction of the grain shell of cereal crops. BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”. Vol.52. Kazan: EDP Sciences. 2022; 00060 p. – DOI 10.1051/bioconf/20225200060.

12. Zinurov V, Nikandrova M, Kharkov V. Assessment of thermal storage technologies in energy sector. IEEE Xplore. 2020; 68-71 p. doi: 10.1109/USEC50097.2020.9281236.

Authors:

Dmitriev Andrey Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Automation of Technological Processes and Production, e-mail: ieremiada@gmail.com

Zinurov Vadim Eduardovich – Ph.D. of Technical Sciences, acting head of Department of Automation of Technological Processes and Production, Department of Engineering Graphics, e-mail: vadd_93@mail.ru

Utkin Maksim Olegovich – post-graduate student of Department of Automation of Technological Processes and Production, e-mail: 209maks@mail.ru

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Khaliullin Damir Tagirovich – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of Department of Machines and Equipment in Agribusiness, e-mail: damirtag@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Dmitrieva Oksana Sergeevna – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Department of Food Production Equipment, e-mail: ja_deva@mail.ru

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-54-62
УДК 635.1:631.316.45

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УДАЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ В СЕМЕНОВОДСТВЕ

А. Ю. Измайлов, А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, М. А. Мосяков, Н. В. Сазонов

Реферат. Для селекции картофеля актуальным являются вопросы разработки машин и оборудования для лабораторных и полевых работ. Это связано с тем, что методикой проведения селекционных работ и первых этапов семеноводства предусмотрено сравнение многочисленных растений различного происхождения, отбор лучших для дальнейшего размножения и дальнейшей работы вплоть до выведения нового сорта или передачи семян на размножение в производственных условиях. Целью исследования является разработка манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающее исключение заражения семян при выведении новых сортов и гибридов. Научная новизна – закономерности обоснования манипулятора для автоматизированного удаления зараженных растений в семеноводстве. Выполнено теоретическое обоснование системы управления привода исполнительных электроцилиндров манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур. При проведении теоретических исследований установлено, что основным возмущающим воздействием, вызывающим изменение подачи зараженного растения, является изменение урожайности растений картофеля на поле G, имеющее статистический характер. Разработана функциональная схема системы управления привода исполнительных электроцилиндров манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур и установлено, что амплитуда полезного сигнала контроллера управления положением манипулятора φ_{max}=10° а частота ω_{φ}=10²с¹ амплитуда помехи γ_{max}=5°, частота сигнала ω_{γ}=8 с¹. Определено, что для получения заданной точности воспроизведения полезного сигнала привода исполнительных электроцилиндров манипулятора необходимо иметь значения постоянных времени датчика и исполнительного механизма, при которых ошибка воспроизведения полезного сигнала Δ_{φ} не превосходила бы 1,5°, а сигнал помехи ослаблялся не менее чем в 20 раз. Разработан манипулятор автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающий извлечение зараженных растений с подкапыванием пласта почвы.

Ключевые слова: удаление, автоматизация, заражение, картофель, овощные культуры, теоретические исследования, обоснование параметров.

Введение. Проведение оздоровительных приемов на семеноводческих посадках овощных культур и картофеля выполняется при соблюдении рекомендаций агрономов-селекционеров по каждому видовому сорту продукции [1].

Определение различных структурных и функциональных изменений возделываемых культур как отклик на воздействие внешней среды отображается на видовом составе культурных растений в форме проявления патологии или заболевания различной природы [2], которое в современных условиях производства семян контролируется селекционером [3]. При этом, следует отметить тот факт, что качество и достоверность диагностирования поражений растений заболеванием зависит от квалификации селекционера [4], что позволяет не в полной мере обеспечить сохранение объемов получаемого семенного материала овощных культур [5].

Следовательно, целью исследования является разработка манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающее исключение заражения семян при выведении новых сортов и гибридов, позволяющего обеспечить производство семеноводческого материала на современном высокотехнологическом уровне производства с минимальными затратами труда селекционера и сохранении его репродукции.

Реализация данного направления позволит обеспечить продовольственную безопасность и независимость России, конкурентоспособность отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе в соответствии с целью Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы «Снижение уровня импортозависимости за счет внедрения и использования: технологий производства семян высших категорий и технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия путем увеличения числа конкурентоспособных отечественных технологий» [6].

Условия, материалы и методы. Теоретические исследования проводили в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва) в 2022–2024 годах. Программой предусматривалось проведение исследований по разработке манипулятора автоматизированной машины для проведения оздоровительных приемов по удалению зараженных растений картофеля и овощных культур с семеноводческих делянок, которые выполняли с использованием методов классической и земледельческой механики [7], основные положения теории разрушения,

механики грунтов [8]. В работе использовали методы системного анализа и синтеза, физического моделирования [9], основанные на принципах математической статистики, численные методы решения аналитических зависимостей, а также систем автоматизированного проектирования с пакетами прикладных программ «Solidworks» и «Компас» [10].

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатывается автоматизированная машина для проведения оздоровительных приемов по удалению зараженных растений картофеля и овощных культур с семеноводческих делянок, схема которой представлена на рисунке 1.

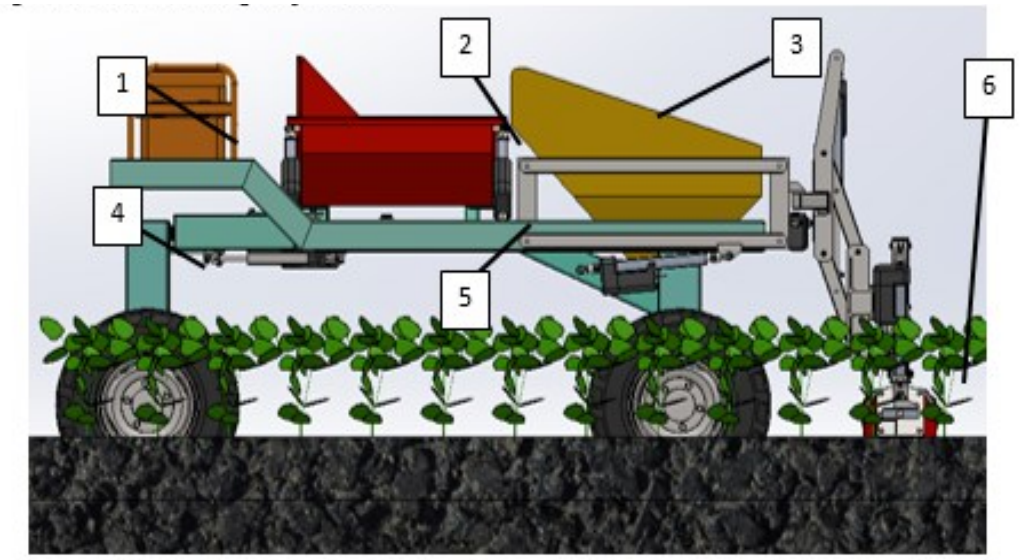


Рис. 1 – Технологическая схема работы машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля: 1 – силовая установка; 2 – саморазгружающийся бункер; 3 – бункер для почвы; 4 – рама шасси; 5 – подъемный механизм; 6 – рабочий орган в форме ковшей

При движении по полю при помощи оператора или с использованием технологий машинного зрения определяется заражённое растение или растение, не соответствующее сортовым признакам [11].

В случае определения подобного растения машина останавливается, при этом рабочий орган должен находиться над растением, которое подлежит удалению, после чего при помощи актуаторов происходит заглубление каждого из ковшей (вил) до их полного смыкания, тем самым образующих полусферу [12].

Затем рабочий орган извлекается из почвы и поднимается над бункером для почвы, после чего происходит раскрытие ковшей (вил) и содержащаяся в них масса почвы и растения с корневой системой поступает на планчатый транспортер, находящийся в бункере 3, при движении по которому происходит отделение почвы от корневой системы растения, при этом почва ссыпается в нижестоящий бункер для почвы, а растения с корневой системой поступают в саморазгружающийся бункер [13].

Основным возмущающим воздействием, вызывающим изменение подачи зараженного растения, является изменение урожайности растений картофеля на поле G, которое имеет статистический характер [14].

Как известно, изменение подачи в результате варьирования уровня заражений растений может быть выражено уравнением:

$$g=K_gG, \quad (1)$$

где g – отклонение подачи извлеченного растения картофеля, шт/с;
G – отклонение заражений растений от некоторого значения, соответствующего минимальному допустимому значению, шт/га;
k_g – коэффициент пропорциональности.

$$k_g = B_p v^0, \quad (2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля, м;
v^0 – поступательная скорость движения машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля, соответствующее номинальному значению подачи, м/с.

Выравнивающий механизм позиционирования манипулятора (рис. 2) для удаления зараженных растений выполнен таким образом, что при срабатывании любого из исполнительных механизмов положение извлекающего устройства – ковша изменяется и в продольной, и в поперечной плоскостях, поэтому манипулятор как объект регулирования в рассматриваемых системах имеет две входные S и S’ и две выходные φ_s и φ'_s величины.

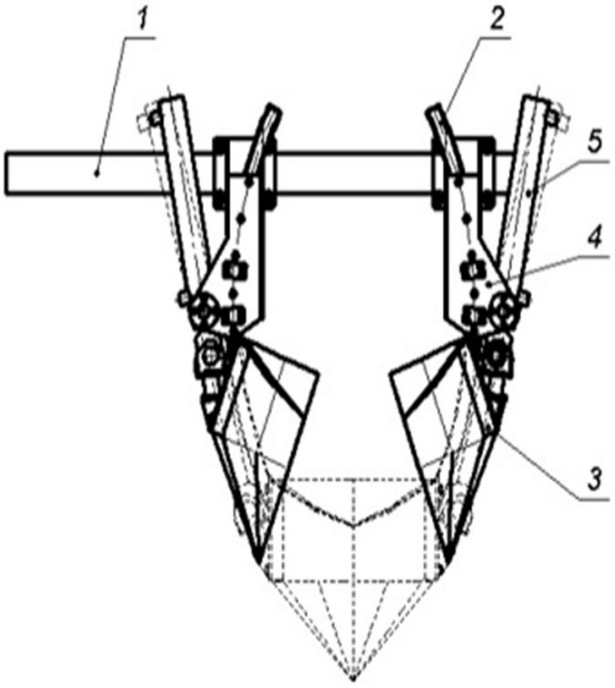


Рис. 2 – Схема манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур: 1 – рама; 2 – ползун; 3 – ковш; 4 – направляющая; 5 – гидроцилиндр

Его свойства определяются кинематическим выражением:

$$\varphi_s = \varphi_s(S,S') \text{ и } \varphi'_s = \varphi''_s(S,S') \qquad (3)$$

которые в линейном приближении могут быть записаны так:

$$\varphi_s = k_{01}S + k_{02}S' , \qquad (4)$$

$$\varphi'_s = k_{03}S + k_{04}S', \qquad (5)$$

где φ_s, φ'_s - углы поворота манипулятора относительно опорного бруса соответственно в боковой и продольной плоскостях;
S, S' - перемещения гидроцилиндров, управляемых соответственно от датчика бокового и датчика продольного крена;
k_{01}, k_{02} - коэффициенты пропорциональности.

Так как согласно схемы (рис. 3) имеем, что амплитуда полезного сигнала контроллера управления положением манипулятора $\varphi_{max}=10°$ а частота $\omega_\varphi=10^{-2}c^{-1}$; амплитуда помехи $\gamma_{max}=5°$, частота сигнала $\omega_\gamma=8c^{-1}$.

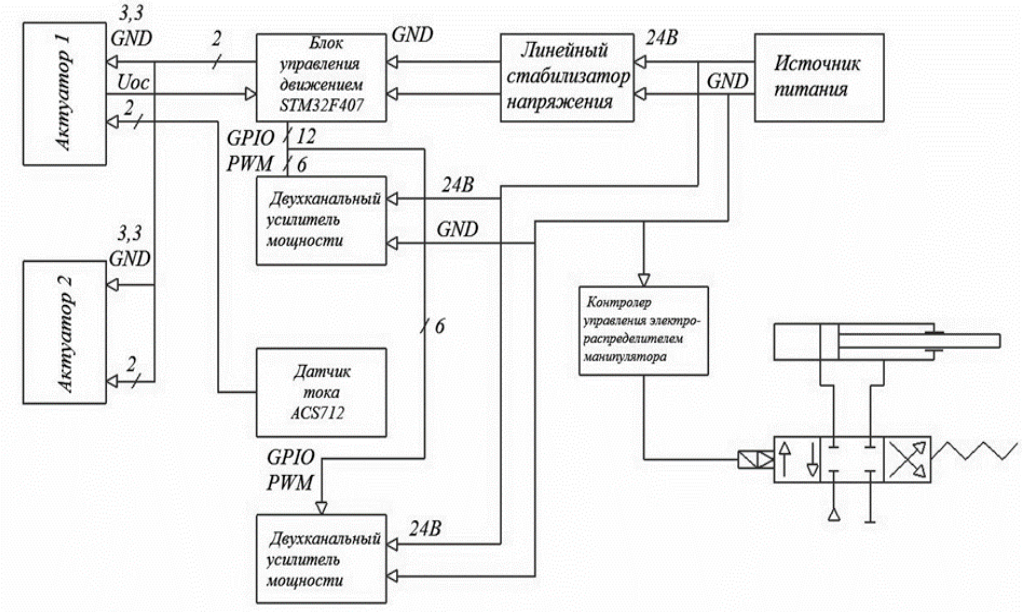


Рис. 3 – Функциональная схема системы управления привода исполнительных электроцилиндров манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур

При этом достаточно рассматривать линейную систему автоматического выравнивания простой структуры, состоящей из датчика крена, описываемого уравнением первого порядка, линейного исполнительного механизма и объекта управления – извлекающего устройства.

Значения постоянных времени датчика и исполнительного механизма, при которых ошибка воспроизведения полезного сигнала $\Delta\varphi$ не превосходила бы 1,5°, а сигнал помехи ослаблялся не менее чем в 20 раз, то есть практически не отрабатывался системой. Для получения заданной точности воспроизведения полезного сигнала необходимо, чтобы значение амплитудно-частотной характеристики разомкнутой системы удовлетворяло неравенству:

$$\left|W\left(i\omega_{\varphi}\right)\right| = \frac{K_S}{T_S\sqrt{\omega_{\varphi}^2 + \omega_{\varphi}^4 T_Д^2}} \geq \frac{\varphi_{max}}{\Delta\varphi} = 6,6.$$

где W(iω) - амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы;
Ks - коэффициент пропорциональности, датчика исполнительного механизма извлекающего устройства;
Ts - постоянная времени датчика исполнительного механизма извлекающего устройства;
$T_Д$ - постоянная времени датчика электроцилиндра.

При заданных значениях ω_{φ} и учитывая, что значение $T_Д$, как правило, не превышает единицы:

$$\omega^2\varphi >> \omega^4\varphi\, T^2д. \qquad (6)$$

Поэтому неравенство приближенно можно записать так:

$$\left|W\left(i\omega_{\varphi}\right)\right| \approx \frac{K_S}{T_S\omega_{\varphi}} \geq 6,6.$$

$$T_s = K_s/6,6\omega_{\varphi} = 0,87/0,066 = 13,2 \text{ с}$$

Полученное значение T_s соответствует максимальной скорости поворота исполнительного механизма извлекающего устройства относительно опорного бруса (3,15 град/с). Для обеспечения заданной интенсивности ослабления помехи амплитудно-частотная характеристика разомкнутой системы на частоте помехи должна удовлетворять неравенству:

$$\left|W\left(i\omega_{\gamma}\right)\right| = \frac{K_S}{T_S\sqrt{\omega_{\gamma}^2 + \omega_{\gamma}^4 T_д^2}} \leq \frac{1}{20} \quad . \qquad (7)$$

Поскольку при заданных значениях

$$\omega^2\gamma << \omega^4\gamma\, T^2д \qquad (8)$$

неравенство можно приближенно записать так:

$$\left|W\left(i\omega_{\gamma}\right)\right| \approx \frac{K_S}{T_S\omega_{\gamma}^2 T_Д} \leq \frac{1}{20} \quad , \qquad (9)$$

$$T_Д \geq \frac{20K_S}{T_S\omega_{\gamma}^2} = \frac{20\cdot 0,87}{13,2\cdot 64} = 0,2с.$$

Таким образом, точность отработки полезного сигнала определяется быстродействием исполнительного механизма, а степень подавления помехи - постоянной времени датчика $T_Д$, что дает представление о порядке значений постоянных времени, предполагая проведение в дальнейшем исследований качества регулирования системы автоматического позиционного управления с учетом реального характера действующих возмущений и уточненного вида структурной схемы. Для расчета динамических свойств систем выравнивания, имеющих нелинейные звенья, необходимо более точно учитывать реальные характеристики помехи γ(t), являющейся случайной функцией времени.

Если ограничиться рассмотрением угловых колебаний опорного бруса (рамы 1) только в боковой плоскости, то закономерность преобразования возмущений F(t) в угловые перемещения γ(t) может быть определена передаточной функцией:

$$W_{F\cdot\gamma} = \frac{K_\gamma}{T^2p^2 + 2\zeta Tp + 1} \ , \qquad (10)$$

или соответствующей ей частичной характеристикой:

$$W_{F\cdot\gamma}\left(i\omega\right) = \frac{K_\gamma}{T^2\left(i\omega\right)^2 + 2\zeta Ti\omega + 1} \ , \qquad (11)$$

где ζ – параметр затухания;
T – постоянная времени, с;
$K_у$– коэффициент пропорциональности.

В этом случае спектральная плотность $s_\gamma(\omega)$ может быть представлена как результат прохождения сигнала, определяемого случайной функцией F(t), через линейную систему и получена умножением спектральной плотности входной величины $s_F(\omega)$ на квадрат модуля амплитудно-частотной характеристики системы:

$$S_\gamma\left(\omega\right) = \left|W_{F\cdot\gamma}\left(i\omega\right)\right|^2 S_F\left(\omega\right) \quad . \qquad (12)$$

На основании уравнения (12) выражение модуля амплитудно-частотной характеристики будет:

$$\left|W_{F\cdot\gamma}\left(i\omega\right)\right| = \frac{K_\gamma}{\sqrt{\left(1-\omega^2T^2\right)^2 + 4\zeta^2\omega^2T^2}} \quad . \qquad (13)$$

Выражение (13) представляет собой отношение амплитуды выходного сигнала γ(t) к амплитуде входного гармонического

воздействия в функции его частоты:

$$\omega_p = \frac{\sqrt{1-2\zeta^2}}{T} \quad . \qquad (14)$$

Частота ω_p является собственной частотой колебаний манипулятора для удаления зараженных растений. Используя соотношения (13) и (14), преобразуем формулу (12):

$$S_\gamma(\omega) = \frac{K_\gamma^2 \omega_p^4}{\left(\omega_p^2 - \omega^2 a^2\right)^2 + \mu^2\omega^2} S_F(\omega) \quad , \qquad (15)$$

$$a^2 = 1-2\zeta^2, \mu^2 = 4\zeta^2\left(1-2\zeta^2\right)\omega_p^2.$$

где

Приведем эту формулу к виду, удобному для экспериментального определения коэффициентов, для чего найдем дисперсию угловых колебаний опорного бруса или рамы крепления манипулятора на энергетическом средстве:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_\gamma(\omega)\,d\omega = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_F(\omega) K_\gamma^2 \omega_p^4}{\left(\omega_p^2 - \omega^2 a^2\right)^2 + \mu^2\omega^2} d\omega \quad . \qquad (16)$$

Считая, что $\omega_П$ больше частоты пропускания рассматриваемой механической системы, то есть $s_\gamma(\omega)=0$ при $\omega \geq |\omega_П|$, имеем:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{NK_\gamma^2\omega_p^4}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\left[\omega_p^2 - \omega^2 a^2\right]^2 + \mu^2\omega^2} d\omega \quad . \qquad (17)$$

Знаменатель дроби, стоящей под интегралом, можно записать:

$$\left[\omega_p^2 - \omega^2 a^2\right]^2 + \mu^2\omega^2 = \left|\omega_p^2 + a^2(i\omega)^2 + \mu(i\omega)\right|^2 \quad . \qquad (18)$$

$$I_n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{G(i\omega)\,d\omega}{A(i\omega)A(-i\omega)} \quad , \qquad (19)$$

где

$$A(i\omega) = a_0(i\omega)^n + a_1(i\omega)^{n-1} + \ldots + a_n,$$

$$G(i\omega) = b_0(i\omega)^{2n-2} + b_1(i\omega)^{2n-4} + \ldots + b_{n-1}.$$

После математических преобразований имеем:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{NK_\gamma^2\omega_p^2}{2\mu} \quad . \qquad (20)$$

На основании этого и учитывая, что $s_\gamma(\omega)=0$ при $\omega \geq |\omega_П|$, равенство (12) можно записать:

$$S_\gamma(\omega) = \frac{2\mu\omega_p^2\sigma_\gamma^2}{\left[\omega_p^2 - \omega^2 a^2\right]^2 + \mu^2\omega^2} \quad . \qquad (21)$$

Функция $s_\gamma(\omega)$ имеет максимум при $\omega=\omega_p$, следовательно, по данному выражению определяются численные значения коэффициентов спектральной плотности $s_\gamma(\omega)$.

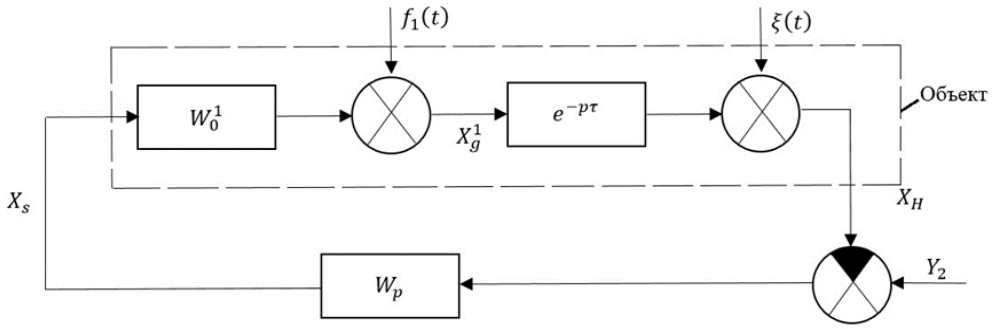
Результаты и обсуждение. На рисунке 4 показана в общем виде структурная схема линейной системы автоматического регулирования подачи извлеченных растений картофеля, зараженных патогенами.

В качестве критерия, определяющего точность работы системы при наличии стационарных случайных воздействий может служить среднеквадратическое отклонение подачи, то есть

$$\sigma_G^2 = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{1T}\int_{-T}^{+T} g^2(t)\,dt \quad . \qquad (22)$$

Среднеквадратическое отклонение подачи может определяться по спектральной плотности ее изменений:

$$\sigma_G^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_g(\omega)\,d\omega \quad . \qquad (23)$$



$$W_0^1 = \frac{K_H}{T_{01}+1}$$

– сомножитель полной передаточной функции объекта; W_p– передаточная функция регулятора; x^1_g– величина, пропорциональная изменению подачи

Рис. 4 – Структурная схема линейной системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур при регулировании подачи

Спектральная плотность полезного сигнала $s_g(\omega)$ системы идентификации зараженных растений в общем случае определяется из следующего выражения:

$$S_g(\omega)=\left|W_f(i\omega)\right|^2 S_f(\omega)+W_f(i\omega)W_\xi(-i\omega)S_{f\xi}(\omega)+ \\ +W_\xi(i\omega)W_f(-i\omega)S_{f\xi}(\omega)+\left|W_\xi(i\omega)\right|^2 S_\xi(\omega) \quad (24)$$

где $s_f(\omega)$ – спектральная плотность полезного сигнала $f(t)$;
$s_\xi(\omega)$ – спектральная плотность помехи $\xi(t)$;
$s_{f\xi}(\omega)$ и $s_{f\xi}$ – взаимные спектральные плотности;
$W_f(i\omega)$ и $W_\xi(i\omega)$ – частотные функции системы по воздействиям $f(t)$ и $\xi(t)$ относительно отклонения подачи x_g.

$$W_f(i\omega)=\frac{1}{1+W_0(i\omega)W_\rho(i\omega)e^{-i\omega\tau}} . \quad (25)$$

$$W_\xi(i\omega)=\frac{W_0(i\omega)W_\rho(i\omega)}{1+W_0(i\omega)W_\rho(i\omega)e^{-i\omega\tau}} . \quad (26)$$

С достаточной для практики точностью можно считать, что воздействия $f(t)$ и $\xi(t)$ не коррелированы и взаимные спектральные плотности равны нулю.

Тогда выражение (21) можно записать в развернутом виде:

$$\sigma_G^2=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|W_f(i\omega)\right|^2 S_f(\omega)d\omega+\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|W_\xi(i\omega)\right|^2 S_\xi d\omega . \quad (27)$$

На основании полученного уравнения корреляционной функции ρ_f нормированная спектральная плотность полезного сигнала будет:

$$S_f=\int_{-\infty}^{\infty}\rho_f(\tau)e^{-i\omega\tau}d\tau=\int_{-\infty}^{\infty}e^{-\frac{|\tau|}{T}}e^{-i\omega\tau}d\tau=\frac{2T}{1+\omega^2T^2} . \quad (28)$$

Подставив в выражение (27) численное значение T, имеем

$$S_f=\frac{20}{1+100\omega^2} , \quad (29)$$

Спектральная плотность помехи системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур, учитывая, что она является гармонической функцией имеет вид:

$$S_\xi(\omega)=\frac{\pi a^2}{2}\delta(\omega-\omega_1) , \quad (30)$$

где a – амплитуда $\xi(t)$;
$\delta(\omega-\omega_1)$ – единичная импульсная функция;
ω_1 – частота помехи.

Соответственно дисперсия помехи будет:

$$D_\xi=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}S_\xi(\omega)d\omega=\frac{a^2}{2} . \quad (31)$$

Используя уравнение (14) и (15), можно определить изменения подачи как функцию случайного аргумента изменения уровня заражений растений G (рис. 5). Из сравнения частотных характеристик внешних воздействий (рис. 5) видно, что частота помех значительно выше частот, на которых выделяется полезный сигнал. Поэтому для того, исключить влияние помех на работу системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур, необходимо систему рассчитывать так, чтобы её частота среза не заходила в область действия помех.

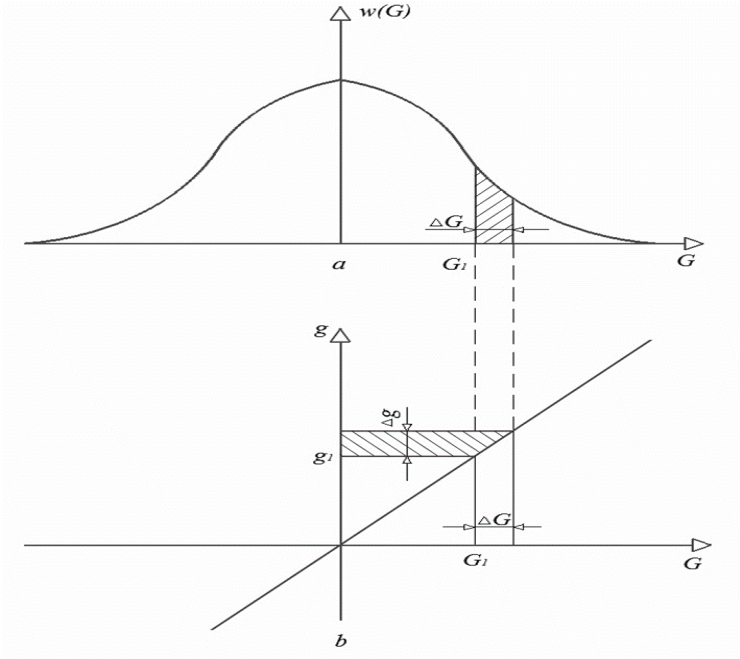


Рис. 5 – Плотность вероятности изменений заражений (а) и зависимость подачи (б) от заражений растений при технологическом процессе работы машины для удаления зараженных растений картофеля и овощных культур

Из сравнения частотных характеристик внешних воздействий (рис. 5) видно, что частота помех значительно выше частот, на которых выделяется полезный сигнал.

Поэтому для того, исключить влияние помех на работу системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур, необходимо систему рассчитывать так, чтобы её частота среза не заходила в область действия помех. Результаты проведенных теоретических исследований позволили разработать техническое задание и манипулятор (рис. 6) автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающий извлечение зараженных растений с подкапыванием пласта почвы на посадках корнеплодов на глубину до 10 см от поверхности гребня с усилием, необходимым для извлечения корнеплода из почвы от минимально допустимого 60 Н для столовой моркови до максимально возможного 340 Н для столовой свеклы с основными конструктивными параметрами манипулятора, такие как: ширина ковша и глубина извлечения, которые составляют 300 мм и 250 мм.



Рис. 6 – Общий вид манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур

Для проверки разработанных теоретических предпосылок функционирования манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур необходимо проведение экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях. Результаты полученных исследований могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями при разработке новых и совершенствовании имеющихся рабочих органов и машин для ухода за овощными культурами и картофелем, научными работниками, аспирантами и студентами образовательных и исследовательских центров агроинженерного направления [14].

Выводы. Выполнено математическое моделирование технических средств и цифровых систем идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля и овощных культур, определена закономерность изменения подачи в результате варьирования уровня заражений растений с учетом вероятности изменений урожайности.

Установлено, что распределение значений подачи, также, как и уровня зараженности растений картофеля, подчиняется нормальному закону, но с другими параметрами распределения, зависящими теперь уже от рабочей скорости движения машины для сортофитопрочистки зараженных растений картофеля и овощных культур.

Получена зависимость спектральной плотности помехи системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур в виде гармонической функции, учитывающая частоту помехи сигнала, а также единичную импульсную функцию.

Результаты проведенных исследований позволили разработать манипулятор автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающий извлечение зараженных растений с подкапыванием пласта почвы на посадках корнеплодов на глубину до 10 см от поверхности гребня с усилием, необходимым для извлечения корнеплодов из почвы от минимально допустимого 60 Н до максимально возможного 340 Н.

Совершенствование полученных закономерностей процесса работы манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур может в дальнейшем использоваться в системе мониторинга показателей качества работы машин, как для возделывания, так и для уборки других сельскохозяйственных культур, что обеспечит новый уровень синтеза сложных технических систем

сельскохозяйственного производства. Предложенные технологические и технические решения могут служить основой к расширению исследований и практической реализации перехода России к устойчивому развитию производства овощеводства.

Литература

1. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Кудрявцев П. П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35–36.

2. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский, Н. Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43 – 47.

3. Наумов А. В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН. 2009. 208 с.

4. Гаспарян И. Н. Защита картофеля от ризоктониоза. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2014;(3). С. 22-24.

5. Овэс Е. В., Гаитова Н. А., Шишкина О. А. Индуцирование микроклубнеобразования новых перспективных сортов картофеля в асептической культуре. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020;15(4(60)):48-54. DOI: https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-48-54

6. Современные автоматизированные и роботизированные машины для междурядной обработки почвы / А. Р. Валиев, Н. А. Васьков, Р. Ф. Сабиров и др. // Техника и оборудование для села. 2020. № 4. С. 2-7.

7. Сабиров, Р. Ф., Валиев А. Р., Мухамадьяров Ф. Ф. Обоснование конструктивно-технологических параметров устройства для обработки семян биопрепаратами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 3(63). – С. 84-89. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-84-89.

8. Особенности взаимодействия винтового рыхлителя с почвой / И.С. Мухаметшин, А. Р. Валиев, А. В. Алешкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 50-57.

9. Метод расчета траектории движения зерна в пневмомеханическом шелушителе / Ю. Ф. Лачуга, Р. И. Ибятов, Б. Г. Зиганшин и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. Т.6. С. 64-67.

10. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J. Q. Lü, Q. Q. Shang, Y. Yang, et al. // Transactions of the CSAM. 2016. Vol. 47. No. 5. P.106–114.

11. Root Carbon Dioxide Fixation by Phosphorus-Deficient Lupinus albus (Contribution to Organic Acid Exudation by Proteoid Roots) / J. F. Johnson, D. L. Allan, C. P. Vance, et al. // Plant Physiology. 1996. Vol. 112(1). P.19-30. DOI: 10.1104/pp.112.1.19

12. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А. Б. Калинин, В. А. Смелик, И. З. Теплинский и др. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315–319.

13. Zhu F., Zhou Y., Zhu S. Experimental study on heat transfer in soil during heat storage and release processes. Heat. Mass. Transfer. 2021. 57, P. 1485–1497. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s00231-02103045-6 (дата обращения 11.10.2024).

14. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12-20. DOI: 10.24411/ 0235-2451-2018-10303.

Сведения об авторах:

Измайлов Андрей Юрьевич – академик РАН, доктор технических наук, директор, e-mail: vim@vim.ru

Дорохов Алексей Семенович – академик РАН, доктор технических наук, первый заместитель директора, e-mail: Dorokhov.vim@yandex.ru

Сибирёв Алексей Викторович – профессор РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела технологий и машин для овощеводства, e-mail: Sibirev2011@yandex.ru

Мосяков Максим Александрович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин для овощеводства, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Сазонов Николай Викторович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин для овощеводства, e-mail: Sazonov_Nikolay@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

THEORETICAL JUSTIFICATION OF A MANIPULATOR FOR AUTOMATED REMOVAL OF PLANTS IN SEED PRODUCTION

A. Yu. Izmaylov, A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev, M. A. Mosyakov, N. V. Sazonov

Abstract. The development of machines and equipment for laboratory and field work is relevant for potato breeding. This is due to the fact that the methodology for conducting breeding work and the first stages of seed production provides for the comparison of numerous plants of different origin, the selection of the best for further propagation and further work up to the development of a new variety or the transfer of seeds for propagation in production conditions. The aim of the study is to develop a manipulator of an automated machine for removing infected potato and vegetable plants from the soil, ensuring the exclusion of seed contamination when breeding new varieties and hybrids. Scientific novelty – justification patterns of the manipulator for automated removal of infected plants in seed production. Theoretical justification of the drive control system of the executive electric cylinders of the manipulator of the automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil has been performed. During the theoretical studies it has been established that the main disturbing effect causing a change in the feed of the infected plant is a change in the yield of potato plants in the field G, which has a statistical nature. A functional diagram of the drive control system of the executive electric cylinders of the manipulator of the automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil has been developed and it has been established that the amplitude of the useful signal of the manipulator position control controller $\varphi max=10°$ and the frequency $\omega\varphi=10^2 c^1$, the interference amplitude $\gamma max=5°$, the signal frequency $\omega\gamma=8\ c^1$. It has been determined that in order to obtain a given accuracy of reproduction of the useful signal of the actuator electric cylinders of

the manipulator, it is necessary to have values of the time constants of the sensor and actuator, at which the error in reproduction of the useful signal Δφ would not exceed 1.5°, and the interference signal would be weakened by at least 20 times. A manipulator of an automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil has been developed, ensuring the extraction of infected plants by digging up the soil layer.

Key words: removal, automation, infection, potatoes, vegetable crops, theoretical research, justification of parameters.

References

1. Kalinin AB, Teplinskiy IZ, Kudryavtsev PP. [Soil condition in intensive technology]. Kartofel i ovoshchi. 2016; 2. 35-36 p.

2. Izmaylov AYu, Kolchin NN, Lobachevskiy YaP, Kynev NG. [Modern technologies and special equipment for potato growing]. Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2015; 3. 43-47 p.

3. Naumov AV. Dykhanie pochvy: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti. [Soil respiration: components, ecological functions, geographical patterns]. Novosibirsk: Izdatelstvo Sibirskogo otdeleniya RAN. 2009; 208 p.

4. Gasparyan IN. [Potato protection from rhizoctonia]. Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatelnogo uchrezhdeniya vysshego professionalnogo obrazovaniya “Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina”. 2014; (3). 22-24 p.

5. Oves EV, Gaitova NA, Shishkina OA. [Induction of microtuber formation of new promising potato varieties in aseptic culture]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; 15(4(60)). 48-54 p. DOI: https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-48-54

6. Valiev AR, Vaskov NA, Sabirov RF. [Modern automated and robotic machines for inter-row soil cultivation]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2020; 4. 2-7 p.

7. Sabirov RF, Valiev AR, Mukhamadyarov FF. [Justification of the design and technological parameters of the device for treating seeds with biopreparations]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3 (63). 84-89 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-84-89.

8. Mukhametshin IS, Valiev AR, Aleshkin AV. [Features of the interaction of a screw ripper with soil]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2018; 4. 50-57 p.

9. Lachuga YuF, Ibyatov RI, Ziganshin BG. [Method for calculating the trajectory of grain movement in a pneumatic-mechanical sheller]. Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. 2021; Vol.6. 64-67 p.

10. Lu JQ, Shang QQ, Yang Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. Transactions of the CSAM. 2016; Vol.47. 5. 106-114 p.

11. Johnson JF, Allan DL, Vance CP. Root carbon dioxide fixation by phosphorus-deficient lupinus albus (Contribution to Organic Acid Exudation by Proteoid Roots). Plant Physiology. 1996; Vol.112(1). 19-30 p. DOI: 10.1104/pp.112.1.19

12. Kalinin AB, Smelik VA, Teplinskiy IZ. [Selection and justification of parameters of the ecological state of the agroecosystem for monitoring technological processes of agricultural crop cultivation]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 39. 315-319 p.

13. Zhu F, Zhou Y, Zhu S. Experimental study on heat transfer in soil during heat storage and release processes. [Internet]. Heat. Mass. Transfer. 2021; 57. 1485-1497 p. [cited 2024, October 11]. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s00231-02103045-6.

14. Korshunov AV, Simakov EA, Lysenko YuN. [Actual problems and priority directions of potato growing development]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018; Vol.32. 3. 12-20 p. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10303.

Authors:

Izmaylov Andrey Yurevich – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Director, e-mail: vim@vim.ru

Dorokhov Aleksey Semenovich – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, First Deputy Director, e-mail: Dorokhov.vim@yandex.ru

Sibirev Aleksey Viktorovich – Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Department of Technologies and Machines for Vegetable Growing, e-mail: Sibirev2011@yandex.ru

Mosyakov Maksim Aleksandrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Leading Researcher of Department of Technologies and Machines for Vegetable Growing, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Sazonov Nikolay Viktorovich – Ph.D. of Technical Sciences, Senior Researcher of Department of Technologies and Machines for Vegetable Growing, e-mail: Sazonov_Nikolay@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-63-74
УДК 62.35.33

БЕЛКОВЫЙ КОНЦЕНТРАТ ИЗ БЕЛОГО ЛЮПИНА СОРТА ДЕГА

Д. Б. Просвирников, Д. В. Тунцев, М. К. Гайнуллина, Н. Р. Касанова

Реферат. Цель данной работы заключается в получении растительного белкового концентрата для животноводства путем ферментативной обработки люпина и оценке его характеристик питательности в целях применения в животноводстве. В работе был использован люпин белый Дега (урожай 2019 года, Республика Татарстан). Семена люпина предварительно обрабатывали в экструдере для кормов ЭМ-150 (Россия) на производственной площадке предприятия ООО «НТЦ ГринТекс» (г. Казань). В семенах до и после экструзии определяли концентрацию общего азота, истинного белка, клетчатки, жира, золы, пектина, крахмала. Ферментативный гидролиз люпина проводили с ферментными препаратами Novozymes (Дания) и ООО ПО «Сиббиофарм» (Россия). Ферментативный гидролиз проводили в лабораторном шейкере-инкубаторе Kuhner ISF1-X (Швейцария) с последующим отделением твердой и жидкой фракции центрифугированием. Твердый осадок (белковый концентрат) сушили, определяли содержание общего и истинного азота. Большая часть жира из экструдированного люпина высвобождается в процессе ферментативного гидролиза в гидролизат. В случае с ферментами Novozymes максимум выхода редуцирующих веществ (РВ) (1,66%) наблюдается уже через 5-6 часов (без обработки экструзией - 10-12 часов (1,55%)); в случае с препаратами Сиббиофарм максимум РВ (2,2%) достигается через 1,5 часа после начала обработки. ИК-спектроскопия (Shimadzu, Япония) показала изменение в химической структуре как углеводов, так и белков. Удалось повысить концентрацию белка в итоговом продукте с 39,8% до 47,58%. Оценка аминокислотного состава на анализаторе NIRS™DS 2500 показала, что ферментативная обработка семян люпина позволяет увеличить в них сумму аминокислот с 25,95 до 42,08%, в том числе заменимых аминокислот с 9,97 до 15,21%, незаменимых аминокислот с 15,98 до 26,87%. Полученный белковый концентрат из люпина может быть использован в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы с целью балансирования рационов по аминокислотам.

Ключевые слова: люпин, белковый концентрат, экструзия, ферментолиз, аминокислоты, протеин, кормовой белок.

Введение. Развитие животноводства в России, как одной из приоритетных отраслей агропромышленного комплекса, ввиду реализации программ импортозамещения и постоянного роста цен на белковые компоненты кормов на ближайшую перспективу потребует существенного увеличения производства кормов, повышения их качества и совершенствования технологий кормопроизводства, применяя комплексные подходы к переработке альтернативного растительного сырья. Кроме общего дефицита кормов необходимо исключить и ставший хроническим дефицит в таких важнейших для питания сельскохозяйственных животных веществах, как протеин и белковые концентраты. Ежегодный общемировой дефицит кормового белка превышает 30 млн т, а в России он составляет около 2-2,5 млн т.

Тенденция в современном животноводстве заключается в увеличении потребления растительного и одноклеточного микробного белка вместо животного. Поэтому существует озабоченность по поиску новых источников альтернативного белка. В этом смысле бобовые являются основным источником белка растительного происхождения. Соя представляет безусловный практический интерес для компаний, занимающихся глубокой переработкой растительного сельскохозяйственного сырья. В результате ограничения диверсификации белковых кормовых продуктов зоотехники восполняют дефицит кормового белка именно за счёт сои, в большинстве случаев генномодифицированной. При этом цена на такие продукты (соевый шрот, соя полножирная экструдированная) крайне высоки и составляют большую долю в стоимости готовых кормов.

Альтернативой сое успешно рассматривается люпин белый (*Lupinus albus*) [1]. Из всех бобовых люпин имеет более высокое содержание белка, хотя в настоящее время он недооценен как альтернатива для потребления в кормах в силу наличия антипитательных веществ, которые легко могут быть извлечены с помощью биотехнологии. Богатый аминокислотный состав позволяет рассматривать эту культуру в качестве альтернативе сои. При этом культура неприхотлива к выращиванию в средних широтах страны. Несмотря на перспективы использования люпина в вопросе дефицита кормового белка, комплексных решений по глубокой переработке люпина в целях повышения питательности данной культуры в кормах все еще нет.

Люпин — очень питательная бобовая культура с высоким содержанием белка и клетчатки, но он также содержит хинолизидиновые алкалоиды, которые в зависимости от вида могут накапливаться до токсичных уровней. Удаление таких антипитательных веществ достигается обработкой водой, экструдированием [2, 3]. Кроме того, экструзия способствует повышению усвояемости белка и защищает протеин от разложения в рубце [4].

Применение методов предварительной термообработки люпина сегодня может использоваться не только с целью удаления

антипитательных веществ, поскольку современные программы селекции уже обеспечили отбор сладких видов люпина с пониженным содержанием алкалоидов (≤ 0,2 г/кг СВ) [5]. Такие обработки необходимы для биотехнологических процессов, так как позволяют существенно раскрыть удельную поверхность семян, что во много раз ускоряет гидролитические реакции, обработку ферментами.

Для производства изолятов, концентратов и гидролизатов белка люпина используются многочисленные методы [6]. И практически во всех этих методах наибольшую эффективность показывают именно культуры, прошедшие какую-либо предварительную обработку. Как правило, это термоэкструзия и водная варка. Ферментативный гидролиз не является исключением. Здесь экструдирование способствует увеличению растворимых углеводов в семенной оболочке люпина [7], обеспечивая ферментам более полный доступ к трудногидролизуемым фракциям углеводов [8].

Подбор ферментных композиций [9], учитывая углеводный состав люпина, с целью получения белковых концентратов путем избирательного ферментативного гидролиза, является наименее изученным. В литературе большая часть работ посвящена гидролизу белковой фракции семян люпина [10], в частности протеолитическими ферментами [11]. Целью таких обработок является получение белковых гидролизатов для пищевой промышленности [12]. Обеспеченность белком в пищевой промышленности напрямую связана общемировым дефицитом кормового белка, что является актуальной проблемой в животноводстве. Поэтому представляет большой интерес получения более дешевых белковых концентратов из люпина именно для кормопроизводства. Учитывая тот факт, что практически все животноводство перешло на рационы с растительным белком, а также микробным – комплексная биотехнологическая переработка бобовых культур, в частности люпина, является крайне актуальной и первостепенной практической задачей производства кормового белка.

В связи с этим, цель данной работы заключается в получении растительного белкового концентрата для животноводства путем ферментативной обработки люпина и оценке его характеристик питательности в целях применения в животноводстве.

Условия, материалы и методы. В работе был использован люпин белый Дега, созданный в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева и предоставленный ТатНИИСХ, ФИЦ Казанский научный центр РАН. Семена получены с урожая 2019 года. Содержание жира (по данным ТатНИИСХ) 8-10%, белка 37-38%, алкалоидность семян 0,05%. Семена люпина были измельчены на лабораторной мельнице «ВЬЮГА 3МТ» (Россия) до мелкой (0,5-1 мм) фракции. Также была проведена дополнительная обработка: семена люпина были подвержены в неизмельчённом виде экструдированию в одношнековом экструдере для кормов ЭМ-150 (Россия) на производственной площадке предприятия ООО «НТЦ ГринТекс» (г. Казань). Температура экструзии – 150°С, продолжительность обработки – 8-10 с. На рисунке 1 представлены образцы до и после экструзии и измельчения. Экструдированный люпин также измельчался в мельнице «ВЬЮГА 3МТ» (Россия) на 3 фракции: мелкая (0,5-1 мм), средняя (1-2 мм) и крупная (2-5 мм).



а) б) в) г) д)

Рис. 1 - Образцы до и после экструзии и измельчения:
а) семена люпина,
б) семена люпина после экструзии,
в) мелкая фракция измельченного люпина,
г) средняя фракция измельченного экструдированного люпина,
д) крупная фракция измельченного экструдированного люпина

Влажность образцов измерялась на автоматическом анализаторе влажности AND MX-50 (Япония). Концентрацию белка (общего азота) в люпине определяли по методу Къельдаля (в установке для мокрого озоления от компании SELECTA, Испания, с выносным температурным блоком в вытяжном шкафу, с последующей отгонкой аммиака), истинного белка – по методу Барнштейна, клетчатки – по Геннебергу и Штоману, жира – по ГОСТ 13496.15-2016 в аппарате Сокслета, золы - по ГОСТ 26226-95, пектина – по ГОСТ 54066-2010, крахмала – по ГОСТ ISO 6493-2015.

Для проведения ферментативного гидролиза были использованы зарубежные ферментные препараты Novozymes (Дания) , а их характеристика прописана в таблице 1. В работе использовали препараты, предназначенные только для гидролиза полисахаридов.

Таблица 1 - Характеристика препаратов Novozymes

Класс	Активность	Плотность, г/мл	pH	T, °C	Дозировка, % w/w (TS)
NS22074 Целлюлазный комплекс	1,000 EGU/г	1,15	5,0-5,5	45-50	1-5
NS50010 β-глюкозидаза	250 CBU/г	1,2	2,5-6,5	45-70	0,2-0,6
NS22002 β-глюканаза Ксиланаза	45 FBG/г (~470 FXU/г)	1,2	5,0-6,5	40-60	0,4-2,0
NS22035 Глюкоамилаза	750 *AGU*/г	1,15	4,5-5,5	60-70	0,01-0,06

Исходя из данных по количественному содержанию в сырье крахмала, клетчатки, свободных сахаров определяли дозировки ферментных препаратов и составляли ферментную композицию по схеме (табл. 2).

Таблица 2 - Схема расчета ферментной композиции Novozymes (для исходного люпина без обработки)

Состав люпина	%, а.с.в	г/кг	Препарат	Доза мин, % г/г TS	Доза макс, % г/г TS	Расход мин, г	Расход макс, г
Влага	12	120	–	–	–	–	–
Белок	35	350	-	–	–	–	–
Целлюлоза	10	100	NS22074	1	5	1	5
Целлюлоза (конверсия целлобиозы)	10	100	NS50010	0.2	0.6	0.2	0.6
Жир	10	100	–	–	–	–	–
Зола	3	30	–	–	–	–	–
Пектин	10	100	NS22002	0.4	2	0.4	2
Крахмал	10	100	NS22035	0.01	0.06	0.01	0.06
ГМЦ, сахара	10	100	NS22002	0.4	2	0.4	2
Итого	100	1000					

Также сравнительный ферментативный гидролиз проводили с отечественными препаратами компании ООО ПО «Сиббиофарм» (табл. 3). В работе использовали препараты, предназначенные только для гидролиза полисахаридов.

Таблица 3 - Характеристики препаратов ООО ПО «Сиббиофарм»

Препарат	Краткая характеристика
Глюкаваморин Г3х	Комплекс ферментных препаратов применяют для осахаривания частично переваренных полимерных молекул крахмала, глюкоамилазы последовательно гидролизуют α-1,4- и α-1,6-гликозидные связи, арсеплей с невосстановительными концами молекул крахмала, декстри-нов, олигосахаридов остатков глюкозы
Амилосубтилин	Состав препарата: α-амилаза, активность – не менее 1500 ед/г; β-глюканаза, активность – до 500 ед/г; ксиланаза, активность – до 100 ед/г. Комбинировано воздействует на сырье и тем самым катализирует расщепление трудноусвояемых полисахаридов, гидролиз дает дополнительное количество сахаров
ЦеллоЛюкс-А	Препарат, сбалансированный по ксиланазной, β-глюканазной и целлюлазной активностям. Ферментный комплекс обеспечивает поэтапное расщепление клетчатки, ксиланов и ХХ-глюканов в растительной клетке. Повышается доступность белка, крахмала и жира для воздействия пищеварительных ферментов

Исходя из данных по количественному содержанию в сырье крахмала, клетчатки, свободных сахаров определяли расход ферментных препаратов и составляли ферментную композицию (табл. 4). Расход препарата (г/кг) определяли по формуле:

$$F = (P \cdot R \cdot 10) / A \quad (1)$$

Таблица 4 - Схема расчета ферментной композиции «Сиббиофарм» (для исходного люпина без обработки)

Состав люпина	Р, % а.с.в	Препарат	Активность, А, ед/г	Норма, R, ед/г	Расход препарата F, г/кг
Влага	12	–	–	–	–
Белок	35	-	–	–	–
Целлюлоза, в т.ч. конверсия целлобиозы	10	ЦеллоЛюкс-А (Ц)	2000	30	1,5
Жир	10	–	–	–	–
Зола	3	–	–	–	–
Крахмал	10	Амилосубтилин (А)	1500	2	0,133
		Глюкаваморин Г3х (Г)	3000	6,2	0,206
ГМЦ, сахара	10	ЦеллоЛюкс-А (Ц)	2000	30	1,5

Ферментативный гидролиз препаратами Novozymes проводили следующим образом. В стерилизованные колбы 1000 мл помещали подготовленное сырье (исходный люпин мелкой фракции, экструдированный люпин мелкой фракции, экструдированный люпин средней фракции, экструдированный люпин крупной фракции), ферментную композицию и дистиллированную воду в расчетном количестве, колбы закрывали ватно-марлевым тампоном. Ферментативный гидролиз прово дили в лабораторном шейкере-инкубаторе Kuhner ISF1-X (Швейцария) при t=50-60°C, 100 мин$^{-1}$, pH=5.5, в течение 24 часов (рис. 2).



Рис. 2 – Ферментативный гидролиз в лабораторном шейкере

Каждые 2 часа из колб отбирали пробы гидролизата, центрифугировали на центрифуге Biobase (Китай) при 10000 мин$^{-1}$ в течение 5 минут, и в надосадочной жидкости определяли pH (на анализаторе Мультитест ИПЛ – 311, Россия), концентрацию редуцирующих веществ (далее - РВ) в пересчете на глюкозу (метод Бенедикта Бертрана), сухой вес редуцирующих веществ (сушка проб в лабораторном шкафу ESCO Isotherm, Китай с последующим взвешиванием). Все измерения проводили в двух повторностях.

По окончании ферментативного гидролиза содержимое колб центрифугировали и отделяли надосадочную жидкость (4 образца) от твердого остатка, стерилизовали кипячением и готовили к дальнейшему культивированию. Твердый осадок (4 образца) сушили в шкафу при 103-105 ºС в течение 12 часов, после чего измельчали. В полученных твердых образцах (рис. 3) было определено количественное содержание общего и истинного азота. По результатам ферментативного гидролиза была определена оптимальная фракция измельченного сырья.



Рис. 3 – Экструдированный люпин после ферментативного гидролиза и сушки, гидролизат (надосадочная жидкость)

Ферментативный гидролиз препаратами ООО ПО «Сиббиофарм» проводили следующим образом. В колбы 1000 мл добавляли 250 мл дистилированной воды и 50 г сырья (исходный люпин мелкой фракции, экструдированный люпин мелкой фракции) и нагревали на электроплитке до кипения. Температуру держали на уровне 95-98°С, контролируя термометром, в течение 1,5 ч. Через 30 мин после кипения, брали первую пробу РВ с центрифугированием. Далее колбы охлаждали до 70-80 °С и извлечением второй пробы РВ, после чего добавляли А 0,01 г, перемешивали и контролировали pH, чтобы уровень находился в диапазоне 5-8. Выдерживали при заданных условиях 30 минут, брали третью пробу РВ. После выдержки вводили ферментную композицию, состоящую из А 0,01 г, Г 0,03 г, Ц 0,2 г. Контроль pH выдерживали на уровне выше 5,5. Далее колбы размещали в шейкере на 120 минут при 120 мин$^{-1}$. Через 30 мин отбирали четвертую пробу РВ с центрифугированием. По йодной реакции определяли наличие остаточного крахмала и брали пятую пробу РВ.

По отсутствии цветной реакции завершали процесс ферментативного гидролиза и отделяли твердый остаток от жидкости. Гидролизат стерилизовали кипячением и подготавливали к культивированию микробного белка. Результаты нашей работы по культивированию дрожжей *Candida guilliermondii* на углеводных гидролизатах люпина подробно представлены в [13]. Твердый остаток сушили в печи при 105 °С и анализировали на содержание сырого протеина и белка по Барнштейну.

Также образцы порошков (исходный люпин, экструдированный люпин, ферментированный люпин (ферментами Novozymes) и проба после обработки по Барнштейну) были проанализированы на ИК-анализаторе на кафедре технологии синтетического каучука ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Микрофотографии образцов были получены на конфокальном оптическом микроскопе Leica DCM 3D в режиме увеличения 20Х и 50Х в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Наноматериалы и нанотехнологии» ФГБОУ ВО «КНИТУ».

В лабораторных условиях проведены аналитические исследования аминокислотного состава белкового сырья на кафедре кормопроизводства ФГБОУ ВО «КГАВМ». Анализ образцов проводили на анализаторе NIRS™DS 2500, откалиброванном с использованием глобальных данных. Для управления использовано программное обеспечение ISIscan Nova. Объекты исследования:

1) экструдированные семена сои сорта «Миляуша» (образец 1-контроль);

2) экструдированные семена люпина сорта «Дега» (образец 2);

3) люпиновый белковый концентрат (образец 3).

Сорт сои «Миляуша» выведен совместно Сибирским и Татарским НИИСХ, люпин белый сорта «Дега» создан в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Результаты и обсуждение. В таблице 5 представлен компонентный состав люпина до и после обработок в % от абсолютно сухого вещества (далее - а.с.в).

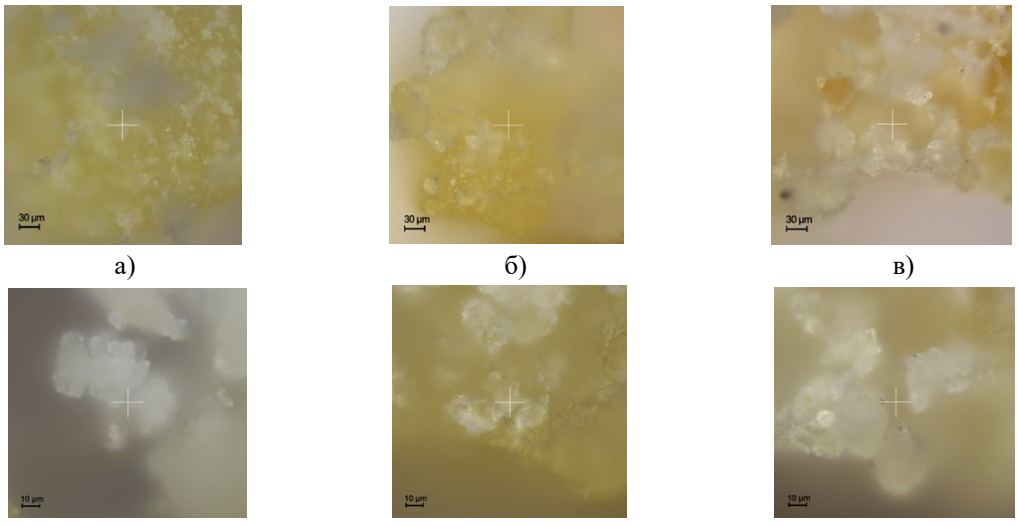
Таблица 5 - Компонентный состав люпина до и после обработок, % а.с.в.

	Люпин исходный	Люпин экструдированный	Экструдированный люпин после ферментативного гидролиза (Novozymes)	Экструдированный люпин после ферментативного гидролиза (Сиббиофарм)
Влага	8,8	4,4	3,6	8,73
Общий N	39,8	40,2	47,6	45,4
Белок по Барнштейну	18,9	19	19,5	19,8
Клетчатка	10	9,3	4,2	6,2
Жир	12	11,5	3,5	2,4
Зола	3,2	3,2	3,1	3,0
Пектин	10,1	6,6	0,2	1,72
Крахмал	8,2	4,11	0,15	0,05

Как видно из таблицы 5, экструдирование способствует снижению количества пектина, крахмала и незначительно клетчатки. Повышенная температура обработки и содержащаяся влага в семенах позволяют ускорить реакции гидролитической деструкции углеводов, особенно легкогидролизуемых. Основным же достоинством экструдирования является раскрытие удельной поверхности семян люпина, в особенности их оболочки, состоящей главным образом из целлюлозы и гемицеллюлоз. Также важным фактором является высвобождение жира, содержание которого в семенах достигает 12%. Эти физико-химические преобразования способствуют интенсификации ферментативной обработки благодаря доступности субстрата проникновению ферментов. Экструдированный люпин после ферментативного гидролиза содержит пониженное количество полисахаридов и жира. Большая часть жира высвобождается в процессе ферментативного гидролиза в гидролизат.

Поскольку экструзионная обработка длится 8-10 с существенных изменений в морфологии на микроуровне не наблюдается (рис. 4), можно заметить лишь некоторые изменения в цвете частиц люпина до и после термообработки, что может быть связано с термодеструкцией легкогидролизуемых полисахаридов, например гемицеллюлоз, у которых при повышенных температурах в присутствии воды отщепляются ацетильные группы, участвующие в образовании уксусной кислоты, которая в свою очередь способствует разрыву гликозидных связей. Образующиеся моно- и олигосахариды пентоз при высоких температурах могут распадаться до фурфурола, придавая среде коричневый «карамельный» цвет. Также изменению цвета может способствовать термодеструкция триглицеридов. На уровне размеров зерна изменения явные (см. рис. 1 а, б), поскольку раскрытие поверхности осуществляется благодаря сбросу давления при выходе из экструдера, а также механическим сдавливанием семян в шнеке экструдера.

Однако, как показывают данные компонентного анализа, изменения в составе люпина после термообработки есть, и эти изменения (в частности снижение доли крахмала, пектина) призваны в дальнейшем способствовать сокращению продолжительности и повышению эффективности процесса ферментативного гидролиза.



а) б) в)

г) д) е)

Рис. 4 – Микрофотографии поверхности частиц (слева-направо): исходный люпин, экструдированный люпин, люпин после ферментативного гидролиза (Novozymes): а) - в) – 20-кратное увеличение; г) – е) – 50-кратное увеличение

В нашей работе [14] подробно проанализированы ИК-спектры люпина исходного и экструдированного, которые подтверждает химические изменения в структуре белков, жиров и углеводов, происходящих при термообработке семян люпина.

На рисунке 5 представлены результаты изменения концентрации редуцирующих веществ (в пересчете на глюкозу) при ферментативном гидролизе с препаратами Novozymes.

Здесь видно, что экструдирование (особенно при использовании мелкой фракции) позволяет достичь максимума выхода РВ (1,66%) уже через 5-6 часов, в то время как необработанное экструзией сырье выходит на максимальное количество РВ через 10-12 часов (1,55%). Очевидно, здесь играет важную роль раскрытая поверхность семян люпина и предварительные химические преобразования полисахаридных компонентов в течение термообработки. Максимумы выхода РВ для более крупных фракций экструдированного люпина близки к исходному сырью. Однако, скорости выхода РВ здесь объясняются поразному. У исходного люпина мелкой фракции более низкая скорость обусловлена наличием большего количества углеводов, подвергаемых ферментативному гидролизу, и нераскрытой удельной поверхностью. У более крупных фракций экструдированного люпина скорость замедляется за счет размера частиц, но выходы РВ сопоставимы, с выходом из необработанного люпина. Так как максимумы РВ наблюдаются в среднем через 4-6 часов, есть основания полагать, что основную долю сахаров, формируют продукты гидролиза целлюлозы (оболочки семян люпина). Поэтому в данной композиции Novozymes лимитирующими ферментами являются NS22074 и NS50010.

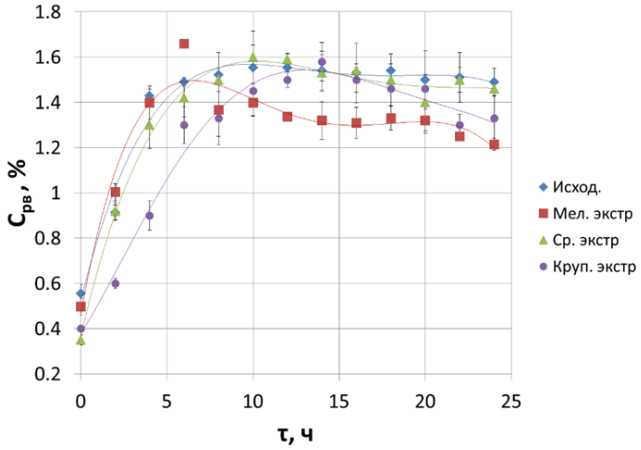


Рис. 5 – Концентрация редуцирующих веществ (в пересчете на глюкозу) (ферментативный гидролиз с препаратами Novozymes)

По результатам оценки выхода РВ была определена оптимальная фракция для ферментативного гидролиза ферментами Novozymes – мелкая с размерами частиц 0,5-1 мм, которая показала максимальный выход РВ за более короткий период гидролиза при сохранении pH в среде на достаточном для эффективной работы ферментов уровне.

На рис. 6 представлены результаты ферментативного гидролиза с препаратами Сиббиофарм с предварительной варкой в воде (см. методику проведения экспериментов). Экструдированный люпин, как и в случае с ферментативным гидролизом препаратами Novozymes проявляет большую эффективность гидролиза. Максимум РВ (2,2%) достигается через 1,5 часа после начала обработки. Основной выход РВ наблюдается уже через час обработки, то есть после варки в воде с добавлением амилосубтилина.

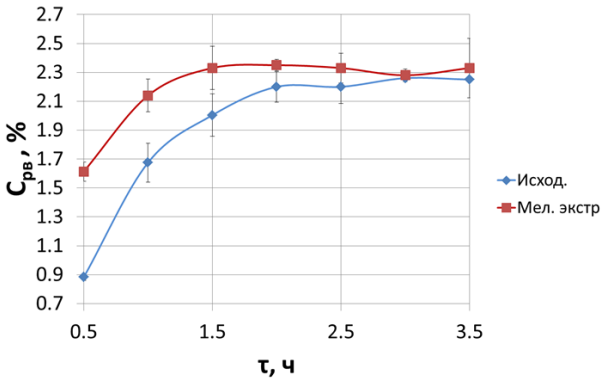


Рис. 6 – Концентрация редуцирующих веществ (в пересчете на глюкозу) (ферментативный гидролиз с препаратами Сиббиофарм)

Поскольку содержание крахмала в экструдированном люпине намного меньше, чем в люпине без обработки, а количество продуктов деструкции легкогидролизуемых полисахаридов больше, процесс гидролиза происходит быстрее. Добавление целлюлолитических ферментов после водной обработки позволяет увеличить итоговый выход РВ, но не существенно. По-видимому, это связано с невысокой активностью целлюлазного препарата, который в данной композиции не является лимитирующим. Основным катализатором и стимулятором выхода РВ в данном процессе являются Амилосубтилин (А) и Глюкаваморин Г3х (Г), проявляющие себя в начале процесса.

Учитывая, что в двух экспериментах с композициями Novozymes и Сиббиофарм, наблюдаются различные активности ферментов и эффективность гидролиза, в дальнейшем имеет смысл разработки композиций, включающих как ферменты Novozymes, так и наиболее активные препараты Сиббиофарм. Подбор таких композиций может быть основан на анализе ИК-спектров люпина до и после обработок (рис. 7), который явно показывает изменение в химической структуре компонентов.

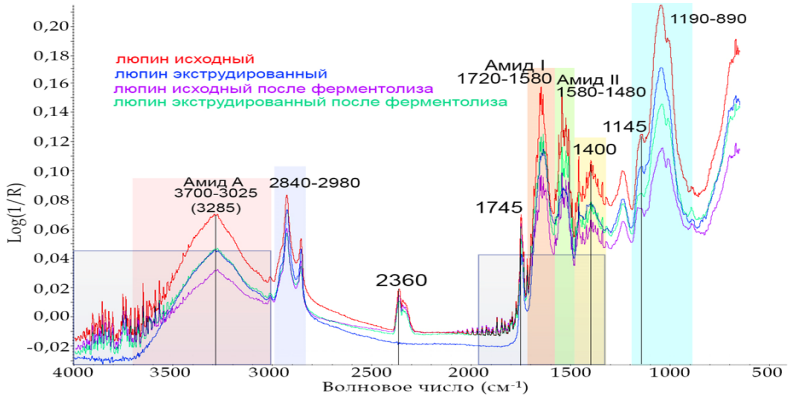


Рис. 7 – Сравнительные ИК-спектры люпина до и после обработок

Как видно из спектров исходного люпина и люпина после ферментолиза интенсивность пиков, отвечающих за колебания связей в полисахаридах (1190-890 см$^{-1}$, 1145 см$^{-1}$, 4000-3000см$^{-1}$) существенно снижается. Точно определить, какие из групп полисахаридов и как (гексозаны, пентозаны) подвергаются гидролитическому распаду довольно затруднительно, так как в данных диапазонах наблюдается перекрывание полос. Полоса 1190-890 см$^{-1}$, включающая в себя колебания гликозидных связей (1175-1140 см$^{-1}$) характеризует деструкцию целлюлозы, что сопоставляется со снижением интенсивности колебаний Н- связей целлюлозы в диапазоне 3700-3000 см$^{-1}$. Вообще снижение интенсивности этой полосы главным образом связано с гидролизом полисахаридов. В ферментированных образцах также наблюдается снижение интенсивности в полосах Амид 1 и Амид 2. Возможно это связано с переходом части растворимых фракций белков и небелковых азотистых соединений в гидролизат при длительном ферментативном гидролизе. О форме и структуре белков, изменяющихся в процессе обработок, говорилось выше. Концентрация жиров также имеет тенденции к снижению в образцах после ферментолиза (полоса 2980-2840 см$^{-1}$ и карбонильная полоса при пике 1745 см$^{-1}$). Пик 2360 см$^{-1}$ во многих источниках характеризуется С=О связью диоксида углерода. Отсутствие его на спектре экструдированного люпина возможно объясняется термообработкой и десорбцией при сбросе давления, хотя пока не было подтверждено. Высокочастотные колебания, появляющиеся в областях 4000-3500 см$^{-1}$ и 1900-1350 см$^{-1}$ соответствуют воде, которая всегда сопровождает в связанной или свободной форме продукты после ферментативного гидролиза и существенно влияет на форму спектров, что вызывает трудности в интерпретации диапазонов, характеризующих амидные связи основной цепи белков. Тем не менее, сохранение симметрии в спектрах в областях, отвечающих за связи в амидах, говорит о сохранении общей структуры растительных протеинов в люпине. Если сравнивать спектры экструдированного люпина до ферментолиза и после видно, что концентрация белка повышается (характерные диапазоны Амид 1 и Амид 2), что говорит о возможности получения белковых концентратов. Очевидно, что итоговая концентрация белков в продукте будет зависеть от качества проведенного избирательного гидролиза углеводов, поэтому ИК-спектрометрия образцов является важным инструментом в данном исследовании. Что касается количественного выхода белков, возможно их определение и по ИК спектрам, однако, учитывая наложение полос от полисахаридов, воды и триглицеридов, такая задача на данном этапе затруднительна, хотя возможна при получении более чистых концентратов, освобожденных от углеводов. Содержание сырого протеина (по общему содержанию азота) и истинного белкового азота (в пробах по Барнштейну) определяли классическим наиболее точным методом Къельдаля. Результаты представлены на рисунке 8.

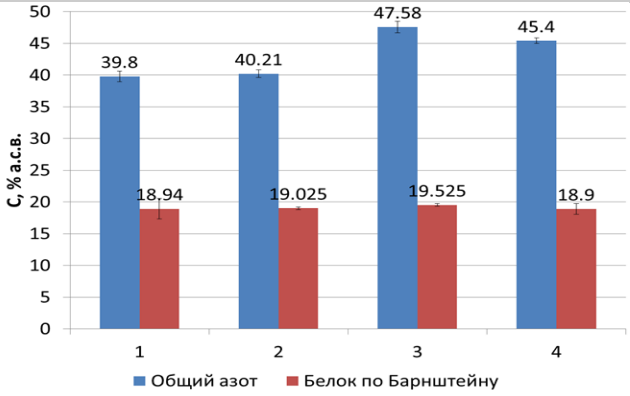


Рис. 8 – Концентрация сырого протеина и истинного белка (по Барнштейну) в твердых продуктах: 1) исходный люпин; 2) экструдированный люпин; 3) люпин после ферментативного гидролиза препаратами Novozymes; 4) люпин после ферментативного гидролиза препаратами Сиббиофарм

Выход сырого протеина после ферментативного гидролиза в твердом остатке достиг 47,58% а.с.в. в образце экструдированного люпина (обработка препаратами Novozymes). Удалось повысить концентрацию белка в итоговом продукте с 39,8%, то есть на 7,8 абсолютных процентов или на 19,54 относительных процентов. После обработки ферментами Сиббиофарм белок удалось повысить на 14%. Незначительное изменение в количественном содержании истинного белка говорит о том, что структура белкового азота в целом не изменяется в процессе экструдирования и ферментативного гидролиза.

Была проведена сравнительная оценка аминокислотного состава экструдированных семян сои и люпина, а также люпинового белкового концентрата, полученного путем ферментации семян люпина, с целью дальнейшего применения в составе кормовых добавок и комбикормов для кормления сельскохозяйственных животных, птицы и аквакультуры. Аминокислотный состав исследованных образцов представлен на рисунке 9.

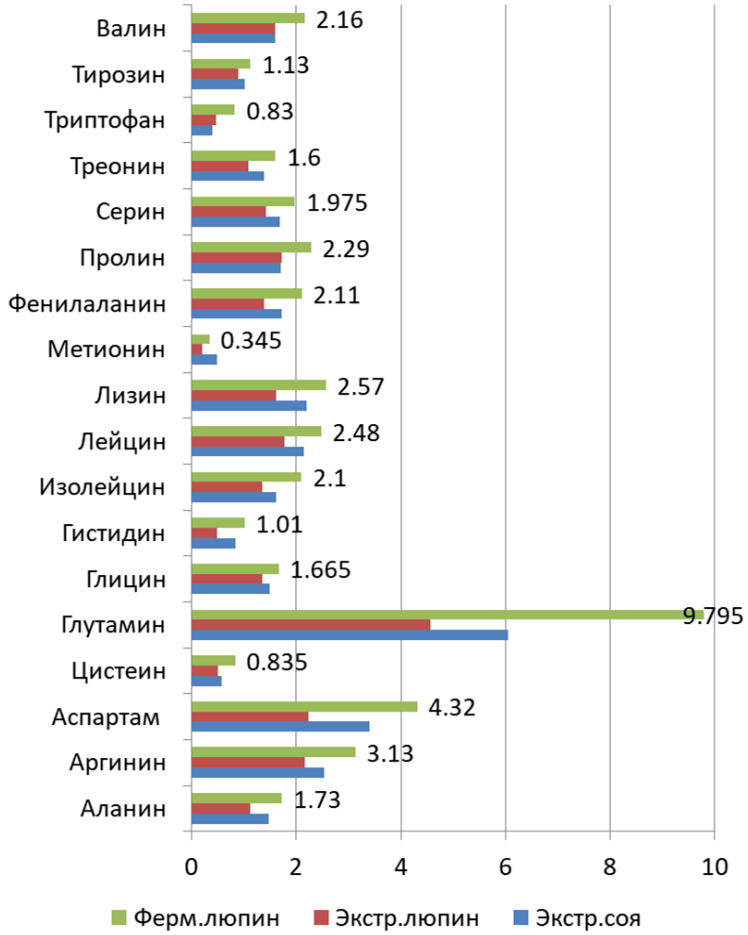


Рис. 9 – Сравнительный аминокислотный состав образцов (в % от общего белка)

Аминокислотный анализ образцов показывает, что содержание заменимых и незаменимых аминокислот (рис. 10) было в образце 1 на уровне 32,33%, в образце 2 – 25,95%, в образце 3 было выше по сравнению с другими образцами и составило – 42,0 % (от общего количества белка). В экструдированных семенах сои (образец 1) из фракции заменимых аминокислот наибольшее содержание глутамина – 6,04%; из фракции незаменимых аминокислот – аргинина 2,54% и лизина 2,21%. Количество серосодержащих аминокислот составило: метионина – 0,49% и цистеина – 0,57%. В экструдированных семенах белого люпина (образец 2) из фракции заменимых аминокислот наибольшее содержание глутамина – 4,57%, аспартама – 2,24%, из фракции незаменимых аминокислот: аргинина – 2,16 %, лейцина – 1,78%, валина – 1,60%. Количество серосодержащих аминокислот составило: метионина – 0,2% и цистеина – 0,51%. В люпиновом белковом концентрате (образец 3) из фракции заменимых аминокислот наибольшее содержание глутамина – 9,80%; аспартама – 4,32%, из фракции незаменимых аминокислот: аргинина – 3,13%, лизина – 2,57%, лейцина – 2,48%, валина – 2,16%. Количество серосодержащих аминокислот составило: метионина – 0,35% и цистеина – 0,84%.

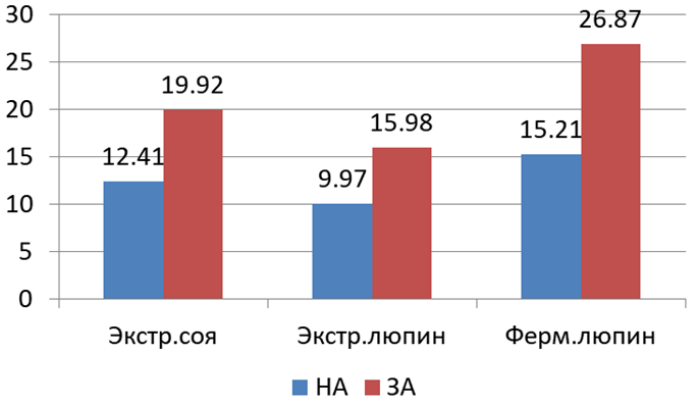


Рис. 10 – Содержание незаменимых аминокислот (НА) и заменимых аминокислот (ЗА) в образцах (в % от общего белка)

Исследованиями установлено, что ферментативная обработка семян люпина позволяет увеличить в них сумму аминокислот с 25,95 до 42,08%, в том числе заменимых аминокислот с 9,97 до 15,21%, незаменимых аминокислот с 15,98 до 26,87%. При ферментативной обработки в семенах люпина увеличивается содержание глутамина с 4,57 до 9,80%, аспартама с 2,24 до 4,32%, аргинина с 2,16 до 3,13%, лизина с 1,62 до 2,57%, лейцина с 1,78 до 2,48%, цистеина с 0,51 до 0,84%, метионина с 0,2 до 0,35%.

Ферментативный гидролиз углеводной фракции позволяет получить люпиновый белковый концентрат, который по сравнению с экструдированными семенами сои содержит больше: незаменимых аминокислот – на 2,8%, заменимых аминокислот на 6,95%. Люпиновый белковый концентрат превосходит экструдированную сою по содержанию глутамина – на 3,76%, аспартама – на 0,92%, аргинина – на 0,59%, лизина – на 0,36%, цистеина – на 0,27%.

Таким образом, исследованное сырье и кормовые добавки на их основе, возможно использовать в кормлении сельскохозяйственных животных, птицы и аквакультуры с целью балансирования рационов по аминокислотам, а также использовать в составе энергопротеиновых кормовых добавок.

Проведенные исследования по ферментативному гидролизу экструдированного люпина подтверждают возможность получения белковых концентратов путем избирательного ферментативного гидролиза углеводных компонентов, входящих в состав люпина. В дальнейшем необходим подбор композиций различных ферментов с наибольшей активностью, для достижения максимального гидролиза клетчатки, входящей в оболочку семян, а также предварительная экстракция семян от жиров. Экструдирование показало свою эффективность в процессе интенсификации ферментативного гидролиза.

Выводы. Результаты проведенного исследования получения белковых продуктов из люпина белого сорта Дега с применением ферментных комплексов показали эффективность предварительного экструдирования семян, которое позволяет почти в 2 раза сократить продолжительность ферментативного гидролиза углеводной фракции люпина. Оптимальной фракцией для гидролиза является размер частиц экструдированного люпина $0{,}5^{-1}$ мм. Наиболее эффективный гидролиз удалось осуществить с применением ферментных композиций, состоящих из препаратов Novozymes, особенно в части целлюлозных полисахаридов, однако отечественные препараты показали высокую эффективность в гидролизе крахмалистых полисахаридов. Учитывая эти обстоятельства имеет смысл создания комплексной ферментной композиции, которая позволит осуществить более полный

гидролиз углеводной фракции люпина и получить продукты с более высоким содержанием протеина. Остаточное содержание жира в белковом продукте также необходимо снижать благодаря предварительной экстракции. Выход сырого протеина после ферментативного гидролиза в твердом остатке достиг 47,58% а.с.в. в образце экструдированного люпина (обработка препаратами Novozymes). Удалось повысить концентрацию белка в итоговом продукте с 39,8%, то есть на 7,8 абсолютных процентов или на 19,54 относительных процентов.

Проведенные исследования по ферментативному гидролизу экструдированного люпина и полученные результаты подтверждают возможность получения белковых концентратов путем избирательного ферментативного гидролиза углеводных компонентов, входящих в состав люпина. Сравнительный аминокислотный состав показал возможность использования полученного белкового концентрата в кормлении сельскохозяйственных животных, птицы и аквакультуры с целью балансирования рационов по аминокислотам.

Сведения о финансировании. Работа выполнена в рамках реализации программы Приоритет-2030. Коллектив авторов выражает благодарность Шурхаевой К.Д., к.т.н., с.н.с, заведующей лабораторией селекции зернобобовых культур ТатНИИСХ (о.с.п. ФИЦ Казанский научный центр РАН) за предоставленные образцы люпина сорта Дега; Зенитовой Л.А., д.т.н., проф., проф. кафедры технологии синтетического каучука ФГБОУ ВО «КНИТУ» за помощь в организации исследований ИК-спектрометрии; Холину К.В., к.х.н, доц., заведующему кафедрой физики ФГБОУ ВО «КНИТУ» за помощь в организации исследований с применением конфокальной микроскопии.

Литература

1. Gaponov N. V., Yagovenko G. L. The lupine significance for forage production: lupin-and-rape concentrate as a source of valuable nutrients for animal feeding //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 723. – №. 2. – С. 022005.

2. Chemical Characterization of White Lupin (Lupinus albus) Flour Treated by Extrusion Cooking and Aqueous Debittering Processes / Chamone M. E. R. et al. // Plant Foods Hum Nutr. 2023 Jun; 78(2): 292-298. doi: 10.1007/s11130-023-01050-0.

3. Extrusion of lupines with or without addition of reducing sugars: Effects on the formation of Maillard reaction compounds, partition of nitrogen and Nε-carboxymethyl-lysine, and performance of dairy cows / Manzocchi E. et al. // Journal of Dairy Science. 2023 Nov; 106(11): 7675-7697. doi: 10.3168/jds.2022-22902.

4. Effects of replacing soybean meal with raw or extruded blends containing faba bean or lupin seeds on nitrogen metabolism and performance of dairy cows / Mendowski S. et al. // Journal of dairy science. 2019 Jun; 102(6): 5130-5147. doi: 10.3168/jds.2018-15416.

5. Boukid F., Pasqualone A. Lupine (Lupinus spp.) proteins: Characteristics, safety and food applications // European Food Research and Technology. – 2022. – Т. 248. – №. 2. – С. 345-356.

6. Development and characterization of extruded broken rice and lupine (Lupinus albus) / Oliveira C. T. et al. // American Journal of Plant Sciences. 2015 Aug; 6(12): 1928-1936. doi: 10.4236/ajps.2015.612194.

7. Multi-response surface optimisation of extrusion cooking to increase soluble dietary fibre and polyphenols in lupin seed coat / Zhong L. et al. // Lwt. 2021 Apr; 140: 110767. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110767

8. Optimal Enzymatic hydrolysis of sweet lupine protein towards food ingredients / Pasarin D. et al. // Fermentation. – 2023 Jan; 9(3): 203. doi: 10.3390/fermentation9030203

9. Samel A., Wojciechowski K. Lupine Protein Enzymatic Hydrolysates Obtained in a Simultaneous Extraction-Hydrolysis Process as Foaming Agents //LWT. – 2024. – С. 116713.

10. Production of herbal protein isolates with the enzymatic hydrolysis technology / Leonid K. et al. // Int J Pharm Res Allied Sci. – 2020. 9(3): 10-5.

11. Kamran F. Enzymatic hydrolysis of lupin (Lupinus angustifolius) protein: Isolation and characterization of bioactive peptides: thesis Doctor of Philosophy. – Western Sydney University (Australia), 2017.

12. A fast and novel approach to evaluate technical enzyme preparations for an efficient protein hydrolysis / Großmann K. K. et al. // European Food Research and Technology. 2019 Apr. 245(8): 1695-1708. doi: 10.1007/s00217-019-03280-6

13. Культивирование Candida guilliermondii на углеводном ферментолизате семян люпина сорта Дега / Д.Б. Просвирников, Д.В. Тунцев, Р.Т. Валеева, Л.М. Исмагилова // Бутлеровские сообщения. 2024. Т.80. №10. С.95-101.

14. Влияние предварительного экструдирования на компонентный состав семян белого люпина сорта Дега / Д.Б. Просвирников, Д.В. Тунцев, Р.Т. Валеева и др. // Бутлеровские сообщения, 2024. Т.80. №10. С.102-111.

Сведения об авторах:

Просвирников Дмитрий Богданович – доктор технических наук, профессор кафедры химической кибернетики, e-mail: prosvirnikov_dmi@mail.ru

Тунцев Денис Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической кибернетики, e-mail: tuncev_d@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

Гайнуллина Мунира Кабировна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой технологии производства и переработки сельхозпродукции, e-mail: gainullinamun@yandex.ru

Касанова Надия Радиковна - кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры биологической и неорганической химии, e-mail: nadia-kasanova@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

PROTEIN CONCENTRATE FROM WHITE LUPINE OF DEGA VARIETY

D. B. Prosvirnikov, D. V. Tuntsev, M. K. Gaynullina, N. R. Kasanova

Abstract. The aim of this work is to obtain a vegetable protein concentrate for animal husbandry by enzymatic treatment of lupine and to evaluate its nutritional characteristics for use in animal husbandry. White lupine of Dega variety (harvest 2019, Republic of Tatarstan) was used in the study. Lupine seeds were pre-treated in an EM-150 feed extruder (Russia) at the production site of NTC GreenTex LLC (Kazan). The concentration of total nitrogen, true protein, fiber, fat, ash, pectin, and starch was determined in the seeds before and after extrusion. Enzymatic hydrolysis of lupine was carried out using enzyme preparations from Novozymes (Denmark) and OOO PO Sibbiopharm (Russia). Enzymatic hydrolysis was carried out in a laboratory shaker-incubator Kuhner ISF1-X (Switzerland) with subsequent separation of the solid and liquid fractions by centrifugation. The solid sediment (protein concentrate) was dried, the content of total and true nitrogen was determined. Most of the fat from the extruded lupine is released during enzymatic hydrolysis into a hydrolysate. In the case of Novozymes enzymes, the maximum yield of reducing substances (RS) (1.66%) is observed after 5-6 hours (without extrusion treatment - 10-12 hours (1.55%)); in the case of Sibbiopharm preparations, the maximum RS (2.2%) is achieved after 1.5 hours from the start of treatment. Infrared spectroscopy (Shimadzu, Japan) showed a change in the chemical structure of both carbohydrates and proteins. It was possible to increase the protein concentration in the final product from 39.8% to 47.58%. Evaluation of the amino acid composition on the NIRS™DS 2500 analyzer showed that enzymatic treatment of lupine seeds allows increasing the amount of amino acids in them from 25.95 to 42.08%, including replaceable amino acids from 9.97 to 15.21%, essential amino acids from 15.98 to 26.87%. The resulting protein concentrate from lupine can be used in feeding farm animals and poultry in order to balance diets for amino acids.

Key words: lupine, protein concentrate, extrusion, enzymolysis, amino acids, protein, feed protein.

References

1. Gaponov NV, Yagovenko GL. The lupine significance for forage production: lupin-and-rape concentrate as a source of valuable nutrients for animal feeding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2021; Vol.723. 2. 022005 p.

2. Chamone MER. Chemical characterization of white lupine (Lupinus albus) flour treated by extrusion cooking and aqueous debittering processes. Plant Foods Hum Nutr. 2023 Jun; 78(2). 292-298 p. doi:10.1007/s11130-023-01050-0.

3. Manzocchi E. Extrusion of lupines with or without addition of reducing sugars: Effects on the formation of Maillard reaction compounds, partition of nitrogen and Nε-carboxymethyl-lysine, and performance of dairy cows. Journal of Dairy Science. 2023 Nov; 106(11). 7675-7697 p. doi: 10.3168/jds.2022-22902.

4. Mendowski S. Effects of replacing soybean meal with raw or extruded blends containing faba bean or lupine seeds on nitrogen metabolism and performance of dairy cows. Journal of dairy science. 2019 Jun; 102(6): 5130-5147 p. doi: 10.3168/jds.2018-15416.

5. Boukid F, Pasqualone A. Lupine (Lupinus spp.) proteins: characteristics, safety and food applications. European Food Research and Technology. 2022; Vol.248. 2. 345-356 p.

6. Oliveira CT. Development and characterization of extruded broken rice and lupine (Lupinus albus. American Journal of Plant Sciences. 2015 Aug; 6(12): 1928-1936 p. doi: 10.4236/ajps.2015.612194.

7. Zhong L. Multi-response surface optimization of extrusion cooking to increase soluble dietary fiber and polyphenols in lupine seed coat. Lwt. 2021 Apr; 140. 110767 p. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110767

8. Pasarin D. Optimal enzymatic hydrolysis of sweet lupine protein towards food ingredients. Fermentation. 2023 Jan; 9(3). 203 p. doi: 10.3390/fermentation9030203

9. Samel A, Wojciechowski K. Lupine protein enzymatic hydrolysates obtained in a simultaneous extraction-hydrolysis process as foaming agents. LWT. 2024; 116713 p.

10. Leonid K. Production of herbal protein isolates with the enzymatic hydrolysis technology. Int J Pharm Res Allied Sci. 2020; 9(3). 10-5 p.

11. Kamran F. Enzymatic hydrolysis of lupin (Lupinus angustifolius) protein: Isolation and characterization of bioactive peptides: thesis Doctor of Philosophy. Western Sydney University (Australia). 2017.

12. Grobmann KK. A fast and novel approach to evaluate technical enzyme preparations for an efficient protein hydrolysis. European Food Research and Technology. 2019 Apr; 245(8). 1695-1708 p. doi: 10.1007/s00217-019- 03280-6

13. Prosvirnikov DB, Tuntsev DV, Valeeva RT, Ismagilova LM. [Cultivation of Candida guilliermondii on carbohydrate fermentolysate of lupine seeds of Dega variety]. Butlerovskie soobshcheniya. 2024; Vol.80. 10. 95-101 p.

14. Prosvirnikov DB, Tuntsev DV, Valeeva RT. [The influence of preliminary extrusion on the component composition of white lupine seeds of Dega variety]. Butlerovskie soobshcheniya. 2024; T.80. №10. S.102-111.

Authors:

Prosvirnikov Dmitriy Bogdanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Chemical Cybernetics Department, e-mail: prosvirnikov_dmi@mail.ru

Tuntsev Denis Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chemical Cybernetics Department, e-mail: tuncev_d@mail.ru

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

Gaynullina Munira Kabirovna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Technology of agricultural products production and processing Department, e-mail: gainullinamun@yandex.ru

Kasanova Nadiya Radikovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior lecturer of Biological and Inorganic Chemistry Department, e-mail: nadia-kasanova@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-75-81
УДК 620.193.23

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ КОРРОЗИИ

А. Г. Смирнов, И. И. Максимов, М. Н. Калимуллин

Реферат. Выбор вида защитного средства от коррозии деталей сельскохозяйственных машин обусловлен прежде всего сохранностью защищаемых поверхностей в нерабочие периоды и экологической безопасностью при попадании защитных средств в результате их эксплуатации: обработке почвы, посеве, посадке, уборке сельскохозяйственных культур и т.д. Известны множество средств противокоррозионной защиты: восстановление начальных лакокрасочных покрытий, использование временных защитных составов (битум, масла, преобразователи ржавчин и ингибиторы коррозии, в редких случаях применяют смазки ПВК, ингибированные составы НГ-204, НГ-203, «Кормин», водно-восковые составы и др.). Перечисленные средства имеют ряд недостатков: дороговизна, высокая трудоемкость нанесения и расконсервации защитных, а также негативные экологические последствия. В связи с изложенным цель работы – определение противокоррозионных свойств топленых животных жиров как сравнительно недорогих и экологически безопасных материалов. Для достижения указанной цели были проведены исследования с использованием образцов из стали Ст.3, покрытых топлеными говяжьим, конским и свиным жирами. Исследуемые образцы предварительно взвешивались, покрывались с соответствующими жирами и размещались под навесом с ноября 2019 года по сентябрь 2020 года. Следует заметить, что сохранность жировой пленки зависит от ее толщины и погодно-климатических условий. В процессе наблюдений ежемесячно контролировали сохранность и состояние покрытий, определяли массу образцов, а также при ежедневном осмотре фиксировались моменты появления коррозии, Измерения показали развитие коррозионных процессов при отрицательных температурах (-4…-5°С) и относительной влажности воздуха в пределах 75…85%. Следует отметить, что на незащищенных образцах внешние проявления коррозии наблюдаются с марта месяца. Образцы с пленками говяжьего жира показывают трехкратное снижение скорости коррозии по сравнению с незащищенными. На образцах с покрытиями из свиного и конского жиров коррозия не наблюдается.

Ключевые слова: хранение, коррозия, топленые жиры, защитное покрытие, скорость коррозии, расконсервация.

Введение. Используемые в сельском хозяйстве машины как для обработки почвы, посева и посадки, уборки урожая, так и для его переработки отличаются кратковременным периодом использования за сезон и длительным последующим периодом хранения. Период работы для многих сельскохозяйственных машин составляет менее 10% от календарного времени года. Несмотря на короткие сроки использования, они подвержены значительным износам за счет воздействия на их рабочие поверхности обрабатываемого технологического материала. Для почвообрабатывающих, посевных и посадочных машин таковыми являются почва и высеваемые материалы. В большинстве случаев для контактирующих поверхностей они представляют собой абразив, активно изнашивающий лакокрасочные покрытия и защитные материалы, а также металл с поверхности деталей. Аналогичное воздействие на поверхности машин оказывают и другие обрабатываемые технологические материалы. Степень их влияния на износ поверхностей зависит от физико-химических свойств обрабатываемого материала, характера и продолжительности его воздействия. В результате, после периода интенсивной эксплуатации, поверхности деталей, воздействующих с обрабатываемой технологической средой, оказываются лишенными защитных покрытий (лакокрасочных и противокоррозионных).

По завершении периода активного использования сельскохозяйственные машины подлежат постановке на кратковременное или длительное хранение. На сельскохозяйственных предприятиях часто практикуется вариант, когда машины, используемые в весенний период, проходят очистку только от почвенных и растительных загрязнений. До начала осенних работ они устанавливаются на площадки временного хранения без восстановления изношенных защитных покрытий. Основные работы по подготовке к длительному хранению проводятся по завершении осеннего периода использования.

Подготовка к хранению начинается с проведения очистительно-моечных работ, предназначенных для удаления с поверхностей машин загрязнений в виде пыли, остатков технологических сред. Так как большинство машин хранятся на открытых площадках, то они подвержены действию атмосферных факторов: перепадам температур, влажности воздуха, солнечной радиации, осадкам и ветровой нагрузке. Совместное влияние атмосферных факторов и остатков технологической среды может значительно повлиять на развитие коррозионных процессов на деталях машин, особенно на поверхностях, не имеющих противокоррозионной защиты. Описание длительного воздействия атмосферных факторов на коррозию деталей сельскохозяйственных машин

отражены в ряде работ. Соответственно, указанные машины требуют проведения мероприятий по подготовке к хранению. Технологические процессы по защите машин от атмосферной коррозии описаны в работе [1]. В работе [2] описывается использование доступных материалов для приготовления противокоррозионных защитных составов и технология их применения для защиты сельскохозяйственных машин в процессе подготовки к хранению.

Указанные выше факторы способствует разрушению лакокрасочных покрытий на границах износа, поврежденных участках, происходит постепенная потеря первоначальных свойств противокоррозионных защитных материалов.

Практика подготовки машин к длительному хранению на сельскохозяйственных предприятиях показывает, что во многих из них восстановление защитных покрытий с использованием лакокрасочных материалов не проводится.

Для защиты поврежденных участков рабочих поверхностей машин от коррозии используют в основном составы, включающие битум, масла, преобразователи ржавчин и ингибиторы коррозии. В редких случаях применяют смазки ПВК, ингибированные составы НГ-204, НГ-203, «Кормин», водно-восковые составы и др.

Указанные защитные составы требуют удаления в процессе снятия с хранения, соответственно, увеличиваются затраты труда, средств и материалов для этих целей. В большинстве случаев работы по расконсервации защищенных поверхностей не проводятся, поэтому защитные составы попадают в почву, в технологическую среду, в продукты растениеводства.

Исходя из выше изложенного следует, что для постановки на кратковременное и длительное хранение сельскохозяйственных машин необходимы доступные и недорогие противокоррозионные защитные материалы. Работы по разработке таких материалов ведутся в разных направлениях, так авторы в статье [3] предлагают использовать атмосферостойкий мазут с добавлением ингибирующих присадок, в работе [4] предлагается производить защитные материалы в условиях сельскохозяйственных предприятий на основе отработанных моторных масел. Снижение затрат на хранение машин можно достичь сокращением работ по расконсервации без нанесения вреда экологии. Для этих целей целесообразным является использование материалов, обладающих свойствами естественного разложения, такими, как жиры животного происхождения, технологии получения которых приведены в работах разными способами описаны в работе [5], в том числе и костного пищевого жира [6, 7]. Технология получения поверхностно - активных веществ со свойствами ингибиторов атмосферной коррозии из отходов мясоперерабатывающих предприятий представлена в работе [8]. В работе [9] рассматривается состав отходов скотобоен, содержащей органические соединения и биологически активные вещества, которые могут эффективно замедлять коррозию.

Эксперименты проводилась в соответствии требованиям ГОСТ Р 9.905-2007, а также разработанной методике, учитывающей необходимость перевозки образцов с места проведения исследований до места проведения замеров.

Противокоррозионные свойства животных жиров подтверждены проведением лабораторных исследований в работе [10]. Полученные результаты подтверждают их способность защищать черные металлы от коррозии в солевом растворе.

Цель работы – определение противокоррозионных свойств топленных животных жиров в процессе проведения натурных исследований в естественных условиях окружающей среды.

Условия, материалы и методы. Для исследований использовали следующие топленые животные жиры: нутряной говяжий, сальный свиной, нутряной конский, соответствующие требованиям ГОСТ 25292 — 2017. Исследования противокоррозионных свойств проводили на образцах из стали Ст.3, подготовленных в соответствии с ГОСТ Р 9.905-2007. Коррозионные потери образцов замеряли гравиметрическим методом с использованием электронных весов RV 274 с точностью до 0,0001 г.

Для этого у образцов определяли начальную m_H и конечную массы m_K после удаления защитного состава и продуктов коррозии. Перед нанесением жиров на образцы подвязывались проволочные подвесы из медной проволоки с лаковым покрытием. В процессе исследований визуально контролировалось изменение внешнего вида защитных материалов и образцов.

Эксперименты проводилась в соответствии требованиям ГОСТР 9.905-2007, а также разработанной методике, учитывающей необходимость перевозки образцов с места проведения исследований до места проведения замеров.

Подготовка образцов к исследованиям, нанесение защитных покрытий, контрольные взвешивания проводились в лаборатории хранения машин Чувашской ГАУ (г. Чебоксары), развешивание для проведения натурных исследований осуществляли в сельской местности (в 30 км от г. Чебоксары).

Развешивание осуществлялось под навесом, соответствующим требованиям ГОСТу 9.909 – 86 (рис. 1).



Рис. 1 – Развешивание образцов под навесом

Нанесение жиров на образцы проводилась с учетом температур плавления и застывания жиров (табл. 1). Равномерность распределения слоя жира на поверхности образцов достигалось их подогревом до температуры 55-60°С.

Таблица 1 - Температурные характеристики топленых жиров

Виды жиров	Температура плавления, °С	Температура застывания, °С	Консистенция при 15°С — 20°С
Говяжий	42-49	34-38	плотная или твердая
Конский	29-32	29-43	мазеобразная или плотная
Свиной	29-35	22-32	мазеобразная, зернистая или плотная

Нанесение жиров на образцы проводилась с учетом температур плавления и застывания жиров (табл. 1). Равномерность распределения слоя жира на поверхности образцов достигалось их подогревом до температуры 55-60°С.

Нанесение защитного состава на образцы проводилось их окунанием в подогретые жиры. Проводилась суточная выдержка образцов при комнатной температуре для застывания жиров и прокапывания излишков. Контроль количества нанесенного жира, его потери проводились замером массы образцов с жиром и подвесом до начала испытаний и после каждой контрольной даты. Для этого использовались лабораторные электрические весы ВЛР-200 с точностью е = ±0,5 мг. Далее с поверхностей образцов удаляли остатки жира промывкой водой с 72%-ым хозяйственным мылом, просушивали фильтровальной бумагой. На всех образцах удаляли коррозию механическим способом для сохранения образовавшегося оксидного слоя по ГОСТ 9.907-83, промывали дистиллированной водой, обезжиривали. Далее образцы выдерживали в эксикаторе в течение суток. В конце исследований определяли массу очищенных образцов $m_К$ с точностью до 0,0001г. Скорость коррозии образцов определяли гравиметрическим методом по убыли их массы в расчете на единицу площади в течение заданного времени по ГОСТ 9.908 – 85.

Программа исследований устанавливалась с учетом периода хранения сельскохозяйственной техники в условиях Чувашской Республики. Исследования начаты развешиванием подготовленных образцов с ноября 2019 года. В середине каждого месяца (15 числа) проводились съемы части образцов для контрольных наблюдений и взвешивания. Наблюдения завершены 15 сентября 2020 года. В процессе наблюдений проводились контроль изменения внешнего вида жирового покрытия, поверхности образцов, а также климатических условий: температуры и средней относительной влажности воздуха. Среднемесячные значения температуры и влажности воздуха в период исследований приведены в виде графиков на рисунке 2.

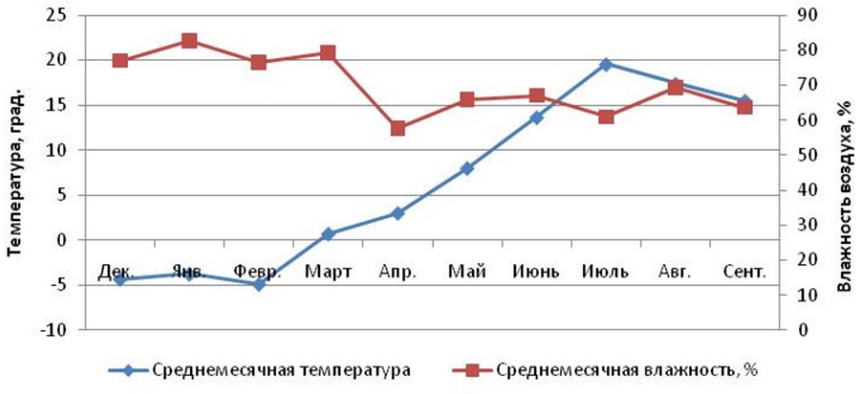


Рис. 2 – Изменение климатических условий в районе исследований

Результаты и обсуждение. Изменение внешнего вида развешанных под навесом образцов в значительной степени зависит от погодных условий и свойств защитных покрытий из жиров. Сопоставление приведенных на рисунке 2 графиков с изменениями внешнего вида образцов и расчетными значениями скоростей коррозии показывают наличие связей между ними. Наиболее чувствительны к изменениям климатических условий образцы из незащищенной стали (рис. 3). В процессе наблюдений за изменением внешнего вида образцов установлено, что первые признаки появления коррозии на образцах без покрытий наблюдаются в начале марта месяца в виде сплошной равномерной коррозии. Видимые признаки коррозии на образцах, покрытых топленым говяжьим жиром появляются в апреле месяце (рис. 4). Образцы, покрытые топленными свиным и конским жирами, видимых коррозионных повреждений до конца наблюдений не имеют (рис. 5 и рис. 6).

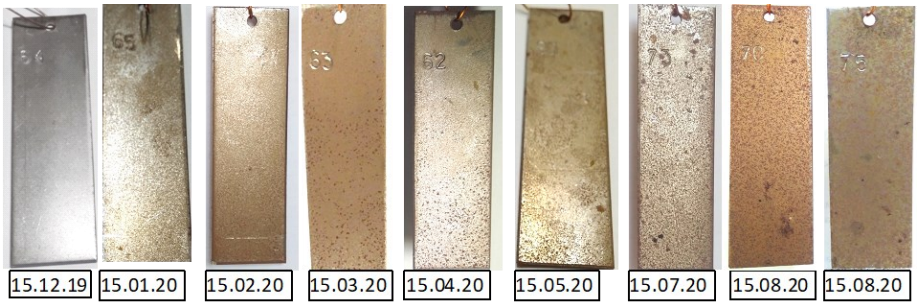


Рис. 3 – Изменение внешнего вида образцов без защитного покрытия



Рис. 4 – Изменение внешнего вида образцов, покрытых говяжьим жиром

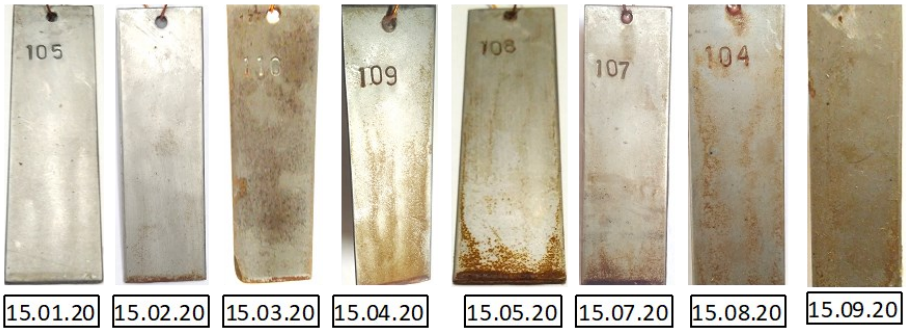


Рис. 5 – Изменение внешнего вида образцов, покрытых свиным жиром



Рис. 6 – Изменение внешнего вида образцов, покрытых конским жиром

Количественную оценку коррозионных процессов дают гравиметрические измерения изменения масс, исследуемых образцов в начале исследований и после съема части образцов по месяцам. По результатам измерений определены скорости коррозии исследуемых образцов без и с защитными покрытиями. По ним построены точечные диаграммы зависимостей скоростей коррозии металлических образцов во времени без защитного покрытия и защищенных топленными животными жирами, определены их теоретические уравнения (рис. 7).

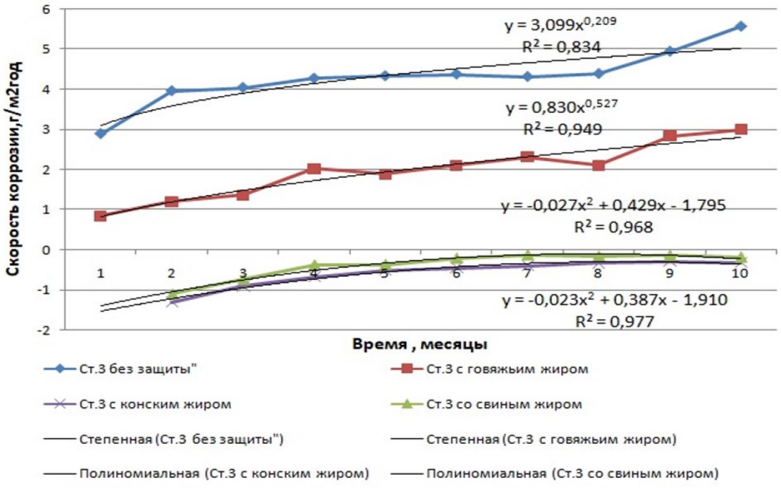


Рис. 7 – Изменения скорости коррозии за период наблюдений

Гравиметрические измерения показывают развитие коррозионных процессов при отрицательных температурах (-4…-5°С) и относительной влажности воздуха в пределах 75 – 85%. С повышением влажности воздуха в январе месяце замечено увеличение интенсивности коррозии незащищенной стали. С марта по июнь месяцы температура воздуха повышается до +14…15°С, что должно вызвать увеличение скорости коррозии, однако, снижение влажности воздуха до 50-60% уменьшает его в указанный период. Увеличение коррозионных процессов начинается с конца июля месяца, несмотря на то, что увеличение относительной влажности воздуха незначительное, в данном случае на коррозию оказывает влияние избыточная влага, получаемая в результате накопления конденсата на образцах из-за выпадения росы. Полученные зависимости скорости коррозии незащищенных образцов описываются уравнением степенной функции $y=3{,}099x^{0{,}209}$. Достоверность аппроксимации точечной диаграммы составляет R^2 =0,834.

Сравнивание скоростей коррозии образцов, защищенных топленым говяжьим жиром и без защитного покрытия показывает способность жира снизить данный показатель в начальный период в три раза, по завершении наблюдений в два раза, описывается уравнением степенной функции $y=0{,}830x^{0{,}527}$. Образцы, защищенные жиром, менее зависят от изменения климатических условий: график скорости коррозии более равномерный, достоверность аппроксимации точечной диаграммы равен R^2=0,949. Наблюдается небольшой скачок в марте месяце, вызванный отслаиванием и выпадением жирового слоя в зимние месяцы с поверхности образцов и значительным уменьшением его оставшейся толщины на поверхностях. Отслаивание происходит из-за увеличенной толщины жирового покрытия в процессе нанесения, связанной с быстрым застыванием и последующим растрескиванием при понижении температуры (табл.1). Увеличение скорости коррозии образцов в июле-августе менее интенсивно, чем у незащищенных образцов. Оставшийся слой жирового покрытия закрывает доступ влаги к металлу, предотвращая образование ржавчины.

Графики изменений скоростей коррозии образцов из стали Ст.3, покрытых топленными конским и свиными жирами показывают, что коррозия в рассматриваемый период практически прекращается (графики расположены ниже нулевой линии). Данные процессы возможны только в том случае, если происходит не убыль массы исследуемых образцов, а ее увеличение. Увеличение массы образцов объясняется составом животных жиров и их качеством. Кислотное число рассмотренных в работе жиров находится в пределах 1,1 – 2,2 мг КОН/г. В расплавленном виде жир воздействует на поверхность металлических образцов как окислитель, так как жиры в основном состоят из аминокислот [11],

окислительная стабильность животных жиров остается стабильной в разных технологических условиях [12], способствующих образованию тонкой пленки оксидов с железом. Противокоррозионные свойства аминокислот также подтверждена в работе [13]. Этим объясняется расположение графиков скоростей коррозии ниже нулевой линии. Наименее подвержены коррозии образцы, покрытые конским жиром. В отличие от других, рассмотренных в работе, конский жир обладает более низкой температурой плавления, образует на поверхности тонкий слой покрытия, дольше находится в жидком состоянии, соответственно, его компоненты реагируют с поверхностью металла более продолжительное время. Под воздействием компонентов жиров на поверхности металла образуется тонкий оксидный слой, защищающий железо от действия окружающей среды, соответственно, незначительно увеличивается масса образцов. Так как говяжий жир имеет более высокую температуру плавления и застывания, то время реакции его компонентов с железом ограничено, образование окисной пленки не происходит.

Выводы. 1. Пленки из топленого говяжьего жира замедляют скорость коррозии на образцах из стали Ст.3 более чем в три раза, а свиного и конского жиров – более чем в пять раз в естественных условиях окружающей среды по сравнению с незащищенными образцами. Образцы, защищенные от коррозии животными жирами, устойчивы против коррозии на весь период хранения машин (с ноября по сентябрь месяцы).

2. Увеличение температуры в рассмотренный период с -5°С до +20°С ведет к увеличению скорости коррозии незащищенных образцов почти в три раза, при этом у защищенных жировыми пленками увеличение составляет: в два раза для говяжьего и около 1,5 раза для свиного и конских жиров. Интенсивность увеличения скорости коррозии образцов, защищенных пленками говяжьего жира в 2…3 раза ниже, чем не защищенных.

3. Жировые пленки, полученные из жиров с высокой (34…38°С) температурой застывания (топленый говяжий), при минусовых температурах окружающего воздуха подвержены растрескиванию и отслаиванию, сохраняют липкость в течение всего периода наблюдений. Жировые пленки, состоящие из топленых свиного и конского, имеют температуру застывания менее 29°С, устойчивы к воздействию атмосферы, к концу наблюдений усыхают.

4. У образцов с пленками из говяжьего жира происходит потеря массы образцов (в среднем) до 0,0163г, у свиного и конского жиров – увеличение до +0,0012г и до +0,1283г соответственно. Увеличение массы происходит за счет образования на их поверхности продуктов реакции металла, компонентов состава жиров и окружающей среды. Коррозия под пленками отсутствует, следовательно, получаемый продукт реакции металл-жир-среда обладает противокоррозионным защитным свойством.

5. Использование животных жиров в целях защиты металлических деталей от коррозии позволяет заменить дорогостоящие материалы при кратковременном и длительном хранения сельскохозяйственных машин, уменьшаются трудозатраты на операциях по хранению за счет сокращения объемов работ по удалению защитных материалов.

6. Свойство естественного разложения топленых животных жиров при попадании в почву способствует повышению экологичности процесса хранения машин.

По перечисленным свойствам топленые животные жиры рекомендуются для использования в качестве защитных составов от коррозии при кратковременном и длительном хранении сельскохозяйственных машин в условиях сельскохозяйственного предприятия.

Литература

1. Прохоренков В. Д., Петрашев А. И., Князева Л. Г. Ресурсосберегающая технология защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии // Техника и оборудование для села. 2007. № 10. С. 24-27.

2. Курбанов, Р. Ф., Сушинцев В. Н., Морозов А. Н. Защита рабочих органов сельскохозяйственных машин при хранении // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2013. Т. 8. № 3(29). С. 75-79. doi: 10.12737/1352.

3. Исследование противокоррозионной защиты тукоразбрасывающих машин / А. И. Петрашев, Л. Г. Князева, В. В. Клепиков и др. // Техника и оборудование для села. 2018. № 7. С. 38-42.

4. Степанов Н. В., Шуханов С. Н. Повышение коррозионной стойкости сельскохозяйственных машин при хранении за счет использования новой защитной смазки // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 4. С. 80-84. doi 10.31992/0321-4443-2019-4-80-84.

5. Вечтомова Е. А., Козлова О.В., Орлова М.М. Оценка методов получения топленых животных жиров // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 797-806. doi 10.21603/2074-9414-2022-4-2408.

6. Файвишевский М. Л. Производство пищевых животных топленых жиров // Мясные технологии. 2022. № 12(240). С. 34-35.

7. Гайдар С. М., Лапсарь О. М. Противоизносная присадка к смазочным материалам, полученная из жиросодержащих отходов мясоперерабатывающих предприятий // Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 2. С. 41-45. doi 10.26897/2687-1149-2023-2-41-45.

8. Разработка технологии переработки жировых отходов в продукты технического назначения / С. М. Гайдар, А. М. Пикина, О. М. Лапсарь и др. // Техника и оборудование для села. 2023. № 3(309). С. 32-35. doi: 10.33267/2072-9642-2023-3-32-35.

9. Slaughterhouse Trash as Corrosion Inhibitor / R. Aslam, M. Mobin, J. Aslam, et al. // Sustainable Food Waste Management. Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials. Springer, Singapore. 2024. P. 215–228. doi.org/10.1007/978-981-97-1160-4_10.

10. Utilization of biowaste as an eco-friendly biodegradable corrosion inhibitor for mild steel in 1 mol/L HCl solution / V. Hemapriya, M. Prabakaran, S. Chitra, et al. // Arab J Chem. 2020. Vol. 13(12). P. 8684–8696. doi:10.1016/j.arabjc.2020.09.060/

11. Сравнительная оценка современных методов повышения качества технических животных жиров / А. В. Заболотний, В. И. Мартовщук, Е. В. Мартовщук и др. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2004. № 1(278). С. 27-28.

12. Макарова Н. В., Воронина М. С. Исследование окислительной стабильности животных жиров в разных технологических условиях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 2. С. 56-64. – DOI 10.14529/food200207.

13. Amino acids protecting metals in aggressive environments / L. Guo, C. Verma, D. Zhang, et al. // Eco-friendly corrosion inhibitors: principles, designing and application. 2022. Elsevier, pp. 311–330.

Сведения об авторах:
Смирнов Анатолий Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: nizowoi40@mail.ru
Максимов Иван Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: maksimov48@inbox.ru
Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия.
Калимуллин Марат Назипович – доктор технических наук, проректор по научной работе и инновациям, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: marat-kmn@yandex.ru
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

USING BIODEGRADABLE MATERIALS TO PROTECT AGRICULTURAL MACHINERY FROM CORROSION

A. G. Smirnov, I. I. Maksimov, M. N. Kalimullin

Abstract. The choice of the type of protective agent against corrosion of agricultural machinery parts is determined primarily by the safety of the protected surfaces during non-working periods and environmental safety when protective agents come into contact with them as a result of their operation: soil cultivation, sowing, planting, harvesting of agricultural crops, etc. Many anti-corrosion protection agents are known: restoration of initial paint and varnish coatings, use of temporary protective compounds (bitumen, oils, rust converters and corrosion inhibitors, in rare cases, PVC lubricants, inhibited compounds NG-204, NG-203, "Kormin", water-wax compounds, etc. are used). The listed means have a number of disadvantages: high cost, high labor intensity of application and depreservation of protective, as well as negative environmental consequences. In connection with the above, the purpose of the work is to determine the anti-corrosion properties of rendered animal fats as relatively inexpensive and environmentally friendly materials. To achieve this goal, studies were carried out using samples of steel St.3, coated with rendered beef, horse and pork fats. The studied samples were preweighed, coated with the appropriate fats and placed under a canopy from November 2019 to September 2020. It should be noted that the preservation of the fat film depends on its thickness and weather and climatic conditions. During the observations, the preservation and condition of the coatings were monitored monthly, the mass of the samples was determined, and the moments of corrosion occurrence were recorded during daily inspection. The measurements showed the development of corrosion processes at negative temperatures (-4…-5°C) and relative air humidity within 75…85%. It should be noted that external manifestations of corrosion have been observed on unprotected samples since March. Samples with beef fat films show a threefold decrease in the corrosion rate compared to unprotected ones. No corrosion was observed on samples with pork and horse fat coatings.

Key words: storage, corrosion, ghee, protective coating, rendered fats, deconservation.

References

1. Prokhorenkov VD, Petrashev AI, Knyazeva LG. [Resource-saving technology for protecting agricultural machinery from atmospheric corrosion]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2007; 10. 24-27 p.
2. Kurbanov RF, Sushintsev VN, Morozov AN. [Protection of working units of agricultural machines during storage]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013; Vol.8. 3(29). 75-79 p. doi: 10.12737/1352.
3. Petrashev AI, Knyazeva LG, Klepikov VV. [Study of anti-corrosion protection of fertilizer spreaders]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2018; 7. 38-42 p.
4. Stepanov NV, Shukhanov SN. [Increasing the corrosion resistance of agricultural machinery during storage through the use of a new protective lubricant]. Traktory i selkhozmashiny. 2019; 4. 80-84 p. doi 10.31992/0321-4443-2019-4-80-84.
5. Vechtomova EA, Kozlova OV, Orlova MM. [Evaluation of methods for obtaining rendered animal fats]. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2022; Vol.52. 4. 797-806 p. doi 10.21603/2074-9414-2022-4-2408.
6. Fayvishevskiy ML. [Production of edible animal rendered fats]. Myasnye tekhnologii. 2022; 12(240). 34-35 p.
7. Gaydar SM, Lapsar OM. [Anti-wear additive to lubricants obtained from fat-containing waste of meat processing enterprises]. Agroinzheneriya. 2023; Vol.25. 2. 41-45 p. doi 10.26897/2687-1149-2023-2-41-45.
8. Gaydar SM, Pikina AM, Lapsar OM. [Development of technology for processing fatty waste into technical products]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2023; 3(309). 32-35 p. doi: 10.33267/2072-9642-2023-3-32-35.
9. Aslam R, Mobin M, Aslam J. Slaughterhouse trash as corrosion inhibitor. Sustainable Food Waste Management. Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials. Springer, Singapore. 2024; 215-228 p. doi.org/10.1007/978-981-97-1160-4_10.
10. Hemapriya V, Prabakaran M, Chitra S. Utilization of biowaste as an eco-friendly biodegradable corrosion inhibitor for mild steel in 1 mol/L HCl solution. Arab J Chem. 2020; Vol.13(12). 8684-8696 p. doi:10.1016/j.arabjc.2020.09.060/
11. Zabolotnyy AV, Martovshchuk VI, Martovshchuk EV. [Comparative assessment of modern methods for improving the quality of technical animal fats]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya. 2004; 1 (278). 27-28 p.
12. Makarova NV, Voronina MS. [Study of oxidative stability of animal fats under different technological conditions]. Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii. 2020; Vol.8. 2. 56-64 p. – DOI 10.14529/food200207.
13. Guo L, Verma C, Zhang D. Amino acids protecting metals in aggressive environments. Eco-friendly corrosion inhibitors: principles, designing and application. 2022; Elsevier. 311-330 p.

Authors:
Smirnov Anatoliy Germanovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and technological machines and complexes Department, e-mail: nizowoi40@mail.ru
Maksimov Ivan Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Transport and technological machines and complexes Department, e-mail: maksimov48@inbox.ru
Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia
Kalimullin Marat Nazipovich - Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Research and Innovation, Professor of Machine Operation and Repair Department, e-mail: marat-kmn@yandex.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-82-92
УДК 631.861:631.22.018

КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

П. А. Смирнов, Е. П. Алексеев, М. П. Смирнов, В. П. Егоров, Т. Н. Вагизов

Реферат. Анализ способов утилизации побочных продуктов животноводства позволил составить перспективную концепцию ускоренной технологии переработки бесподстилочного навоза (БПН) в составе органоминеральной смеси (ОМС). Основой концепции является разделение жидкой и твердой фракций БПН уже в коровнике и, соответственно, последующей раздельной переработке, обеззараживании и внесении фракций. При этом учитывается стерильность жидкой фракции, поэтому допускается её внесение без обеззараживания и переработки. Твердая фракция проходит последовательно обеззараживание, перемешивание наполнителями, микроэлементами и восстановителями разлагающей ферментной среды, частично разрушенной при обеззараживании (ускорители разложения навоза). Допускается разжижение ОМС жидкой фракцией БПН для улучшения перемещения по коммуникациям машин и распределения в почве. Предварительные исследования показали неравномерность разложения ОМС в серой лесной почве вследствие неоднородности смешивания, исходя из чего, авторы отмечают важность указанной операции. Однако для проектирования и разработки таких многокомпонентных смесителей БПН с наполнителями и другими компонентами недостаточно информации в открытом доступе об исходных физико-механических параметрах составляющих ОМС. Поэтому целью представленного исследования является последовательная разработка концепции утилизации БПН в составе ОМС, методик получения исходных данных компонентов для практической разработки машин для смешивания и внесения различных форм навоза. Таким образом получены основные исходные данные составляющих: - объемной массы (мясокостной муки (МКМ) - 547,2; БПН – 1051; ускорителей разложения «Bionex Anima» - 703; «Утилак для подстилки» - 585 кг/м^3); - размеры частиц при летнем кормлении (длина-ширина-толщина) (3…4)-1,0-1,0 мм, при зимнем кормлении – (4…5)-2,1-2,1 мм; - содержание жидкой фракции в МКМ – 4,61%; торфе – 10,10%; твердой фракции БПН – 16,44%; - - угол внутреннего трения МКМ – 38,4°; торфа – 37,18°; - коэффициент трения торф-фанера – 0,969; торф-сталь – 1,09; МКМ –фанера 1,02 и другие.

Ключевые слова: биологизация, диверсификация, бесподстилочный навоз, раздельный сбор навоза, переработка навоза.

Введение. Сегодня производство органической продукции стало признанным мировым трендом аграрной экономики ведущих государств [1]. Если несколько лет назад приоритетом было максимальное получение прибыли с каждого гектара площади, тем самым накормить максимальное количество населения, теперь обратили внимание на экосистемы, здоровье населения и развитие сельских территорий.

Развивая органическое сельское хозяйство, Россия решает те же экологические, социальные и экономические проблемы сельских территорий. По своей сущности органическое сельское хозяйство является производственной системой, поддерживающей здоровье почв, экосистем и людей. Оно не использует невозобновляемые ресурсы в виде минеральных удобрений, пестицидов, а опирается на биоэкологические процессы, агротехнологии, использование только органических удобрений. Органическое сельское хозяйство сочетает в себе исторические традиции, забытые в эпоху интенсивного земледелия, которое привело к постепенному снижению плодородия почвы. Теперь решается задача по его восстановлению и всей окружающей среды в целом [2, 3].

В «Прогнозе научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» [4] отмечено «снижение естественного породного и сортового разнообразия ведет к сокращению возможностей долгосрочной диверсификации сельского хозяйства». Неуклонное снижение темпов роста урожайности и продуктивности в сельском хозяйстве требует широкого внедрения новых технологических решений (биотехнологии, точное сельское хозяйство, роботизация, композиционные удобрения, интегрированная биозащита, ресурсоэффективное локальное сельское хозяйство и т.д.). Многие исследователи аграрного сектора диверсификацию связывают, прежде всего, с искусственным интеллектом. Безусловно, искусственный интеллект в современном мире занимает одно из ведущих мест, но это всего лишь программное обеспечение всего автоматизированного технологического процесса. Для него сначала необходимо создать основу, то есть саму технологию, поскольку попытки автоматизировать традиционные технологии, основанные на ручном или полуавтоматическом труде весьма сложно, порой невозможно.

Целью исследований является последовательная разработка концепции утилизации БПН в составе ОМС, методик получения исходных данных для практической разработки машин для смешивания и внесения компонентов ОМС: объемной массы, коэффициентов внутреннего и внешнего трения, размеров частиц твердой фракции навоза, содержания влаги.

Условия, материалы и методы. Объективная реальность такова, что, во-первых, эпоха использования подстилочного навоза для повышения плодородия почвы уже завершается, все передовые хозяйства переходят на бесподстилочное содержание животных. Во-вторых, разработаны и эффективно используется технологи по использованию соломы и половы (потенциальная подстилка), по которой указанные побочные продукты растениеводства сразу измельчается и равномерно разбрасывается по полю. Если вторым аспектом у нас благополучно, то получением, переработкой и внесением бесподстилочного навоза (БПН) не всё разработано. До недавнего времени большинство хозяйств БПН перерабатывали компостированием или сразу вывозили на поле и распределяли на её поверхности. Такие технологии не соответствуют требованиям санитарной безопасности, загрязняют окружающую среду.

На наш взгляд, рациональной представляется следующая концепция ускоренной переработки БПН, последующего его обеззараживания, составления на его основе ОМС (рис. 1).

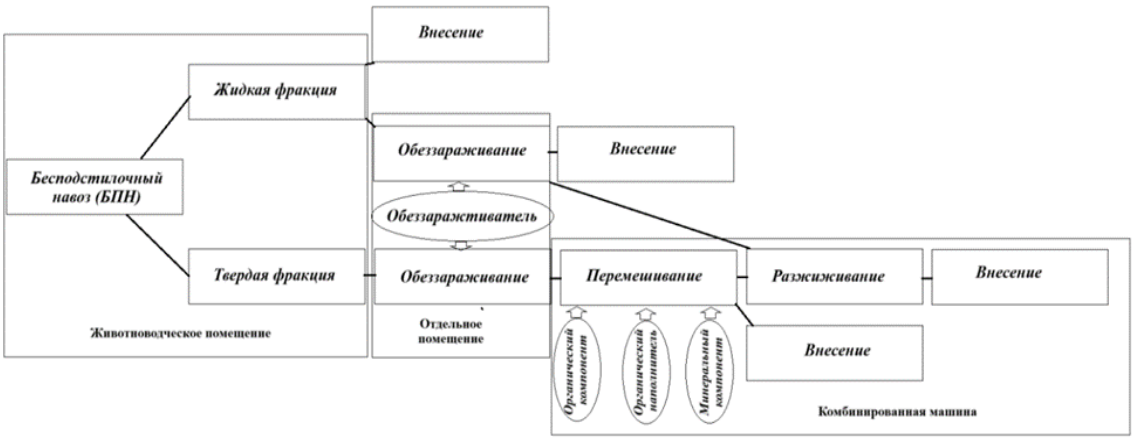


Рис.1 – Предлагаемая концепция переработки БПН

В основе предложенной технологии – разделение БПН в коровнике, поскольку мы считаем, что моча животных в первоначальном виде стерильна, и не требует обеззараживания. Поэтому предлагается её сразу её вносить, чтобы не строить большие аккумулирующие емкости [5, 6, 7]. Хранение жидкой фракции возможно только в зимнее время с января, когда закрываются льдом почти все поры на поверхности почвы, по апрель, когда лед в порах тает и они открываются (рис. 1).

Часть жидкой фракции частично обеззараживается и вносится или направляется на разжижение полностью подготовленной ОМС (рис. 1).

Твердая фракция БПН перемещается в помещение рядом коровником, где она обеззараживается и выдерживается в течение 5-7 суток. Далее в БПН добавляется наполнители (торф, сапропель, мясокостная мука и др.), компоненты (микроэлементы) и ускорители разложения навоза, в частности «Bionex Anima» и «Утилак для подстилки». После этого подготовленная ОМС направляется на внесение или смешивается с жидкой фракцией для улучшения перемещения ОМС по коммуникациям машин.

Свод правил (СП) по строительству животноводческих помещений не предполагает разделение навоза в коровнике, и использование современных материалов, особенно пластмасс для этого [8]. Именно с использованием пластмасс возможно существенное снижение металлоемкости, увеличение ресурса оборудования и в целом, себестоимости утилизации побочных продуктов животноводства. Одновременно решается проблема коррозии металлических узлов и деталей оборудования, и как следствие – их преждевременный отказ. В частности, раздельный сбор твердой и жидкой фракций навоза в коровнике мы видим преимущественно с использованием материала пола (стойла), разделенных каналов жидкой и твердой фракций, деталей уборочного транспортера из пластмасс. Считаем, что заражение жидкой фракции и перенос по всему коровнику происходит, в том числе, через колонии патогенов в слое ржавчины, образованной на металлических деталях навозного транспортера.

Наши работы по составлению ОМС на базе как жидкой, так и твердой фракции БПН для каждой культуры отдельно его потребностям по микроэлементам полностью согласуются с аналогичными работами по обогащению твердой фракции навоза за рубежом [9, 10]. Отечественные разработки в настоящий момент времени, в основном, направлены на составление ОМС на базе жидких форм навоза.

Кроме традиционного компостирования, в стране не развиты технологии ускоренной переработки БПН в перегной. Например, на рынке присутствуют различные ускорители разложения как жидких, полужидких и твердых форм навоза. Соответственно, существуют ускорители разложения подстилочного и бесподстилочного навоза [11, 12, 13]. Но нами не установлено их широкое использование

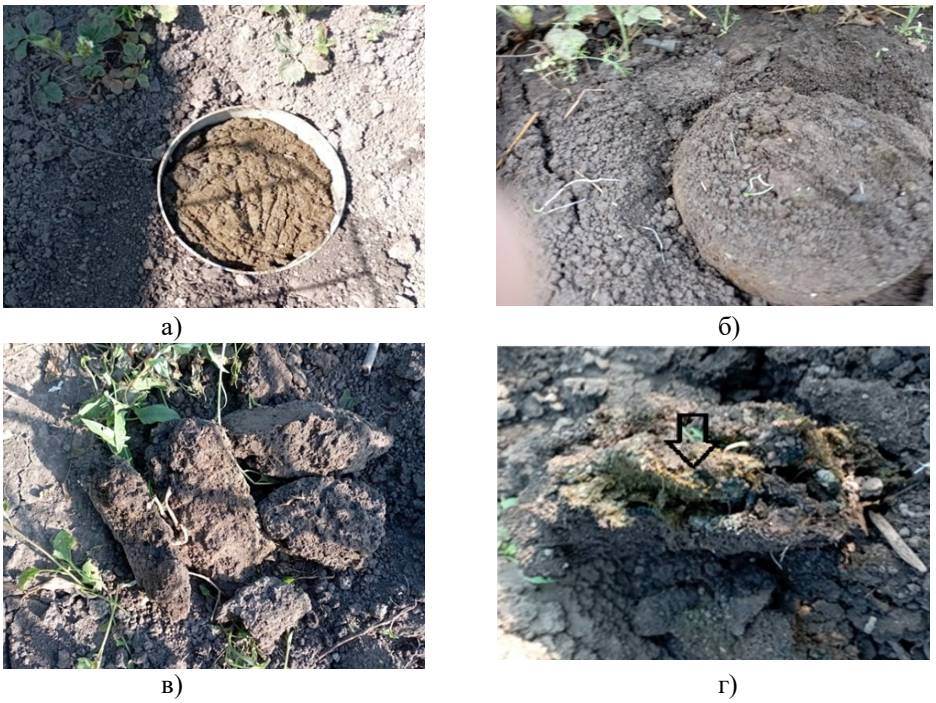
на производстве.

Мы считаем, что процесс искусственного обеззараживания влечет уничтожение не только вредных патогенных организмов, но и полезной микрофлоры. Также в лучшем случае затормаживает интенсивность работы ферментов, в худшем – разрушает непосредственно участвующих в разложении свежего БПН. К сожалению, детальное изучение этого важного фактора нами не обнаружено как в зарубежной, так и в отечественной литературе. Таким образом, после обеззараживания любого навоза и для разложения придется восстанавливать полезную микрофлору [14].

В качестве наполнителя и для восстановления после процесса обеззараживания БПН ферментной и питательной среды мы предлагаем ввести в состав ОМС мясокостную (МКМ), рыбную муку или их производных продуктов. Во-первых, при изготовлении МКМ происходит полное высокотемпературное обеззараживание, рыбная мука в сущности не располагает вредными патогенами. Во-вторых, в составе указанных продуктов содержатся жиры и белки – основные энергетические средства для микрофлоры. В ходе полевых поэлементных исследований МКМ и рыбная мука были наиболее привлекательными для беспозвоночных природных разлагателей навоза – дождевых червей: увеличение количества особей на пробу до 23%. В третьих, в своем составе МКМ содержит от 12 до 17%, рыбной муке – до 4% фосфора, что качественно улучшает ОМС. Учитывая указанное содержание, производится перерасчет дозы компонента в ОМС.

Исследования проведены на территории ЗАО «Прогресс» Чебоксарского муниципального округа (МО) Чувашской Республики и расположенных рядом сельских поселениях (ЛПХ). Основной тип почв указанного района –светло-серые лесные. По механическому составу эти почвы тяжело-, средне-, легкосуглинистые. Объемная масса пахотного слоя в среднем составляет 1,21±0,5 г/см^3, к границе подпахотного слоя увеличивается до 1,45 г/см^3. Удельная масса равна 2,41-2,54 г/см^3. Общая скважность пахотного слоя составляет 48-52%, уменьшаясь к подпахотному горизонту до 39-44%. Водопроницаемость светло-серых лесных почв составляет в среднем 0,7 мм/мин. Данные агрохимических показателей свидетельствуют о том, что в пахотном слое содержится: гумуса – 2,3...2,5%; поглощенных оснований – 30,6...39,8 мг-экв. на 100 г почвы; подвижных фосфатов – 24,1...42,0 мг; обменного калия – 14,8 мг на 100 г почвы. Реакция среды – слабокислая. По сравнению с 2005 годом установлено снижение на 0,2-0,4% гумуса, а реакция почвы с нейтральной трансформировалась в слабокислую.

В ходе предварительных исследований по внесению ОМС в твердой форме и визуальной оценке её разложения выявлена неравномерность в трансформации в органическое вещество. На почвенных разрезах было обнаружено очаговое присутствие неразложившихся крупных частиц ОМС (рис. 2), на основании чего мы резюмируем важность однородного смешивания.



а) б) в) г)

Рис. 2 – Результаты повторных опытов по ускоренному разложению смеси 85%БПН+15%МКМ (по содержанию общего фосфора): а) закладка 29.05.24 г.; б) выемка 14.07.24 г.; в) и г) разрезы образцов, смешанного миксером (полностью разложившийся), и смешанного вручную с очагом не разложившейся смеси (стрелка)

Кроме подготовки (смешивания) ОМС вручную, нами также был проведен замес компонентов ОМС машинным способом – электрической дрелью с насадкой для смешивания цементного раствора в виде винтовой спирали и бытовым кухонным миксером. Наилучшее смешивание показало применение кухонного миксера, худшее – вручную лопаткой. В связи с этим, были выделены три группы рабочих органов смесителей:

1) смешивание грубым рабочим органом (лопаткой) с основной задачей разделения вносимого компонента (МКМ) на крупные части и разнесения их по объему основного компонента (БПН);

2) смешивание посредством дрели со спиральной насадкой разделяет крупные части МКМ на более мелкие; при продолжительном смешивании достигается среднее состояние однородности смеси; метод пригоден для смешивания БПН в малых объемах (например, при ежедневной переработке БПН на личном подсобном или фермерском хозяйстве);

3) смешивание кухонным миксером позволяет быстро достичь состояния однородной смеси, но этот инструмент пригоден только для лабораторных испытаний; при больших объемах переработки равномерное распределение МКМ по объему основного компонента (БПН) трудно обеспечить.

В основе наших исследований лежит предположение, что ОМС многокомпонентная смесь, и её качество существенно зависит от конструкции смесителя и внутренних факторов её компонентов. Важной характеристикой компонентов ОМС является их объемная масса. Для ее определения были использованы электронные весы Kitfort КТ-803-6 и тарированные стеклянные стаканы (рис. 3).

Технические характеристики электронных весов Kitfort КТ-803-6:

–минимальный измеряемая масса – 1,0 г;

–максимальная измеряемая масса – 5,0 кг;

–единица шкалы измерения (погрешность) – 1,0 г.



а) б)

Рис. 3 – Приборы для определения объемной массы компонентов ОМС: тарированный стеклянный стакан и электронные весы Kitfort КТ-803-6

Известно, что на качество смешивания различных компонентов существенное влияние оказывают их форма, а также размеры дисперсных частиц. Данное утверждение справедливо, в том числе и в отношении БПН различных домашних животных. Например, согласно исследованиям Douglas W. Hamilton [15], размеры твердых частиц свиного навоза находятся в прямой зависимости от размеров тонкости размола концентрированного корма: крупные частицы концентрированного корма (прежде всего, размолотого зерна) недостаточно перерабатываются желудочно-кишечным трактом свиней. Аналогично выявлено наличие преимущественно крупных частиц размолотых зерен кукурузы, которые преобладают в концентрированном корме откормочного животноводства западных стран. Размеры таких частиц ограничиваются 3380 мкм, в среднем составляют 2000 мкм. El-Nagar D. и Mohammed R. [16] с целью установления состава просеивали навоз крупного рогатого скота на три фракции 4,76-2,0 мм (СМ1), 2,0-0,8 мм (СМ2), 0,8-0,4 мм (СМ3). По Скорбу И. И. [17] в свином навозе при концентратном типе кормления и в навозе КРС находится более 50% частиц размером до 0,5 мм. Автор предполагает, что это связано с тем, что приготовление корма осуществлялось одним и тем же измельчителем. В то же время для обоих рассмотренных случаев выявлено около 30% частиц размером от 3,0 до 10,0 мм. Исследованиям

Дурдыбаева С. Д. и соавторов [18] показали наличие в навозе КРС до 45% частиц размером более 0,25 мм, а в свином навозе частиц размером более 1,0 мм – около 42%. Отметим, что форма и размеры частиц БПН определены авторами размыванием его чистой водой с последующей фильтрацией на сите. Приведенные параметры частиц являются исходным критерием для простого разделения жидкой и твердой фракций навоза, например, на сите. Лабораторные исследования показали, что смешивание одинаковых по размеру и объемной массе компонентов ОМС достигается лучшая однородность смеси, следовательно, ускоренное разложение ОМС.

Влажность исходных компонентов имеет существенное значение при смешивании твердом виде, так как изменяются адгезионные свойства БПН и его компонентов. В практических исследованиях нами был использован прибор для определения относительной влажности OHAUS MB-25 (рис. 4).



Рис. 4 – Общий вид прибора для определения относительной влажности OHAUS MB-25

Технические характеристики OHAUS MB-25:

– дисплей: показание динамики сушки и отражение содержания влаги и сухого вещества в процентах;

– режим эксплуатации – только в помещении;

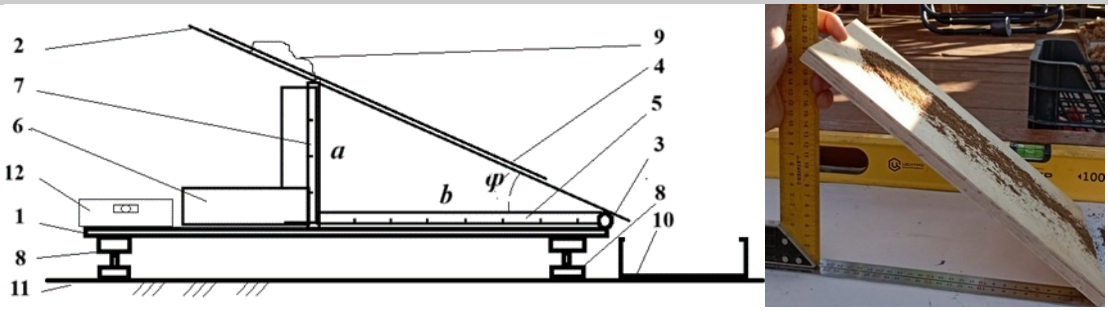
– диапазон рабочих температур: от +5 до +40°С;

– относительная влажность воздуха: от 15 до 80% при 30°С;

– время прогрева не менее 15 мин после подключения прибора к сети;

– параметры электрического питания 200-240 В, 3,0 А, 50/60 Гц.

Следует отметить, что для определения конструктивных параметров смесителя для приготовления ОМС необходимы реальные коэффициенты внешнего и внутреннего трения ее твердых компонентов. В связи с этим, нами были построены экспериментальные установки для определения коэффициента внешнего трения (рис. 5а) и коэффициента внутреннего трения (рис. 5 б). Установка для определения коэффициента внешнего трения «материал-поверхность трения» (рис. 5а) представляет собой стол 1 с наклонной доской 2, смонтированной на шарнире 3 с возможностью изменения угол подъема φ до 90°. На наклонной доске 2 крепится поверхность трения в виде листа 4, по которому скользит испытуемый материал 9. Угол подъема φ характеризуется параметрами b – на горизонтальной линейке 5, а также a – на вертикальной линейке 7 угольника 6. Строго горизонтальное положение стола 1 на опорной поверхности 11 задается регулировочными винтовыми механизмами на ножках стола 8 и строительным уровнем 12. Измерением с помощью угольника 6 на столе получаем вертикальный параметр a.



а) б)

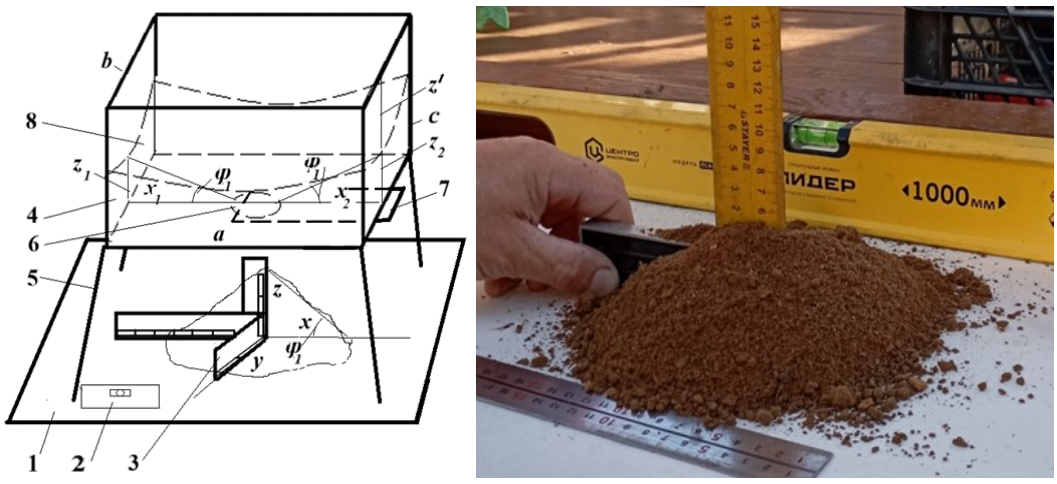
Рис. 5 – Определение коэффициента внешнего трения: а) схема установки; б) положение скольжения МКМ на наклонной доске и измерение его параметров; 1 – стол; 2 – наклонная доска с регулируемым углом наклона; 3 – шарнир; 4 – материал для измерения коэффициента трения; 5 – горизонтальная измерительная линейка; 6 – угольник с вертикальной измерительной линейкой 7; 8 – регулировочные винты стола; 9 – измеряемый материал (МКМ); 10 – сосуд для сбора материала; 11 – опорная поверхность; 12 – уровень

Определяемый материал 9 укладывается на наклонную доску 2 с листом 4. Доска 2 медленно поднимается до начала движения материала 9 по листу 4 вниз в емкость 10. При этом фиксируется показания a и b, и вычисляется минимальный угол φ и нижний предел коэффициента внешнего трения f по формулам:;

$$f = tg\varphi = \frac{a}{b} \qquad \varphi = arctg\frac{a}{b} \tag{1}$$

Аналогично фиксируется максимальный угол трения и верхний предел коэффициента трения. По полученным данным определяются средние значения исследуемых параметров. Все операции расчетов по статистической обработке выполняются в программе «Microsoft Excel-2007».

Экспериментальная установка для определения внутреннего трения (рис. 6а) состоит из горизонтального стола 1, устанавливаемого горизонтально по уровню 2. На столе 1 располагается двойной угольник 3 с горизонтальными шкалами x, y и вертикальной шкалой z. Также на столе 1 устанавливается короб для испытуемого материала 4 на ножках 5. На дне короба 4 по центру имеется отверстие 6 с заслонкой 7. Следует отметить, что отверстие 6 по вертикальной оси совпадает с вертикальной линейкой z. При открытии заслонки 7 испытуемый материал из короба 4 высыпается на стол 1 в виде конуса (рис. 6б).



а) б)

Рис. 6 – Определение коэффициента внутреннего трения: а) общий схема установки; б) конус МКМ и измерение его параметров при снятом коробе; 1 – стол; 2 – уровень; 3 – угольники с горизонтальной и вертикальной измерительными линейками; 4 – короб для материала; 5 – стойки; 6 – отверстие в центре днища с задвижкой 7; 8 – уровень материала в коробе

По шкалам x, y и z двойного угольника 3 фиксируются значения конуса и определяются средние угол $\bar{\varphi}_1$ и коэффициент внутреннего трения : f_1

$$f_{1x} = tg\varphi_{1x} = \frac{z}{x} \qquad \varphi_{1x} = arctg\frac{z}{x}$$

$$f_{1y} = tg\varphi_{1y} = \frac{z}{y} \qquad \varphi_{1y} = arctg\frac{z}{y}$$

$$\bar{f}_1 = \frac{f_{1x} + f_{1y}}{2} \qquad \bar{\varphi} = \frac{\varphi_{1x} + \varphi_{1y}}{2} \tag{2}$$

Очевидно, что адгезионные свойства компонентов ОМС к материалам поверхности смесителя имеют существенное значение. Считаем, что данные, полученные с помощью представленных экспериментальных установок для определения коэффициентов и углов трения (рис. 5 и 6), учитывают действие сил адгезии и когезии. Однако следует заметить, что значение угла внутреннего трения, определенный по параметрам внутреннего конуса в коробе 4 (рис. 6) в опытах всегда больше, чем значение угла трения, определенный по конусу осыпания (рис.6 б). По нашему мнению, эта разница и есть результат сил когезии, удерживающих частицы материала в коробе.

Для жидких фракций БПН и компонентов важен коэффициент динамической вязкости. С этой целью в ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ разработана методика определения коэффициента динамической вязкости методом подобия, а также изготовлен лабораторный прибор для его определения, в основе которого лежит соотношение:

$$\mu_n = \mu_v \frac{Q_v^4}{Q_n^4} \quad (3)$$

где μ_v – коэффициент динамической вязкости воды;

Q_v и Q_n – секундные расходы воды и определяемого раствора компонента (суспензии) [19].

Для этого определяются секундные расходы воды и определяемой суспензии на одном и том же трубопроводе непосредственно в полевых условиях, после чего производится перерасчет по формуле (3).

Результаты и обсуждение. В таблице 1 представлены фрагменты результатов измерения и определения объемной массы компонентов ОМС.

Таблица 1 – Объемная масса МКМ в свободном, уплотненном состоянии и свежего БПН

№	Масса общая, г	Масса стакана, г	Масса МКМ, г	$m_i - \underline{m}$	$(m_i - \underline{m})^2$
1	98	44	54	0,7	0,49
2	100	44	56	-1,3	1,69
3	101	44	57	-2,3	5,29
4	98	44	54	0,7	0,49
5	97	44	53	1,7	2,89
6	98	44	54	0,7	0,49
7	99	44	55	-0,3	0,09
8	101	44	57	-2,3	5,29
9	97	44	53	1,7	2,89
10	98	44	54	0,7	0,49
Ср. зн-е, г	71,35	44	54,7	0	2,23
	Объемная масса МКМ δ, кг/м^3				547,2
	Ср. квадратическое отклонение, г				1,494
	Коэффициент вариации, %				2,73
Ср. зн-е, г	61,2				
	Объемная масса уплотненного МКМ δ, кг/м^3				612
	Ср. квадратическое отклонение, г				1,304
	Коэффициент вариации, %				2,13
Ср. зн-е, г	105,1				
	Объемная масса свежего БПН δ, кг/м^3				1051
	Ср. квадратическое отклонение, г				1,9112
	Коэффициент вариации, %				1,82

Примечание: данные измерений по уплотненному МКМ и свежему БПН не показаны.*

Аналогично определены объемные массы ускорителей навоза, используемые в экспериментальных исследованиях:

– «Bionex Anima» порошок белого цвета – 0,703 кг/дм^3 (703 кг/м^3);

– «Утилак для подстилки» порошок светло-коричневого цвета – 0,585 кг/дм^3 (585 кг/м^3).

Поскольку указанные материалы в заводском герметичном (пакеты) исполнении представлены в виде порошков тонкого размола к ним не использовались методы статистической обработки данных.

Результаты повторных исследований (2024 год) размыванием в чистой воде БПН при летнем пастбищном кормлении крупного рогатого скота (КРС) получены следующие размерные характеристики частиц растительного корма:

– длина преимущественно до a = 3…4 мм, a_{max} = 8,0 мм;

– ширина и толщина достигают

приблизительно $b = c$ =1,0 мм.

При зимнем стойловом кормлении сухими грубыми кормами КРС получены следующие характеристики:

– длина преимущественно до a = 4…5 мм, a_{max} = 9,8 мм;

– ширина и толщина до $b = c$ = 2,1 мм.

Размерные параметры МКМ и ускорителя разложения БПН «Bionex Animal WT» получены сухим просеиванием соответственно: до $a = b = c$ = 0,5 мм и $a = b = c$ = 0,1 мм. По рекомендации производителя ускоритель разложения навоза вносится в растворенном виде.

Нами изучены температурные параметры компонентов ОМС и среды, исходя их условия, что в средней полосе России смешивание может производиться при низких температурах. Например, реальная температура в хозяйственном пристрое к коровнику, где находился смеситель и смешивался БПН с другими компонентами, снижалась до t = 4,5°С [13]. Очевидно, что в летний период обеспечивается приблизительное равенство температур компонентов и среды: $t_1=t_2=\ldots=t_n=t$, при этом фактически соблюдается условие $t_{опт}$ = 18°С. Однако в рекомендациях к использованию рассматриваемых ускорителей разложения навоза указан диапазон рабочих температур от 10 до 40°С. При смешивании внутри животноводческого помещения (измерения проведены в коровнике) можно уложиться в пределах нижней границы рекомендованных температур в зимний период. Для исключения отказа смесителя вследствие замерзания мы не рассматриваем его работу при отрицательных температурах в помещении.

Практическими исследованиями прибором OHAUS MB-25 для определения относительной влажности непосредственно перед смешиванием получены следующие исходные параметры компонентов, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание жидкой и твердой фракций в компонентах ОМС

№	Компонент	Твердая фракция, %	Жидкая фракция, %
1	БПН	83,56	16,44
2	МКМ	95,39	4,61
3	Торф	89,90	10,10
4	Перегной	88,02	11,98

Таблица 3 – Результаты определения углов и коэффициентов внешнего трения компонентов ОМС

Торф – дерево (фанера)					
№ опыта	min a, см	max a, см	min b, см	max b, см	Ср. значение
1	19,0	24,0	27,5	24,0	
2	18,0	23,5	28,0	23,0	
3	18,5	23,5	28,0	23,5	
4	18,5	24,0	27,5	23,0	
5	18,5	26,5	28,0	23,5	
Ср. значение	18,5	24,7	27,8	23,4	
Ср. квадр. отклонение	0,3536	2,1389	0,2739	0,4183	
Коэффициент вариации, %	1,91	8,66	0,985	1,79	
f	0,749	-	1,188	-	0,9685
φ, град.	36,83	-	49,91	-	43,37
Торф – оцинкованная сталь					
Ср. значение	18,8	23,3	23,2	18,5	
Ср. квадр. отклонение	0,5701	0,2739	0,2739	0,3535	
Коэффициент вариации, %	3,03	1,18	1,18	1,91	
f	0,81	-	1,259	-	1,0345
φ, град.	39,02	-	51,55	-	45,285
Торф – черная сталь					
Ср. значение	19,6	23,7	22,2	18,4	
Ср. квадр. отклонение	0,2236	0,2739	0,5701	0,2236	
Коэффициент вариации, %	1,14	1,16	2,57	1,22	
f	0,883	-	1,288	-	1,0855
φ, град.	41,44	-	52,18	-	46,810
МКМ – дерево (фанера)					
Ср. значение	21,4	25,7	25,7	21,4	
Ср. квадр. отклонение	0,4183	0,4472	0,2739	0,5477	
Коэффициент вариации, %	1,95	1,74	1,06	2,55	
f	0,837	-	1,2	-	1,0185
φ, град.	39,92	-	50,22	-	45,070

Примечание: 1. Опытные данные показаны только для материалов торф-дерево (фанера), по остальным – результаты расчетов.

2. Фанера предусмотрена для бункеров–накопителей смесителя как инертный материал для микроэлементов и ускорителей разложения навоза.

Таблица 4 – Результаты определения углов внутреннего трения компонентов ОМС

МКМ					
№ опыта	*z*, см	*x*, см	*y*, см	$R_{ср} = \frac{x+y}{2}$, см	φ_1, град.
1	7,5	9,25	10,00	9,625	37,928
2	8,5	10,10	10,75	10,425	39,19
3	9,5	11,50	12,70	12,10	38,136
Ср. значение					38,418
торф					
№ опыта	*z,* см	*x*, см	*y*, см	$R_{ср} = \frac{x+y}{2}$, см	φ_1, град.
1	5,5	7,5	8,5	8,00	34,51
2	6,2	7,75	9,0	8,375	36,51
3	7,5	8,15	9,4	8,775	40,52
Ср. значение					37,18

Результаты экспериментов по определению коэффициента динамической вязкости суспензии навоза с содержанием 0,5, 1,0, 1,5% твердой фракции показали сходство с результатами, определенными по методу Пуазейля и других. Таким образом, были определены коэффициенты динамической вязкости – $\mu_{0,5}$ = 0,00135 Па·с; $\mu_{1,0}$ = 0,00205 Па·с; $\mu_{1,5}$ = 0,0025 Па·с.

Полученные данные являются основой расчетов по проектированию смесителя и машин для внесения ОМС.

Выводы. Разработанные методики и приборы для определения физико-механических параметров компонентов ОМС позволили получить основные исходные данные всех составляющих:

- объемной массы (МКМ - 547,2; БПН – 1051; «Bionex Anima» - 703; «Утилак для подстилки» - 585 кг/м^3);
- размеры частиц при летнем кормлении (длина-ширина-толщина) (3…4)-1,0-1,0 мм, при зимнем кормлении – (4…5)-2,1-2,1 мм;
- содержание жидкой фракции в МКМ – 4,61%; торфе – 10,10%; твердой фракции БПН – 16,44%.
- угол внутреннего трения МКМ – 38,4°; торфа – 37,18°;
- коэффициент трения торф-фанера – 0,969; торф-сталь – 1,09; МКМ –фанера 1,02 и другие.

Результаты, полученные в ходе исследования, использованы для расчетов параметров смесителя и машин для внесения БПН в составе ОМС непосредственно в почву.

Литература

1. Полухин А. А., Зубарева К. Ю. Развитие органического земледелия в Российской Федерации и рентабельность производства органической сои // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 6. С. 44-49.

2. «IFOAM–OrganicsInternational»: официальный сайт. URL: https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-05/poa_russian_web.pdf / (дата обращения: 19.12.2023).

3. Когнитивное моделирование в управлении развитием сельских территорий / А. Н. Тарасов, Н. И. Антонова, А. С. Тарасов [и др.] // Азов: ООО "АзовПринт". 2019. 128 с. – ISBN 978-5-6043029-5-8.

4. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / Минсельхоз России; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Москва: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с. URL: https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz_APK_2030.pdf (дата обращения: 24.03.2024)

5. Прокопьева Е. В. Увеличение регенеративной способности трав в зависимости от высоты среза при поукосном внесении жидкой фракции навоза // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1(8). С. 112-119. DOI 10.17022/nm16-0s35.

6. Патент №217154 U1 Российская Федерация, МПК A01B 49/06 (2023.03), A01C 21/00 (2023.03), Рабочий орган для внесения жидких органических удобрений : № 2022132280 : заявлено 09.12.2022: опубликовано 21.03.2023/Смирнов П.А., Смирнов М.П., Пушкаренко Н.Н., Алексеев Е.П., Егоров В.П.; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Чувашский государственный аграрный университет" Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова". 7 с. : схема

7. Энергосберегающая подготовка почвы под посадку хмеля / П. А. Смирнов, А. Г. Терентьев, Н. Н. Пушкаренко [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 4(64). С. 68-74. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-68-74.

8. Свод правил СП 106.13330.2012. Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения (актуализированная редакция СНиП 2.10.03-84). М., Минрегионразвития РФ, 2012. 19 с.

9. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects / Y. Bouhia,

M. Hafidi, Y. Ouhdouch, et al. // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2022. P. 426-446. URL: https://www.researchgate.net/publication/360501536_Conversion_of_waste_into_organo-mineral_fertilizers_current_technological_trends_and_prospects (дата обращения: 21.06.2024).

10. Advances in the Use of Organic and Organomineral Fertilizers in Sustainable Agricultural Production / M. Abdulraheem, J. Hu, S. Ahmed, et al. // IntechOpen. 2023. P. 1-20. URL: https://www.researchgate.net/publication/370325761_Advances_in_the_Use_of_Organic_and_Organomineral_Fertilizers_in_Sustainable_Agricultural_Production (дата обращения: 04.07.2024).

11. «Экобактер»: официальный сайт. URL: https://ecobakter.ru/svinovodstvo?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=86288550&utm_content=16157319978&utm_term=---autotargeting&yclid=10027243289146294271/ (дата обращения: 11.04.2024).

12. «Благодатное земледелие» – товары для переработки навоза: официальный сайт. URL: https://blagodatmir.ru/catalog/udobreniya/udobreniya1/18330/#desc (дата обращения: 11.04.2024).

13. «Агросервер.ру» – биопрепараты. Биокомпомстер коровьего навоза: официальный сайт. URL: https://agroserver.ru/b/biokomposter-korovego-krs-navoza-264574.htm (дата обращения: 11.04.2024).

14. Role of Decomposers in Agricultural Waste Management / N. Iqbal, A. Agrawal, S. Dubey et al. // IntechOpen. 2020. 20 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/344900173_Role_of_Decomposers_in_Agricultural_Waste_Management (дата обращения: 20.12.2023).

15. The Environmental Sustainability of Anaerobic Digestion as a Biomass Valorization Technology / S. Meestera, J. Demeyera, F. Velgheb, et al. // Bioresource Technology. 2012. Vol. 121. P. 396-403 URL: https://www.researchgate.net/publication/230619254_The_environmental_sustainability_of_anaerobic_digestion_as_a_biomass_valorization_technology (дата обращения: 10.08.2024).

16. D. El-Nagar and R. Mohammed. Characterization and Impact of Cattle Manure Particle Size on Physical Properties of Sandy Soils // Journal of Geosciences and Environmental Protection. 2019. Vol. 7. P. 180-194. URL: https://www.researchgate.net/publication/335323144_Characterization_and_Impact_of_Cattle_Manure_Particle_Size_on_Physical_Properties_of_Sandy_Soils (дата обращения: 20.02.2024).

17. Скорб И. И. Анализ физико-механических свойств жидкого навоза // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30-31 марта 2017. Минск: БГАТУ. 2017. С. 205-207.

18. Дурдыбаев С. Д. Утилизация отходов животноводства и птицеводства: Обзор // Москва: Агропромиздат, 1989. 56 с.

19. Смирнов П. А. Определение коэффициента динамической вязкости и дозы внесения жидких фракций навоза // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2022. № 3(22). С. 119-125. DOI 10.48612/vch/r8k1-3bmh-1bvu.

Сведения об авторах:

Смирнов Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: smirnov_p_a@mail.ru

Алексеев Евгений Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: zhenia_alex@mail.ru

Смирнов Михаил Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: sttmo@yandex.ru

Егоров Виталий Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: evp121@mail.ru

Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия

Вагизов Тагир Наилевич - кандидат технических наук, доцент кафедры общеинженерных дисциплин, e-mail: vagizov_tagir@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

CONCEPT OF MODERN TECHNOLOGY FOR PROCESSING LITTERLESS MANURE

P. A. Smirnov, E. P. Alekseev, M. P. Smirnov, V. P. Egorov, T. N. Vagizov

Abstract. Analysis of methods for utilizing by-products of livestock farming allowed us to develop a promising concept of accelerated technology for processing litterless manure as part of an organomineral mixture. The basis of the concept is the separation of liquid and solid fractions of litterless manure already in the barn and, accordingly, subsequent separate processing, disinfection and introduction of fractions. In this case, the sterility of the liquid fraction is taken into account, therefore, its introduction is allowed without disinfection and processing. The solid fraction undergoes successive disinfection, mixing with fillers, microelements and reducers of the decomposing enzyme medium, partially destroyed during disinfection (manure decomposition accelerators). Dilution of organomineral mixture with the liquid fraction of the litterless manure is allowed to improve movement along the communications of machines and distribution in the soil. Preliminary studies have shown unevenness of organomineral mixture decomposition in gray forest soil due to the heterogeneity of mixing, based on which the authors note the importance of this operation. However, for the design and development of such multi-component litterless manure mixers with fillers and other components, there is insufficient openly available information on the initial physical and mechanical parameters of organomineral mixture components. Therefore, the objective of the presented study is the consistent development of the concept of litterless manure utilization as part of organomineral mixture, methods for obtaining the initial data on the components for the practical development of machines for mixing and introducing various forms of manure. Thus, the main initial data of the components were obtained: - bulk density (meat and bone meal (MBM) - 547.2; litterless manure - 1051; “Bionex Anima” decomposition accelerators - 703; “Utilak for bedding” - 585 kg/m^3); - particle sizes for summer feeding (length-width-thickness) (3 ... 4) - 1.0-1.0 mm, for winter feeding - (4 ... 5) - 2.1-2.1 mm; - content of liquid fraction in MBM - 4.61%; in peat - 10.10%; in solid fraction

of litterless manure - 16.44%; - - angle of internal friction of MBM - 38.4°; peat - 37.18°; - friction coefficient peat-plywood - 0.969; peat-steel - 1.09; MBM - plywood 1.02 and others.

Key words: biologization, diversification, litterless manure, separate collection of manure, manure processing.

References

1. Polukhin AA, Zubareva KYu. [Development of organic farming in the Russian Federation and profitability of organic soybean production]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 6. 44-49 p.

2. "IFOAM-OrganicsInternational": official website. [cited 2023, December 19]. Available from: https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-05/poa_russian_web.pdf/.

3. Tarasov AN, Antonova NI, Tarasov AS. Kognitivnoe modelirovanie v upravlenii razvitiem selskikh territoriy. [Cognitive modeling in rural development management]. Azov: OOO "AzovPrint". 2019; 128 p. – ISBN 978-5-6043029-5-8.

4. Forecast of scientific and technological development of agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. [Internet]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation; National Research University Higher School of Economics. Moscow: NIU VShE. 2017; 140 p. [cited 2024, March 24]. Available from: https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz_APK_2030.pdf

5. Prokopeva EV. [Increasing the regenerative capacity of grasses depending on the cutting height during post-cut application of the liquid fraction of manure]. Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2019; 1(8). 112-119 p. DOI 10.17022/nm16-0s35.

6. Smirnov PA, Smirnov MP, Pushkarenko NN, Alekseev EP, Egorov VP. Rabochiy organ dlya vneseniya zhidkikh organicheskikh udobreniy. [Working unit for applying liquid organic fertilizers]. Patent No. 217154 U1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A01B 49/06 (2023.03), A01C 21/00 (2023.03), № 2022132280: declared 09.12.2022: published 21.03.2023. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State Agrarian University", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov". 7 p. scheme.

7. Smirnov PA, Terentev AG, Pushkarenko NN. [Energy-saving soil preparation for planting hops]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 4(64). 68-74 p. – doi:10.12737/2073-0462-2022-68-74.

8. Svod pravil SP 106.13330.2012. Zhivotnovodcheskie, ptitsevodcheskie i zverovodcheskie zdaniya i pomeshcheniya (aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.10.03-84). [Code of practice SP 106.13330.2012. Livestock, poultry and fur farming buildings and premises (updated version of SNiP 2.10.03-84)]. Moscow: Minregionrazvitiya RF. 2012; 19 p.

9. Bouhia Y, Hafidi M, Ouhdouch Y. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. [Internet]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2022; 426-446 p. [cited 2024, June 21]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/360501536_Conversion_of_waste_into_organo-mineral_fertilizers_current_technological_trends_and_prospects.

10. Abdulraheem M, Hu J, Ahmed S. Advances in the use of organic and organomineral fertilizers in sustainable agricultural production. [Internet]. IntechOpen. 2023; 1-20 p. [cited 2024, July 04]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/370325761 Advances in the Use of Organic and Organomineral_Fertilizers in_Sustainable_Agricultural_Production.

11. "Ecobakter": official website. [cited 2024, April 04]. Available from: https://ecobakter.ru/svinovodstvo?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=86288550&utm_content=16157319978&utm_term=-autotargeting&yclid=10027243289146294271/.

12. "Blessed agriculture" - products for processing manure: official website. [cited 2024, April 04]. Available from: https://blagodatmir.ru/catalog/udobreniya/udobreniya1/18330/#desc.

13. "Agroserver.ru" - biopreparations. Biocomposter of cow manure: official website. [cited 2024, April 04]. Available from: https://agroserver.ru/b/biokomposter-korovego-krs-navoza-264574.htm.

14. Iqbal N, Agrawal A, Dubey S. Role of decomposers in agricultural waste management. [Internet]. IntechOpen. 2020; 20 p. [cited 2023, December 20]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/344900173_Role_of_Decomposers_in_Agricultural_Waste_Management.

15. Meestera S, Demeyera J, Velgheb F. The environmental sustainability of anaerobic digestion as a biomass valorization technology. [Internet]. Bioresource Technology. 2012; Vol.121. 396-403 p. [cited 2024, August 10].

16. El-Nagar D and Mohammed R. Characterization and impact of cattle manure particle size on physical properties of sandy soils. [Internet]. Journal of Geosciences and Environmental Protection. 2019; Vol.7. 180-194 p. [cited 2024, February 20]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/335323144 Characterization_and_Impact_of Cattle_Manure_Particle_Size_on_Physical_Properties_of_Sandy_Soils.

17. Skorb II. [Analysis of physical and mechanical properties of liquid manure. Advanced technologies and technical support of agricultural production]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferetsii, Minsk, 30-31 marta 2017. Minsk: BGATU. 2017; 205-207 p.

18. Durdybaev SD. Utilizatsiya otkhodov zhivotnovodstva i ptitsevodstva: obzor. [Utilization of livestock and poultry waste: review]. Moscow: Agropromizdat. 1989; 56 p.

19. Smirnov PA. [Determination of the coefficient of dynamic viscosity and the application rate of liquid fractions of manure]. Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; 3(22). 119-125 p. DOI 10.48612/vch/r8k1-3bmh-1bvu.

Authors:

Smirnov Petr Alekseevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: smirnov_p_a@mail.ru

Alekseev Evgeniy Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: zhenia_alex@mail.ru

Smirnov Mikhail Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: sttmo@yandex.ru

Egorov Vitaliy Petrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes Department, e-mail: evp121@mail.ru

Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

Vagizov Tagir Nailevich - Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of General Engineering Disciplines, e-mail: vagizov_tagir@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-93-99
УДК 332.13

АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И В СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Ш. М. Газетдинов, М. Х. Газетдинов, О. С. Семичева, А. М. Абдулхаков

Реферат. В условиях цифровизации экономики аграрных формирований параллельно усиливается дифференциация сельских территорий, прежде всего, в разрезе возможностей отдельных из них обеспечивать тот или иной уровень социально-экономического развития и в том числе профессионального роста для проживающего на этих территориях населения. Исследования по Республике Татарстан показывают, что происходит перераспределение населения в пользу крупных городов, так население г. Казани увеличилось за последнее десятилетие на 10,6%, население г. Набережные Челны – на 4,6%. Численность сельского населения сокращалась, происходило обезлюдование сельских населенных пунктов. Это является результатом выявленных неоднозначных процессов: высококонцентрированное, точечно-локализованное трудоемкое производство стимулирует развитие крупных интегрированных форм хозяйствования; развитие средних и малых форм предпринимательства ориентировано на пространственно-дифференцированные поселенческие структуры; цифровизация в силу своей природы позволяет осуществлять управление процессами в сельских территориях на расстоянии. Выходом из этой ситуации является сбалансированное развитие сельских территорий, включающее количественное сохранение сети сельских поселений при её качественном совершенствовании, активизацию производственно-экономических процессов в территориальных системах, путем размещения в них филиалов крупных предприятий, ускорение жилищного строительства, создание развитой внутренней инфраструктуры и других мероприятий. Движение в рамках указанных направлений создает предпосылки для наиболее полной реализации социально-экономического потенциала сельских территорий и сдерживания миграционных процессов. Переход к цифровой экономике в сельском хозяйстве и в сельских территориях должен осуществляться за счет комплекса управляющих воздействий, используемого в системе управления социально-экономическим развитием страны, включающего проектирование, планирование, систему экономических рычагов и стимулов, правовые средства, а также информационное обеспечение.

Ключевые слова: сельская территория, цифровизация, аграрный сектор экономики, территориальная система.

Введение. Переход к цифровой экономике в сельском хозяйстве требует приведения в действие новых глубинных факторов экономического роста, связанных с повышением отдачи материальных, трудовых и природных ресурсов, действующего производственного аппарата, и, в особенности, существенного повышения производительности сельскохозяйственной техники, трудовой и социальной активности работников.

Это затрагивает не только формы и институциональные структуры аграрного сектора экономики – экономику аграрных формирований, организационную структуру управления, социальные институты сельских территорий, но и распространяется за пределы этих сфер – на всю жизнедеятельность сельского населения и условия его воспроизводства. Объектом пристального внимания становятся как специфические интересы, ожидания и предпочтения конкретных социально-демографических групп населения, их ценностные ориентации, мотивы социального поведения в области трудовой деятельности, потребления, проведения досуга и т.д., так и социально-экологическая среда, обуславливающая территориальные возможности воспроизводства и социального развития [1].

Именно от успешного продвижения в изучении этих аспектов функционирования субъектов аграрного сектора экономики зависит «величина» вклада экономической и информационно-технологической науки в решение многих проблем цифровизации и социального прогресса в сельской местности.

Научная новизна исследования состоит в развитии теоретико-методических подходов цифровизации экономики аграрного сектора на основе соблюдения принципа количественного сохранения сети сельских поселений при ее качественном совершенствовании.

В настоящее время в сельских территориях развиваются процессы совершенствования организации жизнедеятельности людей, меняющие роль и функции сельских муниципальных образований, направления формирования систем рабочих мест и предъявляющие новые требования к качеству среды проживания в целом. Локализуя производственный, образовательный и социально-культурный потенциал, сельские территории, в особенности сельские районные центры, формируют и определенный тип среды проживания, которая, в свою очередь, определяет в пространстве материально-вещественные, экологические, социальные и экономические условия жизнедеятельности [2]. Эти условия в зависимости от сложившегося уровня социально

-экономического развития сельских территорий и проводимых направлений социальной политики занятости населения, способствующие повышению качества, конкурентоспособности и профессиональной мобильности рабочей силы на рынке труда, сильно отличаются по территориям, которые в этом случае предоставляют проживающему в них населению неодинаковые условия выбора в названных сферах, разные возможности культурного развития и профессионального роста, а также общения [3].

В совокупности эти условия жизнедеятельности, определяемые территориально закрепленными различиями в качестве сельской местности, занимают центральное место в ряде человеческих потребностей. Успешность выравнивания различий в качестве среды проживания, в создании для населения относительно равных условий доступа к массовым материальным, духовным и культурным благам и услугам, к выбору профессии, содержательного труда и отдыха в соответствии с системой предпочтений разных социально демографических групп и независимо от места проживания становится одним из наиболее значимых долгосрочных факторов перехода к цифровой экономике в аграрном производстве и социальном развитии сельских территорий [4, 5].

В условиях перехода к цифровой экономике должно происходить выравнивание не только условий проживания в сельской местности, но и выравнивание для каждого человека, независимо от места проживания, возможности доступного выбора различных видов деятельности.

Вместе с тем комплексное развитие сельских территорий – это прослеживаемый процесс, протекающий на фоне взаимосвязанных с ним социально-экономических, территориально-производственных, культурологических и иных преобразований. Взятые в целом, в общей совокупности, все эти факторы составляют базу развития. Степень их влияния на процессы развития сельских территорий до настоящего времени недостаточно исследована. На современном этапе роль такого исследования резко возрастает, так как районные центры, а также крупные и небольшие сельские поселения все чаще становятся объектами планомерного развития. Целью управления их развитием в этом случае должна стать оптимизация сочетания запросов общественной практики в ее экономической, хозяйственной и социально-политической реальности с местными природно-экологическими, естественно-историческими, этнографическими и другими условиями конкретных поселений.

Целью данного исследования является определение степени и характера влияния трансформации, связанной с переходом к цифровой экономике, на жизнедеятельность населения сельских территорий и на условия его воспроизводства.

Условия, материалы и методы. Исследования проведены на материалах регионального и муниципального уровней Республики Татарстан (Россия) с использованием основных принципов системного анализа и синтеза, методов сравнения, монографического и экономико-статистического приемов анализа.

Предметом исследования стали проблемы методологии и практики цифровизации сельского хозяйства и развития сельских территорий.

Цифровизация сельского хозяйства и развитие сельских территорий происходит под влиянием множества факторов разного характера, с учетом которых в методологии научных исследований разработан и апробирован ряд подходов. При этом, безусловно, необходимость наилучшего сочетания общегосударственных интересов с местными потребностями и условиями всегда в той или иной мере учитывалась во всех преобразованиях, проведенных в сельском хозяйстве и в сельских территориях [6]. В то же время, следует отметить, возникающие при этом противоречия между текущими интересами отдельных предприятий агропромышленного комплекса, требованиями выигрыша времени в их становлении и развитии, наконец, общими требованиями отраслевой эффективности, с одной стороны, и местными интересами, с другой – вынужденно решались в пользу первых.

Кроме этого, связь между цифровизацией и модернизацией экономики является более сложной, чем прямое опосредование первой вторым. Нельзя забывать о большой инерции модернизации экономики, сочетании в ней экстенсивных и интенсивных тенденций и высокой степени вероятности длительного воздействия последних на цифровизацию [7].

В социально-экономическом и социально-культурном аспектах развитие сельских территорий, по сути дела, подвержено сохранению сети сельских поселений, тогда как цифровизация в своем развитии и в своих вариантах предопределяет оптимизацию путей модернизации экономики в исторически обозримый перспективный период функционирования общества [8].

Подход Белых В.С. и других авторов [9, 10] предполагает преобладание производственно-экономических критериев в предыдущих преобразованиях, вытекающих из централизованно-отраслевого принципа в организации управления агропромышленным комплексом при относительно суженном использовании территориального принципа.

Определенная нами цель исследования предполагает разработку методологических основ перехода к цифровой экономике

в сельском хозяйстве и развития сельских территорий, базирующихся на решении следующих задач:

- оценить, в какой мере сложившаяся структура сельскохозяйственного производства и инфраструктура сельских территорий в целом приспособлены к решению задач, возникающих в связи с переходом к цифровой экономике;
- определить возможные направления и реальные предпосылки развития цифровизации;
- определить основные направления и механизмы совершенствования управления в сельских территориях в соответствии с потребностями развития сельского хозяйства, других направлений экономики и социального прогресса.

Решение этих задач, по нашему мнению, должно лежать в принципиальных взглядах на развитие экономики в сельских территориях и на ее соотношение с цифровизацией. Как считают некоторые исследователи [11, 12], цифровизация неразрывно связана с переходом во времени и в пространстве от экстенсивной экономики к интенсивной.

На наш взгляд, принципиальное методологическое значение имеют следующие положения:

- экстенсивная экономика в аграрном секторе с ее высококонцентрированным, точечно-локализованным и трудоемким производством объективно стимулирует развитие крупных формирований, и особенно его интегрированные формы;
- интенсивной экономике, характеризующейся специализированным, пространственно-расчлененным и трудосберегающим производством, присущи развитие средних и малых форм предпринимательства, ориентация на пространственно-дифференцированные поселенческие структуры;
– цифровизация в силу своей инерционности достаточно долго сохранит отпечаток экстенсивных факторов экономического роста.

Результаты и обсуждение. Исследования по Республике Татарстан (Россия) пройденного этапа развития рыночных отношений, преимущественно экстенсивного экономического роста и присущего ему типа отраслевой и территориальной организации производства, выявили существенные изменения в сельских территориях. Численность сельского населения по республике в 2001 году составляла 999,4 тыс. чел., городского – 2787,5 тыс. чел. К 2023 году сельское население сократилось до 899,7 тыс. чел, или на 10%, городское – увеличилось до 2986,7 тыс. чел, или на 7,1 % [13]. Тенденции эти описываются следующими уравнениями:

$$У1 = 996215 – 5424{,}8\ t,\ R^2 = 0{,}969 \quad (1)$$

$$У2 = 3000000 + 259{,}07t + 629{,}93\ t^2,\ R^2 = 0{,}990 \quad (2)$$

где

У1 – численность сельского населения;
У2 – численность городского населения;
t – годы.

Полученные результаты показывают, что сокращение численности населения сельских территорий описывается линейным уравнением (1), при этом рост городского населения – нелинейным уравнением (2). При этом соответствующие коэффициенты корреляции показывают, что полученные уравнения достаточно точно описывают происходящие процессы.

При этом перераспределение населения происходило в пользу крупных городов республики (г. Казань и г. Набережные Челны). Если сравнивать данные Всероссийской переписи, проведенной в 2010 и 2020 годах население г. Казани, увеличилось с 1136,566 тыс. чел. до 1257,391, или на 120,825 тыс. чел. (10,6%), аналогичные процессы за эти годы произошли в г. Набережные Челны: население увеличилось с 510,301 тыс. чел. до 533,839 тыс. чел., или на 23,538 тыс. чел., что составляет 4,6% [13]. При этом численность населения небольших городов осталась на прежнем уровне или несколько уменьшилась. За годы развития рыночной экономики преимущественно экстенсивно развивалось малое и среднее предпринимательство, основанное на массовом новом сервисном обслуживании, индивидуальном строительстве и вовлечении в хозяйственный оборот ресурсов крупных предприятий, все это привело к появлению многочисленных новых рабочих мест в городах.

Сокращение численности сельского населения сопровождалось, в свою очередь, обезлюдованием многих сельских населенных пунктов. Во многих районах республики, прежде всего в Предволжской природно-экономической зоне, этот процесс в последнее время принял устойчивый характер и привел к «оголению» многих глубинных и окраинных территорий. В целом переход к рыночной экономике сопровождался систематическим снижением численности сельского населения на отдаленных территориях. Если к тому же учесть, что более 50% сельских районов Республики Татарстан не обеспечено по норме внутренними дорогами с твердым покрытием, то становится очевидным, что одним из последствий преимущественно ускоренного уменьшения сельского населения является весьма заметная опустошенность сельских территорий в республике [14]. Ускорению миграционных тенденций в сельских территориях способствовала недостаточная инфраструктурная, особенно транспортная, оснащенность сельской местности. Фактическая густота наземных и водных путей сообщения на единицу

сельских районов по сравнению с пригородными в республике примерно на порядок ниже. Сравнительная ограниченность в республике (три-четыре развивающихся города) числа «точек преимущественного роста» предопределяет другую характерную черту миграционных процессов – его достаточно выраженную узловую структуру.

Сочетание двух названных черт миграционных процессов – поляризация и наличие узловой структуры – проявилось в быстром росте двух агломераций в республике. Соответственно, по результатам исследований можно выделить три крупные проблемы миграционных процессов в республике.

Первая проблема отражает объективный факт значительной пространственной разобщенности природно-экономических зон в республике с присущей каждой из них концентрацией соответствующего экономико-ресурсного потенциала: в Казанской пригородной природно-экономической зоне – промышленность, переработка сельскохозяйственной продукции, в Набережночелнинской пригородной природно-экономической зоне – нефтехимическая промышленность, автомобилестроение, свободная экономическая зона «Алабуга» и др.

Другая крупная проблема возникает в связи с тем, что в условиях модернизации экономики и направления капиталовложений на цифровизацию уже действующих предприятий экономики, объективно способствует сохранению тенденции увеличения городского населения.

Третья проблема касается сельских территорий. Реально существующая пока автономность и заметная обособленность сельских территорий от городских сочетается с меньшим разнообразием и комфортом условий труда, быта и отдыха в сельской местности, малой развитостью в ней транспортных коммуникаций и т.п. Это обусловливает во многих районах республики отток трудоспособного сельского населения в города, усиливает дефицит трудовых ресурсов села.

По мнению зарубежных исследователей [15, 16], цифровые платформы являются инструментом новой эпохи и способны эффективно координировать развитие общества в пространстве и социальные связи. Однако, исследования показали, что применительно к региональному уровню проблемы, вставшие перед модернизацией экономики, требуют дальнейшего комплексного развития сельских территорий на более широкой территориально-производственной основе. Это влечет за собой настойчивую необходимость системной модернизации, адекватной новым экономическим и социальным условиям развития территории.

Модернизация производственно-экономических процессов, происходящая в сельских территориях, – важный фактор формирования цифровой среды, недооценка которого может существенно повлиять на достоверность не только экстраполяционных, но и целевых прогнозов. На современном этапе и в ближайшей перспективе цифровизация будет поддерживаться как традиционными экстенсивными, так и новыми интенсивными факторами развития сельского хозяйства и сельских территорий [17].

Поддерживаем мнение Грешонкова А.М. [1] о том, что цифровое неравенство между городскими и сельскими жителями связано с отсутствием потребности использовать интернет последними, ввиду образа жизни. На наш взгляд, потребности в информационном обеспечении появляются в условиях развития малого и среднего предпринимательства в сельских территориях. В свою очередь, экономические факторы, связанные с возможностью повышения эффективности малого и среднего предпринимательства в сельских территориях, требуют его дальнейшей кооперации и интеграции, развития процессов автоматизации и роботизации трудоемких производственных процессов, что влечет сокращение численности работников. Именно для сельских территорий характерна прямая зависимость между экономической эффективностью аграрного производства и численностью населения.

Положительный результат возможен и на первом этапе интенсивного действия новых цифровых факторов экономического роста. В силу сложности и опосредованности связи между развитием сельских территорий и цифровизацией процессов, происходящих в ней, и в результате перехода к рациональному использованию трудовых ресурсов далеко не всегда и далеко не автоматически цифровизация влияет на сдерживание роста миграционных процессов в сельской местности, так как в аграрном секторе экономики «человеческий фактор» подчас является причиной недостаточной эффективности производства. Корни такого положения кроются в недостаточном учете в политике стимулирования труда ориентации на его конечные результаты, включая меру и качество труда. Об этом свидетельствует «уравнительная» динамика заработной платы различных категорий высококвалифицированных работников относительно заработной платы работников [18].

Исследование первых результатов воздействия мероприятий по цифровизации производственных процессов в сельском хозяйстве и инфраструктуры в сельских территориях показывает, что эффективность проведенных работ зависит от тесноты связи с городами и зоны их влияния [19, 20]. Связано это, прежде всего, с высокой стоимостью цифрового и робототехнического оборудования, сложностью его установки и эксплуатации. Поэтому рентабельность такого оборудования определяется, с одной

стороны, возможностью его встраивания в высокопроизводительные технологические комплексы и наличием подготовленного контингента квалифицированной рабочей силы, качественно соответствующей требованиям автоматизированного производства, – с другой.

Высокая стоимость нового цифрового оборудования существенно понижает его экономическую эффективность, не позволяет полностью заменить человека на трудоемких стадиях производственного процесса, поэтому цифровое оборудование, в первую очередь, используется там, где необходимы высокая точность и качество работы. Этим и объясняется, по-видимому, существующий сегодня значительный разрыв в уровне механизации и автоматизации основных и вспомогательных работ, хотя высвобождение одного рабочего из основного производства требует в три-четыре раза больших затрат, чем из вспомогательного [21, 22].

Более того, техническая модернизация, связанная с частичной автоматизацией производства, высвобождая одни категории рабочих, приводит к возрастанию спроса на другие категории. И лишь с переходом к комплексно-автоматизированному производству, при котором все основные и вспомогательные операции выполняются оборудованием, необходимость во вспомогательных работниках полностью ликвидируется. Проблема, однако, в том, что производственные процессы в аграрном секторе трудно поддаются комплексной автоматизации.

Соответственно трудности, с которыми сталкиваются при цифровизации те или иные производственно-технологические и социально-экономические процессы в сельских территориях с дискретным характером производства, носят объективный характер и связаны со спецификой их технологических процессов. Большая часть ручных работ не имеет в настоящее время технических решений.

В обозримой перспективе даже при условии широкого внедрения цифровых технологий в растениеводстве и животноводстве можно рассчитывать лишь на весьма умеренное высвобождение в результате модернизации вспомогательных рабочих, а, следовательно, и на столь же умеренное увеличение дополнительных трудовых ресурсов в других сферах сельских территорий. В результате все эти факторы способны оказывать разнонаправленное, но невсегда ограничительное воздействие на рост миграционных процессов в сельских территориях.

Вместе с тем перспективная система комплексного устойчивого развития сельских территорий в стране, с огромным диапазоном различий в сети сельских поселений, позволяет избежать противопоставления с городами.

Современный этап развития требует поиска новых путей и средств регулирования развития сельских территорий. В их числе прежде всего – стимулирование планово-регулируемой субурбанизации, формирование на базе крупных районных центров и малых городов территориальных систем сельских поселений.

Считаем, активизация производственно-экономических процессов в этих территориальных системах, путем размещения в них филиалов крупных предприятий, ускорения жилищного строительства, создания развитой внутренней инфраструктуры и других мероприятий обеспечит сбалансированное развитие сельских поселений, приведет к относительному выравниванию условий размещения и функционирования субъектов малого и среднего предпринимательства, жизнедеятельности населения. В результате, будут созданы благоприятные предпосылки для эффективного использования социально-экономического потенциала сельских территорий при одновременном сдерживании роста миграционных процессов.

Выводы. Таким образом, считаем недостаточным для реализации политики перехода к цифровой экономике в сельском хозяйстве и в сельских территориях использование отдельных управляющих воздействий, например, рационального размещения производства или совершенствования форм и методов территориального планирования. Наоборот, в управлении цифровизацией экономики сельских территорий должен использоваться весь комплекс управляющих воздействий, используемый в системе управления социально-экономическим развитием страны, необходимый и достаточный для реализации его целей, который включает информационное и правовое обеспечение, проектирование, планирование, а также систему экономических рычагов и стимулов. Задача состоит в более явном выделении соответствующих специализированных взаимодополняющих функций для каждого из методов на различных уровнях территориальной и отраслевой иерархии, в отработке механизма и процедур их взаимодействия между собой, а также с другими управляющими структурами в процессе социально, культурно и экологически сбалансированной интенсификации производства. В этом плане приобретают особое значение конкретные организационно-экономические механизмы, такие как кооперативные, договорные отношения между предприятиями и местными органами управления. При этом важно укрепить хозяйственный механизм развития социальной инфраструктуры на основе рационального сочетания средств государства, предприятий и населения.

Литература

1. Грешонков А.М. Стратегия модернизации сельского хозяйства в условиях перехода к цифровой экономике // Организатор производства. 2022. Т.30. № 1. С. 113-120.
2. Дорофеева А.Е., Полушкина Т.М. Оценка эффективности использования природно-ресурсного потенциала территории // Агропродовольственная экономика. 2017. № 2. С. 113-122.
3. Чайникова Л. Н., Мирзабалаев Р.В. Развитие кадрового потенциала сельского хозяйства как фактор сокращения диспропорций на рынке труд // АПК: Экономика, управление. – 2025. – № 1. – С. 108-114.
4. Ефимова Л.А. Доходы сельского населения – индикатор развития человеческого капитала в сфере труда аграрного сектора экономики // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий.2022. № 5. С. 39-45.
5. Авдеева Т. Т., Зелинская М. В., Кудряков В. Г. Управление пространственным развитием сельских территорий на основе создания сельских агломераций // АПК: Экономика, управление. 2024. № 7. С. 103-114.
6. Мурашова Н. В., Коваленко Е. Г. Концепция цифровой трансформации сельских территорий // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 1. С. 99-103.
7. Клочкова Е.Н., Прохоров П.Э. Определение цифровой экономики для целей статистического исследования // Вопросы статистики. 2020. № 27(4). С. 66-79.
8. Проблемы и перспективы социально-экономического развития сельских территорий: региональный аспект. – М.: Издание Государственной Думы, 2021. 320 с.
9. Белых, В. С. Модернизация экономики: понятие, цели и средства // Журнал «Бизнес, менеджмент и право». 2017. № 1. С. 94-98.
10. Алгоритм проектирования производства сельскохозяйственной продукции / Д.И. Файзрахманов, Ю.И. Матяшин, Б.Г. Зиганшин, Р.И. Сафин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2008. Т. 3. № 2(8). С. 157-162.
11. A multi-criteria approach to assessing the effectiveness of the creation and development of integrated agricultural formations / S.M. Gazetdinov, M.K. Gazetdinov, O.S. Semicheva, P.B. Akmarov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe. 2022. P. 012097.
12. Механизмы решения демографических проблем устойчивого развития сельских территорий / Е.Г. Коваленко, О.Ю. Якимова, Б.Г. Зиганшин, Ш.М. Газетдинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 168-177.
13. Территориальный орган Федеральный службы государственной статистики по Республике Татарстан: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tatstat.gks.ru, свободный.
14. Газетдинов, М.Х. Механизмы влияния социально-экономических факторов сельских территорий на результаты аграрного производства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 2 (66). С. 119-123.
15. Bandara O., Vidanagamachchi K., Wickramarachchi R. A Model for assessing maturity of Industry 4.0 in the banking sector. In: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok. Thailand, 2019, March 5-7, pp. 1141-1150.
16. Fernández-Macías E. Automation, Digitalisation and Platforms: Implications for Work and Employment. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018.
17. Основные тренды роста регионального сельского хозяйства: от объемов к устойчивости / Ф.Н. Мухаметгалиев, А.Р. Валиев, Л.Ф. Ситдикова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1(73). С. 117-123.
18. Михайлова, Л.В., Мухаметгалиев Ф.Н., Валиев А.Р. Фермерство в Республике Татарстан: их роль в системе аграрного бизнеса и тенденция развития // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 148-153.
19. Ахметов В.Я., Галикеев Р.Н. Перспективы социально-экономического развития сельских территорий в условиях цифровизации экономики // Вестник Евразийской науки. 2019. № 6. https://esj.today/PDF/03ECVN619.pdf (доступ свободный).
20. Меренкова И. Н. Теоретико-методические аспекты мониторинга экономического пространства сельских территорий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2(81). С. 149-158. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2024_2_149.
21. Modern problems of digitalization of agricultural production / N.F. Kashapov, M.M. Nafikov, M. Kh. Gazetdinov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012044.
22. Воротников И. Л., Петров А. Ю., Шмелев А. П. Организационно-экономические основы формирования и развития цифрового технологического уклада аграрной экономики России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2(81). С. 159-167. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2024_2_159.

Сведения об авторах:

Газетдинов Шамиль Миршарипович – кандидат экономических наук, заведующий кафедрой цифровых технологий и прикладной информатики, e-mail: gazetdinov.shamil@yandex.ru

Газетдинов Миршарип Хасанович – доктор экономических наук, профессор кафедры цифровых технологий и прикладной информатики, e-mail: mirsharip@yandex.ru

Семичева Ольга Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры цифровых технологий и прикладной информатики, e-mail: ms.o.semicheva@mail.ru

Абдулхаков Артур Маратович – аспирант[1], экономист[2], e-mail: a.abdulhakov@gmail.com

[1]Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

[2]Муниципальное унитарное предприятие ПАТП №2, Казань, Россия

ASPECTS OF THE TRANSITION TO A DIGITAL ECONOMY IN AGRICULTURE AND RURAL AREAS

Sh. M. Gazetdinov, M. Kh. Gazetdinov, O. S. Semicheva, A. M. Abdulkhakov

Abstract. In the context of digitalization of the economy of agrarian formations, the differentiation of rural areas is intensifying, primarily in terms of the ability of individual rural areas to ensure a certain level of socio-economic development, including professional growth for the population living in these areas. Research in the Republic of Tatarstan shows that there is a redistribution of the population in favor of large cities, so the population of Kazan has increased by 10.6% over the past decade, the population of Naberezhnye Chelny - by 4.6%. The rural population has been declining, and rural settlements are becoming depopulated. This is the result of the identified ambiguous processes: highly concentrated, point-localized labor-intensive production stimulates the development of large

integrated forms of management; the development of medium and small forms of entrepreneurship is focused on spatially differentiated settlement structures; digitalization, by its nature, allows for the management of processes in rural areas at a distance. The way out of this situation is the balanced development of rural areas, including the quantitative preservation of the network of rural settlements with its qualitative improvement, the activation of production and economic processes in territorial systems by placing branches of large enterprises in them, accelerating housing construction, creating a developed internal infrastructure and other measures. Movement within the framework of these directions creates the prerequisites for the most complete realization of the socio-economic potential of rural areas and the containment of migration processes. The transition to a digital economy in agriculture and in rural areas should be carried out through a set of control actions used in the country's socio-economic development management system, including design, planning, a system of economic levers and incentives, legal means, as well as information support.

Key words: rural area, digitalization, agricultural sector of the economy, territorial system.

References

1. Greshonkov AM. [Strategy for modernization of agriculture in the context of transition to a digital economy]. Organizator proizvodstva. 2022; Vol.30. 1. 113-120 p.

2. Dorofeeva AE, Polushkina TM. [Assessment of the efficiency of using the natural resource potential of the territory]. Agroprodovolstvennaya ekonomika. 2017; 2. 113-122 p.

3. Chaynikova LN, Mirzabalaev RV. [Development of human resources potential of agriculture as a factor in reducing imbalances in the labor market]. APK: Ekonomika, upravlenie. 2025; 1. 108-114 p.

4. Efimova LA. [Income of the rural population - an indicator of human capital development in the sphere of labor of the agricultural sector of the economy]. Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2022; 5. 39-45 p.

5. Avdeeva TT, Zelinskaya MV, Kudryakov VG. [Management of spatial development of rural areas based on the creation of rural agglomerations]. APK: Ekonomika, upravlenie. 2024; 7. 103-114 p.

6. Murashova NV, Kovalenko EG. [Concept of digital transformation of rural areas]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 1. 99-103 p.

7. Klochkova EN, Prokhorov PE. [Definition of the digital economy for the purposes of statistical research]. Voprosy statistiki. 2020; 27(4). 66-79 p.

8. Problemy i perspektivy sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya selskikh territoriy: regionalnyy aspekt. [Problems and prospects of social and economic development of rural areas: regional aspect]. Moscow: Izdanie Gosudarstvennoy Dumy. 2021; 320 p.

9. Belykh VS. [Modernization of the economy: concept, aims and means]. Zhurnal “Biznes, menedzhment i parvo”. 2017; 1. 94-98 p.

10. Fayzrakhmanov DI, Matyashin YuI, Ziganshin BG, Safin RI. [Algorithm for designing agricultural production]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2008; Vol.3. 2(8). 157-162 p.

11. Gazetdinov SM, Gazetdinov MK, Semicheva OS, Akmarov PB. A multi-criteria approach to assessing the effectiveness of the creation and development of integrated agricultural formations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe. 2022; 012097 p.

12. Kovalenko EG, Yakimova OYu, Ziganshin BG, Gazetdinov ShM. [Mechanisms for solving demographic problems of sustainable development of rural areas]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 168-177 p.

13. Territorialnyy organ Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Respublike Tatarstan: ofitsialnyy sait. [Territorial body of Federal State Statistics Service for the Republic of Tatarstan: official website]. Available from: http://www.tatstat.gks.ru (free).

14. Gazetdinov MKh. [Mechanisms of influence of social and economic factors of a rural areas on the results of agricultural production]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 2(66). 119-123 p.

15. Bandara O, Vidanagamachchi K, Wickramarachchi R. A model for assessing maturity of industry 4.0 in the banking sector. in: proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok. Thailand. 2019; March 5-7. 1141-1150 p.

16. Fernandez-Macias E. Automation, digitalisation and platforms: implications for work and employment. Luxembourg: publications office of the European Union, 2018.

17. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Sitdikova LF. [The main trends in the growth of regional agriculture: from volumes to sustainability]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 1(73). 117-123 p.

18. Mikhaylova LV, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Farming in the Republic of Tatarstan: its role in the agricultural business system and development trends]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2(74). 148-153 p.

19. Akhmetov VYa, Galikeev RN. [Prospects for social and economic development of rural areas in the context of digitalization of the economy]. Vestnik Evraziyskoy nauki. 2019; 6. Avaialble from: https://esj.today/PDF/03ECVN619.pdf (free).

20. Merenkova IN. [Theoretical and methodological aspects of monitoring the economic space of rural areas]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 2(81). 149-158 p. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2024_2_149.

21. Kashapov NF, Nafikov MM, Gazetdinov MKh. Modern problems of digitalization of agricultural production. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019; 012044 p.

22. Vorotnikov IL, Petrov AYu, Shmelev AP. [Organizational and economic foundations for the formation and development of the digital technological structure of the agrarian economy of Russia]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 2(81). 159-167 p. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2024_2_159.

Authors:

Gazetdinov Shamil Mirsharipovich – Ph.D. of Economic Sciences, Head of Department of Digital Technologies and Applied Informatics, e-mail: gazetdinov.shamil@yandex.ru

Gazetdinov Mirsharip Khasanovich - Doctor of Economics, Professor of Department of Digital Technologies and Applied Informatics, e-mail: mirsharip@yandex.ru

Semicheva Olga Sergeevna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Department of Digital Technologies and Applied Informatics, e-mail: ms.o.semicheva@mail.ru

Abdulkhakov Artur Maratovich – post-graduate student[1], Economist[2], e-mail: a.abdulhakov@gmail.com

[1]Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

[2]Municipal Unitary Enterprise PATP No. 2, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-100-108
УДК 332.1

ВЛИЯНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТЕРМИНАЛЬНО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ РЕГИОНА

И. В. Додорина, Е. В. Черняев

Реферат. В настоящее время по всему миру создана развитая терминально-складская система (ТСС), которая включает высоко дифференцированные логистические решения, такие как индустриальные парки (ИП). Они выступают движущей силой экономики своих регионов, которые потенциально влияют на региональный уровень безработицы, валовой региональный продукт (ВРП) и создание рабочих мест, инвестиционную привлекательность и объемы торговли. ИП применяют современные технологии и инновации в производственных процессах, создают условия для развития малых и средних предприятий, а значит, положительно влияют на конкурентоспособность, производительность труда и увеличение занятости, создают базу для развития экономического потенциала региона. Расположенные в 72 регионах России индустриальные парки, обеспечивают удобный доступ к крупным городским агломерациям и рынкам сбыта продукции. Большая часть ИП приходится на Центральный (ЦФО) и Приволжский федеральные округа (ПФО). Сохраняется баланс между отечественными и иностранными инвестициями в развитие ИП, но с 2020 по 2023 год наблюдается тенденция усиления позиций российских инвесторов. Объем инвестиций в развитие ИП увеличивается с каждым годом по всем ФО. За последние несколько лет в РФ на 4,1 тыс. предприятиях-резидентах создано 340 тыс. рабочих мест, в ПФО на 1,9 тыс. таких предприятиях организовано 123,2 тыс. рабочих мест, что косвенно отражает назначение индустриальных парков в контексте развития региональной экономики. Общий объем ВРП РФ в номинальном и суммарном выражении за 2020-2023 год увеличился по всем субъектам. Активнее реализовывая проекты по созданию ИП, привлекая средства для осуществления первоначальных инвестиций в развитие инфраструктуры, активно помогая и поддерживая такие проекты руководством региона, четко прорабатывая концепцию создания и развития ИП можно достичь значительного роста экономического потенциала каждого региона.

Ключевые слова: потенциал терминально-складской системы, индустриальный парк, экономический рост региона, инвестиционная привлекательность, региональное экономическое развитие.

Введение. За последние десятилетия появилось большое разнообразие грузовых перевозок и логистических объектов. Контейнеризация, околошоринг, аутсорсинг транспортной и логистической деятельности, совершенствование информационных технологий и международная стандартизация, глобальное снабжение, усиление мер безопасности и защищенности в цепочках поставок, устойчивый транспорт и сокращение жизненного цикла продукции – это лишь некоторые из наиболее важных изменений в логистике и транспортной отрасли, которые существенно влияют на набор и качество услуг, предлагаемых ТСС. За это время изменились способы упаковки, хранения и транспортировки товаров, и поэтому спрос на различные услуги приводит к высоко дифференцированным логистическим решениям, такими как индустриальные парки (ИП). В результате тесной связи между интегрированными логистическими услугами и удовлетворением клиентов приводит не только к первоначальному принятию их концепции, но и оправдывает их постоянное развитие.

В настоящее время по всему миру создана развитая терминально-складская система (внутренние таможенные склады, интермодальные грузовые центры, логистические центры, сухие порты, внутренние и интермодальные терминалы, распределительные центры и другие), которая положительно влияет не только на общее качество транспортных услуг, но и на экономику своих регионов [1].

Совместно используя свои инфраструктурные и функциональные ресурсы, ИП предлагают как высокое качество и частоту транспортных услуг, так и постоянную складскую мощность в режиме реального времени. В связи с тем, что компании тратят много средств, чтобы повысить свою гибкость в условиях постоянно изменчивого спроса на рынках, их главная цель – получить преимущество за счет прямого или косвенного взаимодействия с ИП.

Несмотря на экономические проблемы изменчивой бизнес-среды многие страны уже расширили свои транспортные и логистические услуги, включая в свою транспортную систему как бимодальные, так и тримодальные внутренние терминалы и ИП.

Современные теории регионального развития, которые классифицируются как институциональные теории, опираются на ранее разработанные теории и подчеркивают необходимость поддержки создания преимущественно малых и средних компаний (поскольку малые и средние компании способны быстро реагировать на бизнес-потребности рынка), создавая и изменяя бизнес-климат в регионе. С другой стороны, на развитие региона влияет их социально-экономическая специализация, развитие ИП. В мировой практике ИП прошли несколько этапов развития, и сейчас можно говорить о нескольких поколениях индустриальных парков.

ИП первого поколения, построенные

в 1970-х годах, отличаются от других поколений довольно упрощенной архитектурой. В каждом новом поколении она усложнялась, полнее использовалась территория, расширялся портфель услуг, увеличивалось количество административного персонала и работников.

ИП, несомненно, оказывают положительное влияние на бизнес в регионе, где они расположены. Они выгодны тем, что применяют современные технологии и инновации в производственных процессах, при выпуске товаров более высокого класса, кроме того, регион получает прибыль от иностранных компаний, расположенных в парках, поскольку они привносят в регион экономический и инновационный потенциал или хорошо зарекомендовавшие себя на международном уровне ноу-хау и, таким образом, поддерживают процесс реконструкции и модернизация промышленности и одновременно покрытие высокого дефицита торгового баланса.

Еще одним положительным моментом существования ИП является то, что он создает условия для развития малых и средних предприятий и их сотрудничества с субъектами внешнеэкономической деятельности, а значит, положительно влияет на конкурентоспособность, производительность труда и увеличение занятости.

Немаловажно и влияние ИП на общее развитие региона. Очевидно, что от ИП нельзя ожидать немедленных результатов, тем не менее, можно предсказать, что создаваемые рабочие места или передача технологий между компаниями приведут к синергетическому эффекту. Концентрация некоторых видов компаний может привлечь в регион многих инвесторов, что приведет к необходимости набора новых сотрудников.

Цель данного исследования является выявление потенциала ТСС, сконцентрированного на площадках ИП субъекта РФ на экономический рост региона.

Условия, материалы и методы. Многие экономисты глубоко исследовали роль ТСС как генератора экономического роста. Несмотря на то, что существует широкий спектр различных методических исследований о влиянии ТСС на повышение эффективности экономической системы региона, наблюдается заметный дефицит методов оценки ее роли как инициаторов и стимуляторов региональной экономической деятельности. Уже существующая теоретическая база такого утверждения представляется совершенно недостаточной. Обзор литературы позволил выяснить, что ТСС может выступать в качестве основных катализаторов регионального экономического роста [2]. Конкретно, объединение хорошо организованной и развитой логистической и транспортной деятельности в определенной области может создать как существенные преимущества, так и долгосрочные экономические выгоды.

Параллельно с основной и более широкой ролью ТСС как пропагандиста интермодальных перевозок существует также дополнительная и не менее важная их роль как инициаторов регионального экономического развития. Кроме того, агломерация компаний с интенсивными логистическими операциями в определенном месте не только дает этим компаниям определенные конкурентные преимущества, но и вносит существенный вклад в экономический рост в регионах их расположения. Такими площадками являются региональные индустриальные парки (ИП), которые создают базу для развития экономического, интеллектуального и промышленного потенциала региона, импортозамещения, увеличения налоговых поступлений в бюджеты всех уровней. Инфраструктура ИП относится к логистической, так как включает в себя склады класса А и В, распределительные центры российских компаний, маркетплейсов.

ИП выступают движущей силой экономики своих регионов, которые потенциально влияют на региональный уровень безработицы, валовой региональный продукт (ВРП) и создание рабочих мест, инвестиционную привлекательность и объемы торговли (региональный импорт/экспорт). Уровень безработицы и ВРП можно охарактеризовать как наиболее характерные экономические показатели регионов. Инвестиционная привлекательность иллюстрирует общую привлекательность внутренних и иностранных инвестиций для каждого региона [3].

Проведенный анализ основных показателей социально-экономического развития по субъектам ПФО позволил провести корреляционный анализ для выявления потенциала ТСС на экономический рост региона, объекты которой функционируют на площадке индустриальных парков субъекта РФ и сделать сравнительный анализ потенциала ТСС методом рейтинговых оценок.

Результаты и обсуждение. Индустриальные парки обеспечивают превосходную институциональную основу, дополнительные услуги и качественную инфраструктуру в индивидуальном порядке. Они способствуют размещению необходимых инвестиций, увеличению занятости населения, росту конкурентоспособности, стабильным бизнес-стратегиям и региональному экономическому развитию. Они создают среду для использования новых технологий, обучения и инноваций, рабочих мест и рынков и, в конечном итоге, консолидации существующих отраслей и создания новых, чтобы выйти на более жизнеспособную и устойчивую основу [4].

Расположенные в 72 регионах России индустриальные парки, обеспечивают удобный доступ к крупным городским агломерациям и рынкам сбыта продукции. Большая часть из них приходится на Центральный (ЦФО) и Приволжский федеральные округа (ПФО) (рис. 1). Далее в рейтинге

Северо-Западный (СЗФО), Сибирский (СФО), Уральский (УФО) Северо-Кавказский (СКФО), Южный (ЮФО) и Дальневосточный федеральные округа (ДФО).

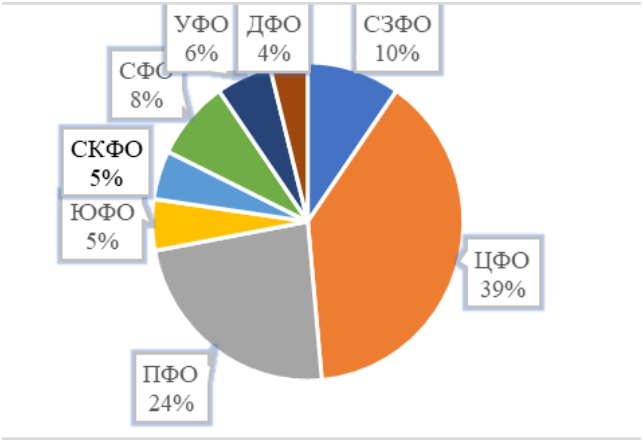


Рис. 1 - Структура индустриальных парков по федеральным округам в 2023 году

В этом отношении между ФО можно наблюдать существенные различия: если в некоторых субъектах только еще определяются с соответствующими территориями, то в других растущие потребности заставили несколько раз расширять индустриальные парки.

В настоящее время, еще сохраняется баланс между отечественными и иностранными инвестициями в развитие ИП. Но с 2020 по 2023 год наблюдается тенденция усиления позиций российских инвесторов (рис. 2). В результате влияния экономических санкций доля иностранных компаний-резидентов в ИП тоже продолжает снижаться. В 2023 году доля иностранных резидентов составляла всего 7% против 93% российских. Отечественные компании представлены средним и малым бизнесом, с объемом инвестиций не более 200 млн. руб. на одного резидента. Но ситуация меняется: крупные российские производители чаще отдают предпочтение организованным площадкам ИП. Объем инвестиций в развитие ИП ПФО составляет около 14% от объема таких инвестиций РФ.

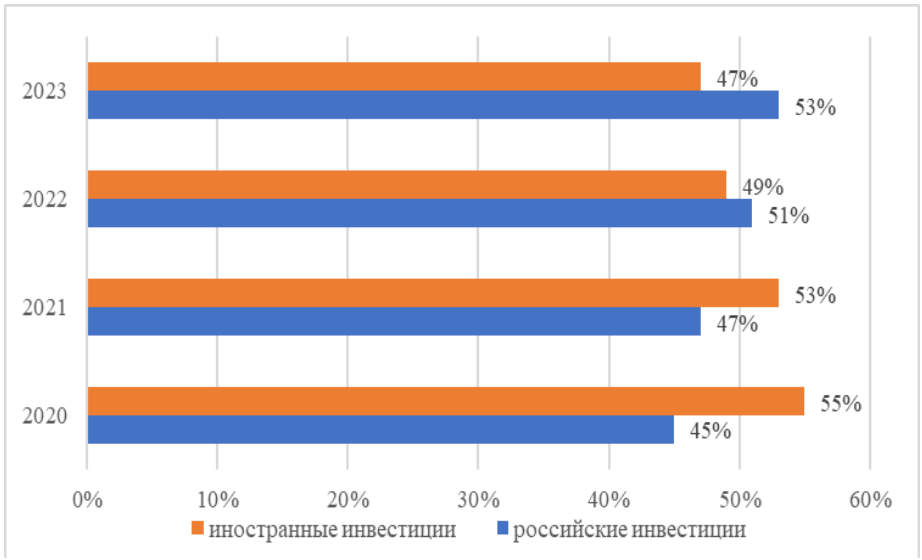


Рис. 2 - Структура российских и иностранных инвестиций в развитие ИП

Предприятия, функционирующие в индустриальных парках, являются важными субъектами местной экономики (особенно это касается фирм, в которых занято большее количество людей), и такая ситуация, скорее всего, сохранится и в следующие 4-5 лет.

Создавая рабочие места и увеличивая инвестиции в логистическую инфраструктуру, индустриальные парки развивают экономику не только региона, но и страны. Так, за последние несколько лет в РФ на 4,1 тыс. предприятиях-резидентах создано 340 тыс. рабочих мест, в ПФО на 1,9 тыс. таких предприятиях организовано 123,2 тыс. рабочих мест, что косвенно отражает назначение индустриальных парков в контексте развития региональной экономики. По ПФО за 2020-2023 год наблюдаются снижение уровня безработицы (УБ) по всем его субъектам (рис. 3).

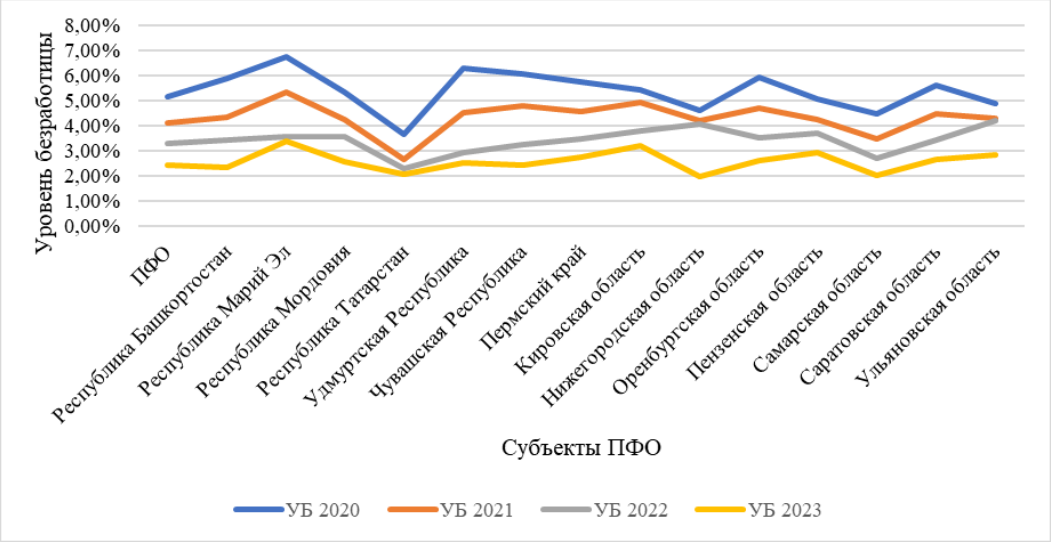


Рис. 3 - Динамика уровня безработицы ПФО

После тщательного рассмотрения статистических данных можно подтвердить общее увеличение концентрации занятости в секторе транспортировки и хранения как для РФ, так и по субъектам ПФО (табл. 1). Исключением являются Удмуртская Республика и Пермский край, где в 2023 году по сравнению с 2022 годом произошло снижение доли занятых в этом секторе за счет ухудшения демографической ситуации.

Таблица 1 – Концентрация занятости в секторе «Транспортировка и хранение»

Субъекты	Удельный вес, %			
	2020	2021	2022	2023
РФ	7,4	7,6	7,77	7,82
ПФО	6,46	6,46	6,83	7,07
Республика Башкортостан	5,49	5,53	5,84	6,19
Республика Марий Эл	4,46	4,67	4,91	4,92
Республика Мордовия	5,21	5,19	5,36	5,77
Республика Татарстан	7,22	7,17	7,45	8,12
Удмуртская Республика	5,93	5,95	6,34	6,16
Чувашская Республика	3,72	3,86	4,31	4,47
Пермский край	7,46	7,39	7,89	7,56
Кировская область	5,26	5,59	6,18	6,59
Нижегородская область	5,94	5,97	6,74	6,93
Оренбургская область	6,60	6,56	7,52	7,64
Пензенская область	5,80	5,80	6,63	6,66
Самарская область	8,38	8,32	8,44	8,98
Саратовская область	7,56	7,53	7,14	7,03
Ульяновская область	5,83	5,83	5,93	6,28

ВРП по-прежнему остается основным индикатором уровня регионального социально-экономического развития. Динамика общего ВРП РФ и ПФО представлена в таблице 2 и показывает его рост за 2020-2023 годы. Общий объем ВРП РФ в номинальном выражении увеличился за анализируемый период на 76630,8 млрд. руб. В суммарном выражении по всем субъектам РФ за анализируемый период ВРП увеличился в 1,8 раза, а в ПФО – в 1,5 раза.

Таблица 2 - Динамика ВРП за 2020-2023 год, млрд. руб.

Республика/ область/ край	2020	2021	2021/2020, %	2022	2022/2021, %	2023	2023/2022, %
РФ	94410,2	121183,0	128,36	140 670,8	116,08	171041	121,59
ПФО	13655,4	15963,18	116,90	19664,6	123,19	20188	102,66
Кировская	396,9	452,7	114,06	554,6	122,51	575,1	103,70
Нижегородская	1 600,30	1730,6	108,14	2287,9	132,20	2390	104,46
Оренбургская	1 046,70	1239	118,37	1571,4	126,83	1500	95,46
Пензенская	484,8	586	120,87	592,9	101,18	593	100,02
Пермский	1 385,40	1400	101,05	2002,8	143,06	1800	89,87
Башкортостан	1 694,20	2 059,4	121,56	2242,6	108,90	2544	113,44
Марий Эл	198	214	108,08	262	122,43	247,7	94,54
Мордовия	266,4	299,8	112,54	342,6	114,28	361,5	105,52
Татарстан	2 631,30	3400	129,21	4179,3	122,92	4153,7	99,39
Самарская	1 625,50	1 969,6	121,17	2378,5	120,76	2800	117,72
Саратовская	856,5	984,8	114,98	1194	121,24	1300	108,88
Удмуртская	684,4	790,68	115,53	965,7	122,14	956	99,00
Ульяновская	439	484,6	110,39	588,8	121,50	571	96,98
Чувашская	346	352	101,73	501,5	142,47	396	78,96

Стабильность экономического развития обеспечивает положительная динамика ВРП в секторе «Транспортировка и хранение» (ТХ): рост в РФ в 1,7 раза и в ПФО в 1,6 раза за 2020-2023 год. Структура ВРП по данному виду экономической деятельности (ВЭД) в РФ за анализируемый период увеличилась с 7 до 7,5%, в ПФО с 5,8 до 6,4% (рис. 4).

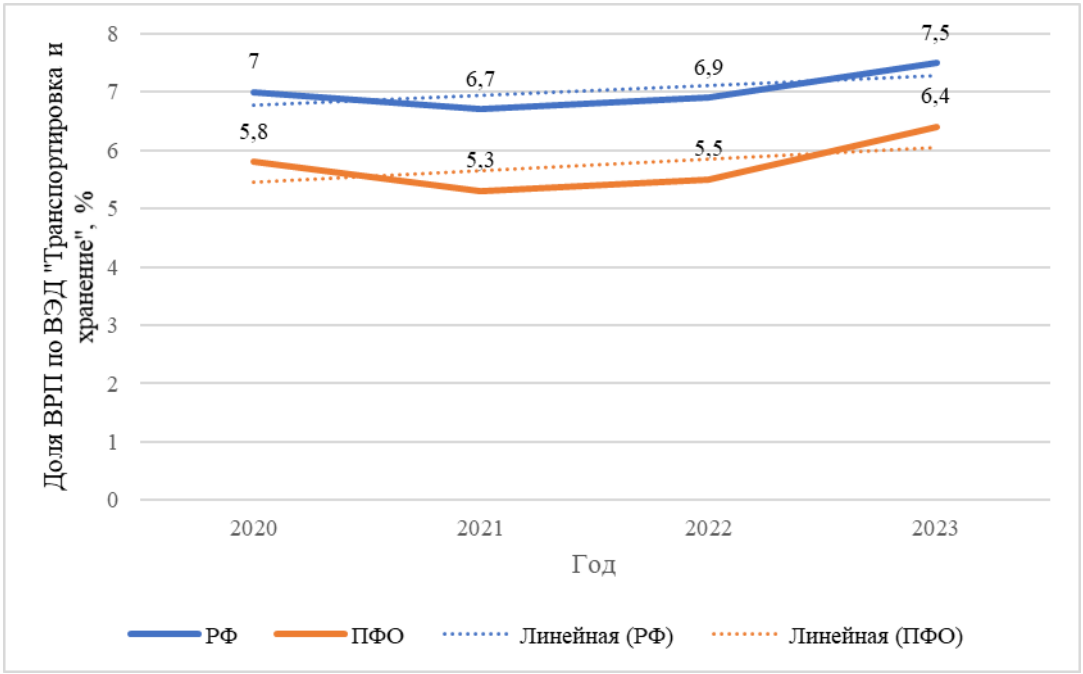


Рис.4 - Динамика структуры ВРП по сектору «Транспортировка и хранение»

Еще одним важным фактором экономического роста региона является капитал инвестиций, который проанализирован на примере РФ и ПФО (табл. 3). Положительная динамика роста свидетельствует о том, что РФ и ПФО движутся по пути экономического роста за счет увеличения своего капитал, который в последнее время активно распределяется и инвестируется в сектор «Транспортировка и хранение».

Таблица 3 – Динамика инвестиций в основной капитал и сектор «Транспортировка и хранение»

Республика/ область/ край	Инвестиции, млрд. руб.									
	2021 год		2022 год		2023 год		Абсолютное изменение 2023/2021		Относительное изменение 2023/2021, %	
	всего	ТХ	всего	ТХ	всего	ТХ	всего	ТХ	всего	ТХ
РФ	17 690	3226,4	21 829	4219,8	34 036	4963,7	16 346	1737,3	192,40	153,85
ПФО	2073,3	314,2	2 565,2	601,4	4830,2	778,92	2 757	464,72	232,97	247,90
Кировская	52,1	6,9	59,2	8,6	106,24	10,4	54	3,5	203,92	150,72
Нижегородская	265,6	33,7	462,1	164,5	686,93	226,7	421	193	258,63	672,70
Оренбургская	149,3	15,3	179,5	24,9	293,4	32,5	144	17,2	196,52	212,42
Пензенская	53,8	9,1	60,3	12,7	121,81	13,6	68	4,5	226,41	149,45
Пермский	242,2	21,8	290,2	33,02	370,3	49,5	128	27,7	152,89	227,06
Башкортостан	247,9	45,6	305,6	53,25	620	58,575	372	12,975	250,10	128,45
Марий Эл	22,2	2,9	25,5	3,3	52,23	3,63	30	0,73	235,27	125,17
Мордовия	41,1	6,6	48,6	12,7	74,1	13,97	33	7,37	180,29	211,67
Татарстан	451,2	59,4	597,5	143,9	1180,4	158,29	729	98,89	261,61	266,48
Самарская	264,8	66,6	306,6	97,8	516,6	107,58	252	40,98	195,09	161,53
Саратовская	123,1	27,5	149,9	42,5	286,54	46,75	163	19,25	232,77	170,00
Удмуртская	70,3	5,9	85,96	8,3	166,3	9,13	96	3,23	236,56	154,75
Ульяновская	50,2	7,6	56,7	7,7	120,8	8,47	71	0,87	240,64	111,45
Чувашская	39,5	5,2	71,6	36,2	123,4	39,82	84	34,62	312,41	765,77

Высокая инвестиционная активность в ПФО обусловлена не только локализацией в данном округе крупных предприятий обрабатывающей и добывающей промышленности, но и активным развитием малого и среднего бизнеса, со стороны которых генерируется существенный спрос на площадки индустриальных парков.

Таким образом, результаты всех приведенных выше графиков и таблиц подтверждают, что за последние 4 года продемонстрированы положительные темпы всей региональной экономической деятельности, которая прямо или косвенно связана с сектором транспортировки и хранения. Развитие и увеличение ИП и их различных модификаций (технопарки, бизнес-инкубаторы, ОЭЗ и т.д.) реализовывают программу импортозамещения, создавая инфраструктуру для промышленного производства, особенно в ПФО, в котором сконцентрирована 24% действующих ИП страны.

Чаще всего в экономических исследованиях, для изучения степени связи между переменными используется корреляционный анализ, который, является инструментом позволяющим показать близость одной переменной к другой. В этой статье основное внимание уделяется линейному корреляционному анализу, поскольку он наиболее часто используется в этих исследованиях [5, 6, 7]. Цель проведения такого анализа – изучить ассоциативные отношения между независимыми и зависимыми переменными. Для этого рассчитывается коэффициент корреляции, значения в +1 указывают на то, что две переменные идеально связаны положительным (линейным) образом, значения в -1 указывает на то, что две переменные идеально связаны отрицательным (линейным) образом, нулевой коэффициент корреляции указывает на отсутствие линейной связи между двумя изучаемыми переменными [8, 9, 10].

Для ПФО влияние развития ИП на его экономический рост (ВРП, объем инвестиций, численность занятых) рассчитан коэффициент корреляции, который указывает на тесную взаимосвязь между числом ИП и основными социально-экономическими показателями региона (табл. 4). Расширение географии ИП позволит привлекать инвестиции компаний, которые преимущественно рассматривают регионы с уже готовыми площадками для размещения производства, оказывать мультипликативный эффект на ВРП, создавать новые рабочие места для населения региона [11, 12, 13].

Таблица 4 – Взаимосвязь количества ИП и основных социально-экономических показателей региона

Субъекты	Число ИП	ВРП всего, млрд.руб.	ВРП "ТХ",млрд.руб.	инвестиции всего, млрд.руб.	инвестиции ТХ,млрд.руб	численность занятых всего, тыс.чел.	численность занятых "ТХ", тыс.чел.
РФ	383	171041	12828,08	34 036	4963,7	73532,7	5750,90
ПФО	90	20188	1101,43	4830,2	778,92	14322,4	1012,97
Кировская область	2	575,1	35,43	106,24	10,4	563,1	37,13
Нижегородская область	4	2390	78,17	686,93	226,7	1667,2	115,52
Оренбургская область	2	1500	64,50	293,4	32,5	897,5	68,54
Пензенская область	3	593	40,32	121,81	13,6	630,9	42,05
Пермский край	4	1800	60,60	370,3	49,5	1173,8	88,78
Республика Башкортостан	14	2544	176,24	620	58,58	1901,3	117,74
Республика Марий Эл	0	247,7	13,38	52,23	3,63	319,8	15,72
Республика Мордовия	1	361,5	24,58	74,1	13,97	410,6	23,68
Республика Татарстан	28	4153,7	264,90	1180,4	158,29	2018,9	163,98
Самарская область	7	2800	151,40	516,6	107,58	1651,5	148,23
Саратовская область	3	1300	74,90	286,54	46,75	1209,5	85,01
Удмуртская Республика	6	956	55,45	166,3	9,13	708,9	43,68
Ульяновская область	10	571	40,56	120,8	8,47	588,2	36,95
Чувашская Республика	6	396	20,99	123,4	39,82	581,2	25,97
Коэффициент корреляции		0,753074293	0,873588 13	0,8088 0178	0,446907 886	0,66885 6638	0,655227 707

В ПФО регионами-лидерами по количеству ИП являются Республика Башкортостан и Татарстан, Ульяновская область (10 и более ИП в регионе). Такое распределение обусловлено уровнем социально-экономической активности, развитой транспортно-логистической инфраструктурой, наличием крупных промышленных объектов, спросом производителей (табл. 5).

По результатам рейтинговой оценки [14] субъектов ПФО по уровню развития ИП лидируют Республика Татарстан и Башкортостан, Самарская, Ульяновская и Нижегородская области.

Таблица 5 - Рейтинг субъектов ПФО по уровню развития ИП в 2023 году

Республика/ область/ край	Число ИП	Число резидентов	Численность работников в ИП, тыс.чел	Объем инвестиций в ИП, млрд.руб.	Итого	Рейтинг
РФ	377	5471	340	2336	-	-
ПФО	90	2008	123,39	397,6	-	-
Кировская	2	9	0,8	0,5	9	12
Нижегородская	4	18	4,4	58,7	23	5
Оренбургская	2	6	1,5	10	14	8
Пензенская	3	17	0,19	0,5	11	10
Пермский	4	5	0,2	0,5	10	11
Башкортостан	14	170	32	30	36	2
Марий Эл	0	0	0	0	0	14
Мордовия	1	2	1,5	0,5	7	13
Татарстан	28	1482	42	161	40	1
Самарская	7	82	21	81,4	34	3
Саратовская	3	15	0,3	0,8	12	9
Удмуртская	6	20	3	1,8	19	7
Ульяновская	10	128	13,5	50	33	4
Чувашская	6	24	3	1,9	20	6

На данных территориях с существенным отрывом сконцентрированы площадки ИП, поэтому пока не решена проблема территориального дисбаланса в развитии субъектов ПФО. В остальных регионах ПФО необходимо активнее реализовывать проекты по созданию ИП, привлекать средства для осуществления первоначальных инвестиций в развитие инфраструктуры, активно помогать и поддерживать такие проекты руководством региона, четко прорабатывать концепцию создания и развития парка с целью роста экономического потенциала региона.

Однако сопоставить эти статистические результаты с конкретным регионом непросто из-за различий в их географическом, экономическом и социальном положении.

Выводы. Проведенный анализ свидетельствует о том, что ИП играют существенную роль для обеспечения динамичного роста региональных экономик, создания конкурентных условий для новых производств, привлечения отечественных и иностранных инвестиций в регионы, снижения безработицы за счет создания новых рабочих мест используя трудовой потенциал ближайших населенных пунктов.

Исследование позволило определить вклад ИП в достижение целей устойчивого развития регионов, создавая необходимую инфраструктуру, увеличение занятости в регионе, увеличение объемов промышленного производства в регионе, а также пополнение регионального и местного бюджетов. Согласно данному исследованию, ИП могут влиять, хоть и косвенно, на экономическое развитие и оживление своих регионов.

Учитывая свою репрезентативность, выборка данного исследования может включать большее количество показателей регионов, чтобы проанализировать экономическое влияние ИП с другой точки зрения, хотя в данной статье делается акцент на некоторые более общие экономические показатели. Кроме того, еще многое можно сделать для изучения этой темы, возможно проведение конкретных исследований, используя только измерения, которые напрямую связаны с работой ИП.

Наконец, если будет возможность располагать доступными данными, появится уникальный шанс разработать некоторые полезные меры по этой теме, чтобы глубоко изучить роль ИП как движущей силы экономики своих регионов.

Сведения об источнике финансирования. Статья выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства железнодорожного транспорта (Росжелдор) на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения. Проект «Проектирование ресурсосберегающей транспортно-логистической системы в экономике субъектов РФ». Интернет-номер/ Регистрационный номер: 124040300020-8.

Литература

1. Methods to Analyze Traffic Demand Formation in Intelligent Transportation and Logistic Regional Network / S. Lyapin, Y. Rizaeva, D. Kadasev, A. Sysoev // Transportation Research Procedia, Rome, 23–24 сентября 2019 года. Rome, 2020. P. 522-529.

2. Border and internal regions: a comparative study of resilience in the crisis / G. A. Khmeleva, K. O. Kostromin, T. S. Kolmykova, E. V. Bolgova // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023), Chelyabinsk, 25–28 апреля 2023 года. Vol. 389. Chelyabinsk: EDP Sciences, 2023. P. 04008.

3. Lee, Y.-H.; Kao, L.-L.; Liu, W.-H.; Pai, J.-T. A Study on the Economic Resilience of Industrial Parks. Sustainability 2023, 15, 2462.

4. Borodavkina N., Mukovnina E. The role of industrial parks in ensuring sustainable development of the region // E3S Web of Conferences : IV International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development and Green Growth on the Innovation Management Platform” (SDGG 2021), Kaliningrad, 27–28 мая 2021 года. Vol. 291. Kaliningrad: EDP Sciences - Web of Conferences, 2021. P. 01004.

5. Tian, X.; Zhang, M. Research on Spatial Correlations and Influencing Factors of Logistics Industry Development Level. Sustainability 2019, 11, 1356.

6. Bolgova E., Lisyukova E., Kurnikova M. Managing the Development of Transport Territorial Forms: a Logistic Aspect // Transportation Research Procedia : Collection of materials XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability, Irkutsk-Krasnoyarsk, 26–28 октября 2022 года. Krasnoyarsk: Elsevier B.V., 2023. P. 778-784.

7. Guerin L. et al. The geography of warehouses in the São Paulo Metropolitan Region and contributing factors to this spatial distribution //Journal of Transport Geography. 2021. Т. 91. С. 102976.

8. Альтман М. Более научный подход к прикладной экономике: реконструкция статистической, аналитической значимости и корреляционного анализа // Экономический анализ и политика. 2020. Т. 66. С. 315-324.

9. Исломов С.В., Мамаева Л.В. Использование метода экспертных оценок в управлении транспортными предприятиями //Материалы конференции АИП. Издательство АИП, 2024. Т. 3045. No 1.

10. Коробов, В. Б. Теория и практика экспертных методов / В. Б. Коробов. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 281 с. – (Научная мысль).

11. Models and Information Technologies of Clustering and Location of Group Expert Assessments in Terms of Uncertainty / S. G. Chernyi, A. A. Zhelezniak, I. K. Ovcharenko [et al.] // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020, St. Petersburg and Moscow, 27–30 января 2020 года. St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 264-267.

12. Селентьева Т. Н., Зайцев А. А., Родионов Д. Г. Развитие инструментария экспертных методов для анализа внутрикластерной инновационной кооперации //Бизнес. Образование. Право. 2020. №. 4. С. 86-93.

13. Ильина А.А., Мишон Е.В. Методика оценки конкурентоспособности региона // Сибирский экономический журнал. 2020. № 8(16). С. 14-16.

14. Дубровская Т. В. Методы оценки инвестиционной привлекательности // Экономика и управление

в современных условиях: Международная научно-практическая конференция, Красноярск, 20–23 октября 2021 года. Красноярск: Сибирский институт бизнеса, управления и психологии, 2021. С. 41-44.

Сведения об авторах:
Додорина Ирина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента, e-mail: dodorina@mail.ru
Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия
Черняев Евгений Васильевич – кандидат экономических наук, докторант, e-mail: ki-la@mail.ru
Вольский военный институт материального обеспечения, г. Вольск, Россия

THE IMPACT OF THE POTENTIAL OF TERMINAL-WAREHOUSE SYSTEM ON THE ECONOMIC GROWTH OF THE REGION

I. V. Dodorina, E. V. Chernyaev

Abstract. Currently, a developed terminal-warehouse system has been created all over the world, which includes highly differentiated logistics solutions, such as industrial parks. They act as a driving force for the economy of the regions, which potentially affect the regional unemployment rate, gross regional product and job creation, investment attractiveness and trade volumes. Industrial parks apply modern technologies and innovations in production processes, create conditions for the development of small and medium-sized enterprises, and therefore have a positive effect on competitiveness, labor productivity and increased employment, and create a basis for the development of the economic potential of the region. Industrial parks located in 72 regions of Russia provide convenient access to large urban agglomerations and product sales markets. Most of the industrial parks are in the Central and Volga Federal Districts. The balance between domestic and foreign investments in the development of industrial parks is maintained, but from 2020 to 2023, there is a tendency for Russian investors to strengthen their positions. The volume of investments in the development of industrial parks increases every year in all federal districts. Over the past few years, 340 thousand jobs have been created at 4.1 thousand resident enterprises in the Russian Federation, 123.2 thousand jobs have been organized at 1.9 thousand such enterprises in the Volga Federal District, which indirectly reflects the purpose of industrial parks in the context of the development of the regional economy. The total volume of gross regional product of the Russian Federation in nominal and total terms for 2020-2023 increased in all subjects. By more actively implementing projects to create industrial parks, attracting funds to make initial investments in infrastructure development, actively helping and supporting such projects by the regional leadership, clearly developing the concept of creating and developing industrial parks, it is possible to achieve significant growth in the economic potential of each region.

Key words: potential of the terminal-warehouse system, industrial park, economic growth of the region, investment attractiveness, regional economic development.

References

1. Lyapin S, Rizaeva Y, Kadasev D, Sysoev A. Methods to analyze traffic demand formation in intelligent transportation and logistic regional network. Transportation Research Procedia, Rome, 2019, September 23-24. Rome, 2020. 522-529 p.

2. Khmeleva GA, Kostromin KO, Kolmykova TS, Bolgova EV. Border and internal regions: a comparative study of resilience in the crisis. E3S Web of Conferences: Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023), Chelyabinsk, 2023, April 25-28. Vol.389. Chelyabinsk: EDP Sciences. 2023; 04008 p.

3. Lee Y-H, Kao LL, Liu WH, Pai JT. A study on the economic resilience of industrial parks sustainability. 2023; 15, 2462.

4. Borodavkina N, Mukovnina E. The role of industrial parks in ensuring sustainable development of the region. E3S Web of Conferences: IV International scientific and practical conference “Sustainable Development and Green Growth on the Innovation Management Platform” (SDGG 2021), Kaliningrad, 2021, May 27-28. Vol.291. Kaliningrad: EDP Sciences - Web of Conferences. 2021; 01004 p.

5. Tian X, Zhang M. Research on spatial correlations and influencing factors of logistics industry development level sustainability. 2019; 11. 1356.

6. Bolgova E, Lisyukova E, Kurnikova M. Managing the development of transport territorial forms: a logistic aspect. Transportation Research Procedia: Collection of proceedings of XIII International conference on transport infrastructure: territory development and sustainability, Irkutsk-Krasnoyarsk, 2022, October 26-28. Krasnoyarsk: Elsevier B.V. 2023; 778-784 p.

7. Guerin L. The geography of warehouses in the Sao Paulo Metropolitan Region and contributing factors to this spatial distribution. Journal of Transport Geography. 2021; Vol.91. 102976 p.

8. Altman M. [A more scientific approach to applied economics: reconstruction of statistical, analytical significance and correlation analysis]. Ekonomicheskiy analiz i politika. 2020; Vol.66. 315-324 p.

9. Islomov SV, Mamaeva LV. [Using expert assessments method in the management of transport enterprises]. Materialy konferentsii AIP. Izdatelstvo AIP. 2024; Vol.3045. 1.

10. Korobov VB. Teoriya i praktika ekspertnykh metodov. [Theory and practice of expert methods]. Moscow: OOO “Nauchno-izdatelskiy tsentr INFRA-M”. 2019; 281 p. (Scientific thought).

11. Chernuy SG, Zheleznyak AA, Ovcharenko IK. Models and information technologies of clustering and location of group expert assessments in terms of uncertainty. Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020, St.Petersburg and Moscow, 2020, January 27-30. St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020; 264-267 p.

12. Selenteva TN, Zaytsev AA, Rodionov DG. [Development of a toolkit of expert methods for analyzing intra-cluster innovative cooperation]. Biznes. Obrazovanie. Pravo. 2020; 4. 86-93 p.

13. Ilina AA, Mishon EV. [Methodology for assessing the competitiveness of a region]. Sibirskiy ekonomicheskiy zhurnal. 2020; 8(16). 14-16 p.

14. Dubrovskaya TV. [Methods for assessing investment attractiveness]. Ekonomika i upravlenie v sovremennykh usloviyakh: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Krasnoyarsk, 20-23 oktyabrya 2021 goda. Krasnoyarsk: Sibirskiy institut biznesa, upravleniya i psikhologii. 2021; 41-44 p.

Authors:
Dodorina Irina Vladimirovna– Ph.D. in Economics sciences, Associate Professor of Economics and Management Department, e-mail: dodorina@mail.ru
Samara State Transport University, Samara, Russia
Chernyaev Evgeniy Vasilevich – Ph.D. of Economic Sciences, doctoral student, e-mail: ki-la@mail.ru
Volsk Military Institute of Material Support, Volsk, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-109-118
УДК 332.05

СТРАТЕГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ АГРАРНЫХ РЕГИОНОВ К ВНЕШНИМ КОНЪЮНКТУРНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ

Л. А. Ельшин, А. Р. Шарапов, А. М. Мингулов

Реферат. В условиях обостряющейся внешнеэкономической повестки вопросы, связанные с продовольственной безопасностью страны являются приоритетными. Их решение во многом лежит в сфере поиска эффективных моделей развития агропромышленных секторов экономики регионов. В этой связи исследования, раскрывающие особенности макроэкономической устойчивости региональных экономических систем с высоким уровнем сельскохозяйственной специализации, вызывают особый интерес и характеризуются повышенным уровнем актуальности. Исследование проведено по данным за 2022 год, раскрывающим особенности реагирования агропромышленных регионов Приволжского федерального округа к системным преобразованиям во внешней среде. В качестве методической основы выступает дихотомический анализ региональной шокоустойчивости в рамках ее исследования через призму двух ключевых составляющих: уязвимость и эффективность восстановления экономики. Результаты апробации авторских подходов выражаются в разработанной стратегической матрице резилиентности субъектов ПФО, демонстрирующей дифференцированную восприимчивость региональных экономических систем, специализирующихся в аграрной сфере, к пертурбациям на внешних рынках. По результатам проведенного исследования установлено, что к регионам с низким уровнем риска устойчивого развития экономики относятся Республика Башкортостан, Саратовская область. С умеренным уровнем риска – Республика Татарстан. В группу 3, с повышенным уровнем неопределенности, вошли Пензенская и Оренбургская области. Наконец, с высоким уровнем риска отнесена Самарская область, характеризующаяся высоким уровнем импортозависимости на фоне умеренных значений в сфере восстановительного потенциала. Полученные результаты свидетельствуют, что подавляющее число регионов ПФО с агропромышленным профилем находятся в зоне повышенного риска резилиентности. Учитывая их высокий уровень в сфере обеспечения страны продукцией растениеводства, нарушение параметров их экономического развития формирует угрозы в продовольственной безопасности России в случае проявляющихся траекторий нарушения их устойчивого развития. Опираясь на полученные выводы определены приоритеты государственной политики в сфере мер поддержки данных субъектов ПФО с целью сохранения траекторий экономического роста и нивелирования рисков развития агропромышленных регионов страны.

Ключевые слова: агропромышленный сектор экономики, шокоустойчивость, регион, стратегические ориентиры управления, устойчивость экономического роста, санкционное давление, макроэкономический шок, импортозависимость.

Введение. Потенциал устойчивого развития национальной экономики определяется особенностями регионального развития, наличием эффективных механизмов адаптации регионально-отраслевых секторов экономики к трансформации институционально-конъюнктурной среды, способностью экономических систем воспроизводить технологический и продовольственный суверенитет и т.п. Особый уровень актуальности в условиях пертурбации внешнеэкономических связей и генерируемых процессов локализации внешнеэкономических цепочек поставок приобретают вопросы поиска моделей обеспечения продовольственной безопасности как на макро -, так и на мезоуровне. При этом стратегическую роль здесь играют агропромышленные виды экономической деятельности [1, 2, 3]. В этой связи изучение перспектив устойчивого развития регионов с высоким уровнем специализации в сельском хозяйстве, вызывает сегодня повышенный интерес. Это обусловлено тем, что эффективность их адаптации и встроенные регуляторы сопротивляемости к внешним шокам во многом будут определять степень устойчивости региональных агропромышленных секторов, а значит и потенциал устойчивого развития национальной экономики России в целом. Полагаясь на данный вывод, представляется крайне актуальной задачей выработка методических решений, обеспечивающих возможность идентификации моделей шокоустойчивости регионов, в особенности тех, которые играют решающую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны.

Следует констатировать, что теория резилиентности прочно укоренилась в пространстве научных публикаций и исследований после выхода трудов Е. Хилл [4], Р. Мартина [5], М.Р. Сафиуллина, Л.А. Ельшина [6], Н.Н. Михеевой [7].

На сегодняшний день считается одним из базовых исследований, используемых при подготовке многих научных и практико-ориентированных трудов, реализуемых в фарватере рассматриваемых здесь вопросов, работа К. Фостер [8]. В нем автор разрабатывает методический инструментарий расчета индекса потенциала шокоустойчивости экономической системы (Resilience Capacity Index) на основе агрегирования ряда показателей, оценивающих резилентность территорий.

При этом шокоустойчивость автор предлагает измерять в двух плоскостях (рис. 1):

- оценка и готовность экономической системы к кризисам (Preparation Resilience) [8];

- эффективность реагирования на шоки и продуктивность восстановления» (Performance Resilience) [8].

Полагаясь на данный концептуальный подход, автор строит матрицу резилиентности региональных экономических систем, где правая верхняя ячейка характеризует наивысший уровень шокоустойчивости в комплексной форме.

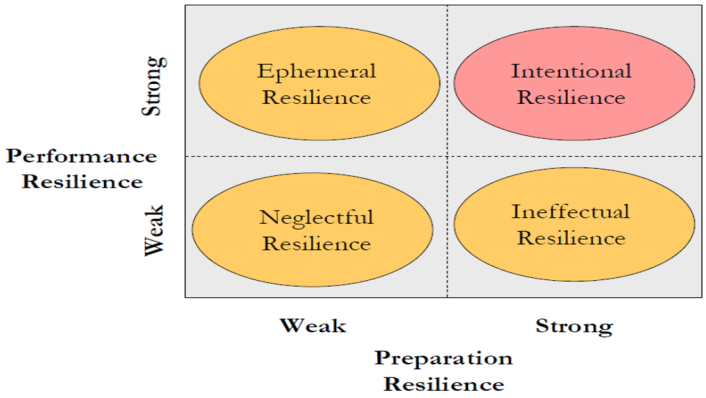


Рис. 1 – Матричный подход к исследованию резилиентности региональных экономических систем. Источник: разработано по данным [8]

Данный методический подход используется и рядом российских ученых [6, 7, 8] с поправкой на авторскую «косметическую» модернизацию методики, полагающуюся на сопоставление параметров сопротивляемости региональных экономических систем по направлениям: «Готовность» - «Эффективность восстановления». При этом, как правило, исследовательский «фокус» в рамках рассматриваемой парадигмы, концентрирует внимание на дескриптивном анализе и сопоставлении статистических данных между собой.

В целях дальнейшего развития методических подходов к исследованию шокоустойчивости региональных систем, далее будет представлена авторская концепция, основанная на синтезе рассмотренных выше подходов, дополненная элементами модернизации сформировавшегося инструментария.

При этом, учитывая исследовательский «фокус» работы концентрация внимания будет сосредоточена на регионы Приволжского федерального округа с высоким уровнем сельскохозяйственной специализации в экономике.

В концентрированной форме, целью работы является разработка и апробация теоретико-методических подходов к оценке влияния трансформации внешней конъюнктуры на устойчивость развития региональных экономических систем с агропромышленным профилем.

Условия, материалы и методы. Основу авторского подхода составляет концепция и методический инструментарий, предложенный К. Фостер, синхронизированный с практикой измерения исследуемых процессов, применяемой российскими учеными. Построение матрицы шокоустойчивости аграрных регионов ПФО предлагается реализовать в рамках пересечения двух осей измерения «Уязвимость» – «Эффективность восстановления» (рис. 2). Принципиальным отличием от методики К. Фостер является попытка измерения шокоустойчивости региона в рамках оценки зависимости экономической системы от институциональных и конъюнктурных изменений во внешней среде, определяющей особенности внешнеторговых операций. Другими словами, представляется важным сосредоточить исследовательский ракурс не на проведение анализа готовности экономики к возможным пертурбациям, а на оценке ее уязвимости к возможным преобразованиям во внешней среде. Данная парадигма представляется наиболее обоснованной в рамках систематизации ключевых трендов и рисков нарушения устойчивого развития российской экономики в условиях санкционного давления образца 2022-2024 годов.

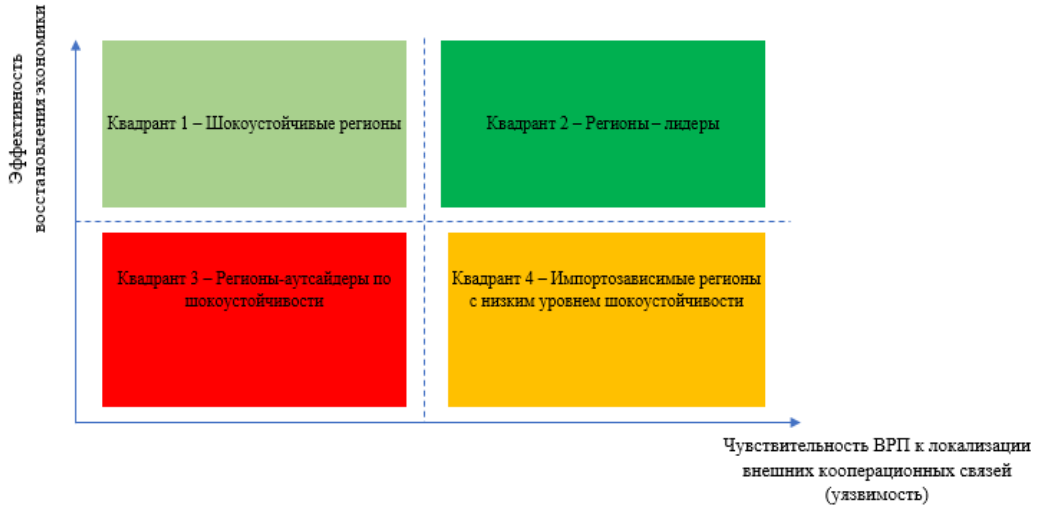
Следуя представленной логике, направление, характеризующее степень готовности региональной экономической системы к макроэкономическим шокам, будет оцениваться через призму такого параметра, как «Степень интеграции в мировые цепочки добавленной стоимости». Данный показатель, по сути, призван оценить риски и уязвимость регионального развития с учетом возможной локализации транснациональных кооперационных связей. Выбор в пользу данного показателя обусловлен концентрацией внимания на санкционные шоки, важнейший упор которых сосредоточен на ограничение импорта и обрыв международных поставок цепочек, что, в свою очередь, нарушает операционные бизнес-циклы как на уровне национальной, так и региональной экономики [9, 10]. Это во многом определяет уязвимость экономических систем и их

готовность противостоять внешним возмущениям.

В свою очередь, направление резилиентности региона «Эффективность восстановления» целесообразно измерять в рамках модернизации подхода, предложенного К. Фостер [8]. Совокупности показателей, применяемых для эмпирической оценки резилиентности региона, будет включать в себя:

I. Качество жизни населения региона:
- реальная начисленная заработная плата;
- численность населения;
- уровень бедности;
- занятость населения.

II. Бюджетная устойчивость региона:
- профицит/дефицит консолидированного бюджета субъекта РФ.



1 – Регионы с высоким уровнем шокоустойчивости, обусловленным низким уровнем импортозависимости

2 – Регионы с высоким уровнем интеграции в экономические цепочки поставок импорта и с высоким коэффициентом эффективности сопротивляемости санкционным шокам

3 – Импортозависимые регионы с низким уровнем готовности к санкционным шокам

4 – Регионы с низким уровнем внешнеторговых кооперационных связей и низким уровнем резилиентности

Рис. 2 - Концепция исследования шокоустойчивости региона в соответствии с матрицей распределения параметров сопротивляемости по направлениям «Уязвимость» - «Эффективность восстановления»

Источник: разработано авторами

В зависимости от вхождения субъекта в тот или иной квадрант определяются механизмы государственной поддержки и управления региональными экономическими системами в сфере обеспечения наиболее эффективной адаптации к макроэкономическим шокам, выраженным, в частности, в санкционном давлении на национальную экономику. В целях определения уровня чувствительности региона к локализации внешних кооперационных связей в настоящем исследовании осуществляется оценка их импортозависимости. В качестве методической базы применяются методы дескриптивного и эконометрического анализа, позволяющие выявить закономерности, раскрывающие взаимосвязь между уровнем ограничения поставок импорта в регион и перспективами прироста валового регионального продукта (ВРП). Основу конструирования соответствующих моделей составляет система регрессионных уравнений, отражающих связь между искомыми параметрами, где в качестве промежуточного, трансмиссионного фактора, выступает индикатор, характеризующий доходы консолидированного бюджета соответствующего субъекта РФ. Данный методический ход обусловлен необходимостью повышения статистической значимости моделируемых уравнений и стремлением приблизиться к максимальным значениям объективности получаемых результатов.

В структурированной форме система уравнений, участвующих в оценке поиска взаимосвязи между ВРП и объемами поставляемого в регион импорта принимает следующий вид:

$$\begin{cases} Inc = a + b * Imp \\ GRP = a + b * Inc \end{cases}$$

где:

Inc – доходы консолидированного бюджета Республики Татарстан, млрд. руб.;

Imp – импорт в регион, млн долларов США;

GRP – валовой региональный продукт Республики Татарстан, млрд. руб.

Следуя в фарватере авторской парадигмы изучения шокоустойчивости, наряду с эмпирической оценкой уязвимости региона от импорта, важнейшим механизмом, формирующим дихотомическую концепцию исследования резилиентности, является оценка потенциала эффективности восстановления.

В качестве методической базы, используемой для данного состояния резилиентности («Эффективность восстановления»), в настоящей работе предлагается использовать инструментарий, предложенный М.Ю. Малкиной [11].

В обобщенной форме последовательность определения интегрального значения шокоустойчивости региона по рассматриваемому направлению резилиентности оценивается следующим образом:

1. В разрезе каждого анализируемого индикатора строится линейная регрессия с включением фактора времени. Период временного ряда определяется докризисными значениями (формула 1).

$$\hat{y} = \alpha + \beta t + e \quad (1)$$

где ŷ – прогнозируемое значение;
α, β– значения коэффициентов регрессии;
t - фактор времени;
e - ошибка регрессии.

2. Определяется прогнозируемое значение индикатора в фазе кризиса (применительно к санкционным шокам – это 2014 и 2022 года).

3. Рассчитывается индекс шокоустойчивости региона по направлению «Эффективность восстановления». Производится сопоставление предсказанного по линейной регрессии значения анализируемого индикатора с его фактическим уровнем, наблюдаемым в посткризисный (восстановительный) период (формула 2).

$$Ri = \frac{\hat{y}}{y} - 1 \quad (2)$$

где:
Ri – значение индикатора i, участвующего в построении агрегированного значения интегрального индекса резилиентности;
ŷ – прогнозируемое значение индекса в период кризиса;
y – фактическое значение индекса в период кризиса.

4. По каждому анализируемому индикатору производится нормирование значений по формуле 3 для приведения к шкале диапазона от 0 до 1.

$$Ri\text{норм} = \frac{Ri - Rmin}{Rmax - Rmin} \quad (3)$$

В случае, если снижение индикатора свидетельствует о росте эффективности процессов резилиентности, нормирование значений производится по формуле 4.

$$Ri\text{норм} = \frac{Ri - Rmax}{Rmin - Rmax} \quad (4)$$

5. Определение интегрального значения (Rинтеграл) индекса резиелентности региона на основе расчета среднеарифметического значения частных значений нормируемых анализируемых индикаторов (R*i*норм).

Показатели (индикаторы), участвующие в оценке резилиентности регионов по направлению «Эффективность восстановления» представлены выше (раздел «Условия, материалы и методы»).

Результаты и обсуждение. С целью идентификации субъектов Приволжского федерального округа с высоким уровнем развития сельского хозяйства целесообразно осуществить анализ их специализации в исследуемом секторе экономики.

Данный этап исследования реализован на основе оценки одного из базовых секторов АПК, связанного с зернопроизводством.

Солидаризируясь с позицией [12, 13, 14] данная сфера сельского хозяйства выступает в качестве фундаментальной основы агропромышленного комплекса, поскольку не только выступает в роли производителя продовольственной продукции, но и определяет потенциал развития животноводческого комплекса в рамках создания кормовой базы.

По данным Росстата к лидерам по уровню валового сбора зерна в ПФО относятся Саратовская область, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Оренбургская, Самарская и Пензенская области (рис. 3).

В этой связи дальнейшие аналитические оценки, раскрывающие шокоустойчивость регионов ПФО будут реализованы для данных идентифицированных субъектов.

Апробация и подробное изложение итераций, формирующих основу для дальнейших расчетов, представлены на примере Республики Татарстан и реализуемых ею экспортно-импортных операций с Китайской народной республикой – крупнейшим торговым партнером РФ по итогам произошедших в этот период корректировок в сфере транснациональных цепочек поставок РФ в условиях санкционного противостояния.

По итогам 2021 года на Китайскую народную республику приходилось 15,8% от всего объема импорта, поставляемого в Республику Татарстан, что в абсолютных значениях соответствовало объему, эквивалентного 865,1 млн. долларов США.

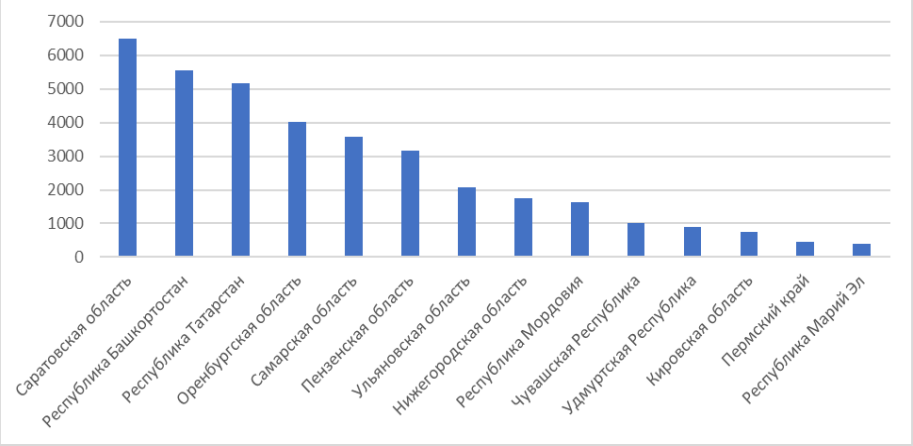


Рис. 3 - Валовой сбор зерна в субъектах Приволжского федерального округа в 2022 году, тыс. тонн (в порядке убывания)

Источник: [12]

Экстраполируя динамику роста импорта из Китая в РФ (по данным за 2022-2023 годы) на параметры ввоза товаров из КНР в исследуемый регион (рис. 4), в таблице 1 представлены оценки импортозависимости региона от поставок продукции из Китая в рамках анализируемого периода.

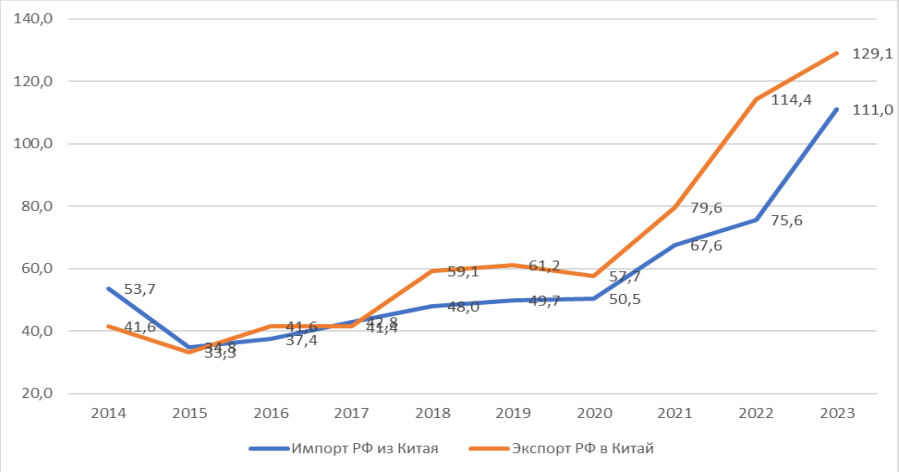


Рис. 4 - Экспортно-импортные операции РФ с КНР, млрд. долларов США

Источник: [15]

Таблица 1 - Импорт товаров из КНР в Республику Татарстан

Показатель	Годы		
	2021	2022*	2023*
Импорт из КНР, млн. долларов США	865,1	1084,7	2335,7
Доля импорта из КНР в общем объеме импортируемой в регион продукции, в %	15,8	19,7	42,5

** Расчетная оценка*

Источник: Росстат [15]

Полученные оценки свидетельствуют о крайне высоком, хотя и существенно меньшем относительно РФ, уровне импортозависимости региона от поставок импорта из КНР. По данным расчетных оценок значение анализируемого показателя возросло с 15,8% в 2021 году до 42,5% в 2023г. (в российской экономике уровень импортозависимости в период с 2021 по 2023гг. вырос с 35,0 до 57,5 процентов от общего объема поставляемой продукции из -за рубежа (рассчитано по данным National Bureau of Statistics of China [16])).

Опираясь на выявленные риски импортозависимости региона от поставок продукции из Китая, в условиях новой геоэкономической повестки, а также опираясь на представленный выше методический инструментарий их оценки, далее представлены основные результаты, раскрывающие особенности влияния локализации импорта в Республику Татарстан на перспективы ее экономической динамики. В результате моделирования статистических данных, а также ориентируясь на обеспечение статистической значимости результатов

моделирования, разработана система уравнений:

$$Inc = 41{,}4 + 0{,}052 * I \quad \textit{(Уравнение 1)}$$

$$GRP = -87{,}51 + 8{,}13 * Inc \quad \textit{(Уравнение 2)}$$

(Параметры статистической значимости моделей по значению коэффициента детерминации R^2 укладываются в диапазон от 0,71 до 0,84; критерии *p* – значения меньше заданного уровня значимости 0,05).

Следуя полученным оценкам, можно представить следующую интерпретацию полученных результатов: увеличение импорта в регионе на 1 млн. долларов США предопределяет потенциал прироста доходов бюджета Республики Татарстан на 0,052 млрд. рублей, что, в свою очередь, в рамках трансмиссионного механизма, предопределяет потенциал прироста ВРП на 8,13 млрд. рублей (Уравнение 2). Консолидируя данные оценки и агрегируя их в искомую взаимосвязь между приростом импорта в регион и возможным увеличением его валового регионального продукта, необходимо констатировать, что увеличение импорта, поставляемого в Республику Татарстан на 1 млн. долларов США формирует предпосылки прироста ВРП региона на 0,42 млрд. рублей. Это эквивалентно динамике ежегодного прироста валового регионального продукта на 0,011%.

Опираясь на полученные ранее оценки, раскрывающие импортозависимость региона от поставок продукции из КНР, а также используя методы сценарного анализа, в таблице 2 представлены ключевые характеристики, раскрывающие степень рисков сокращения поставок в регион импорта.

Таблица 2 - Сценарный анализ рисков снижения динамики ВРП Республики Татарстан в рамках возможной локализации импорта в регион

	Текущие значения (по данным за 2023 год)	Сценарии		
		-10,7%, что соответствует динамике снижения поставок импорта из Китая в 2024 году в рамках ужесточения вторичных санкций	-50%	-100%
Объем импорта из КНР, млн долларов США (по данным таблицы 4)	2335,7	2085,8	1167,8	0,0
ВРП, в %	103,6	-2,75	-12,85	-25,69

Источник: рассчитано авторами

Полагаясь на представленную последовательность расчетов, позволяющих обнаружить степень уязвимости экономики Республики Татарстан от поставок импорта из КНР, аналогичные итерационные вычисления были реализованы и для других регионов Приволжского федерального округа. На рисунке 5 представлены расчетные оценки, раскрывающие уровень чувствительности субъекта РФ к ограничению поставок импорта из КНР в соответствии со сценарием его замедления на 10,7%, что соответствует общестрановым тенденциям в период первого квартала 2024 года.

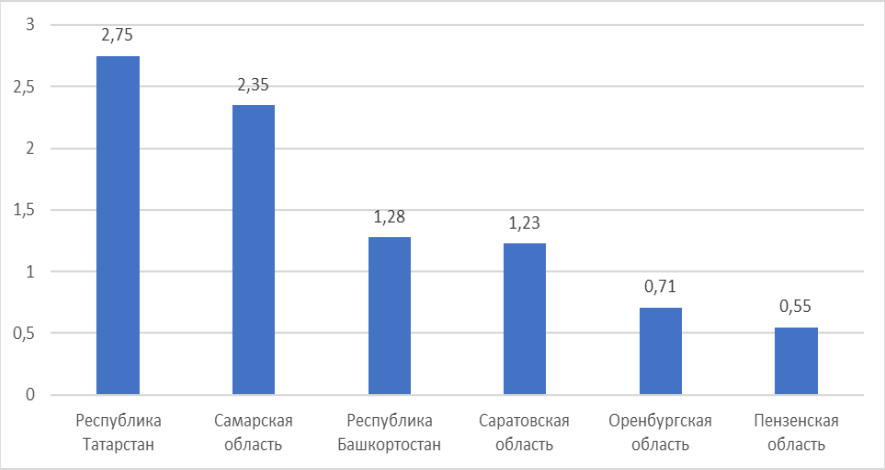


Рис. 5 – Оценка потенциала замедления экономики регионов Приволжского федерального округа в условиях локализации поставок импорта из КНР
Источник: рассчитано авторами

Полученные результаты исследования свидетельствуют о достаточно заметных рисках нарушения устойчивого развития субъектов ПФО в случае локализации импорта. В этой связи, конечно же, вопросы, связанные с поиском направлений импортозамещения с целью локализации данного рода угроз, выступают сегодня в качестве приоритетных для страны и ее регионов.

Определив значения, оценивающих уязвимость субъектов ПФО к ограничению импорта, далее, в соответствии с предложенным алгоритмом исследования (рис. 2) представлены параметры, характеризующие эффективность восстановления исследуемых регионов ПФО в рамках воздействия на них внешних шоковых импульсов.

В соответствии с предложенным методическим подходом, предполагающим проведение процесса сопоставления предсказанного по линейной регрессии значения анализируемого индикатора с его фактическим уровнем, наблюдаемым в посткризисный (восстановительный) период, реализованы соответствующие расчеты. Результаты оценки интегральных значений (*R*интеграл) индекса резиелентности регионов по синтезированному параметру «Эффективность восстановления» на основе определения среднеарифметического значения частных значений нормируемых анализируемых индикаторов представлены на рисунке 6.

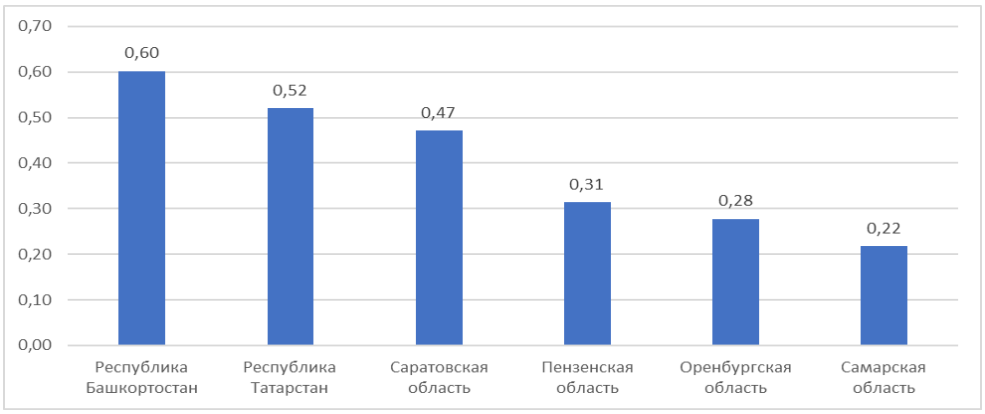


Рис. 6 – Интегральные значения индекса резилиентности регионов Приволжского федерального округа (*R* интеграл)
Источник: рассчитано авторами

Полученные оценки, в соответствии с предложенным алгоритмом исследования позволили перейти к результирующим оценкам и выводам, раскрывающим особенности формирования системообразующих элементов шокоустойчивости регионов.

В соответствии с предложенным авторским инструментарием (рис. 2) данный процесс реализуется в рамках построения матрицы распределения параметров резилиентности региона по направлениям «Уязвимость» – «Эффективность восстановления». Апробация данного подхода, на примере регионов Приволжского федерального округа, и ее результаты представлены на рисунке 7.

Деление пространства координат реализовано на основе применения методов медианного сечения данных (по оси х (потенциал снижения ВРП региона в результате локализации критического импорта): 0,93; у («Эффективность восстановления»): 0,42).

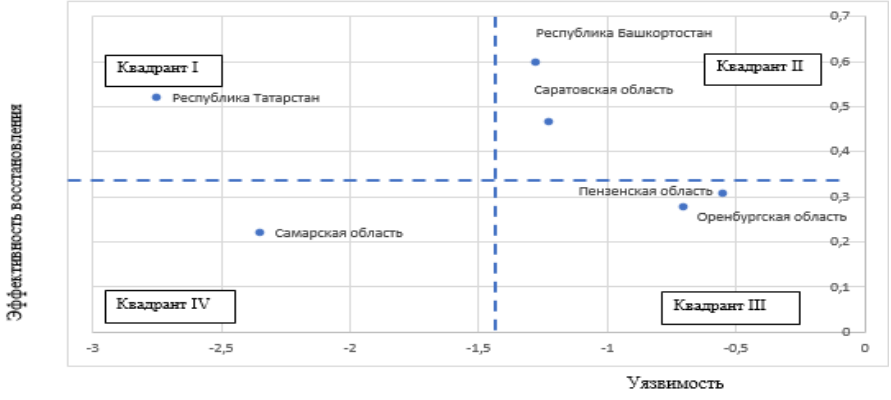


Рис.7 – Матрица распределения параметров шокоустойчивости регионов ПФО по направлениям «Уязвимость» – «Эффективность восстановления»
Источник: разработано авторами

Проведенный анализ позволяет весьма однозначно идентифицировать агропромышленные регионы ПФО по степени их готовности противостоять макроэкономическим внешним шокам. В концентрированном формате все исследуемые регионы можно подразделить на четыре условные группы по степени риска устойчивого развития и соответствующим механизмам стратегического управления (табл. 3).

Таблица 3 - Характеристики шокоустойчивости агропромышленных регионов Приволжского федерального округа

№	Региональная группа	Уровень риска устойчивого развития	Консолидированная оценка шокустойчивости, предопределяющая формат механизмов стратегического управления регионами
1	Республика Башкортостан Саратовская область	Низкий	Регионы с низким уровнем чувствительности к пертурбациям в поставках импорта и высоким уровнем эффективности восстановления
2	Республика Татарстан	Умеренный	Высокий уровень эффективности восстановления, локализующий угрозы и формирующие механизмы адаптации экономики к трансформации на внешних рынках
3	Пензенская область Оренбургская область	Повышенный	Низкий уровень чувствительности к поставкам импорта определяет устойчивость развития субъектов в условиях турбулентности на внешних рынках. Однако низкий уровень эффективности восстановления может локализовать несущественную импортозависимость и сформировать угрозы экономического роста
4	Самарская область	Высокий	Высокий уровень импортозависимости регионов на фоне умеренных значений в сфере восстановительного потенциала предопределяют повышенные риски устойчивого развития данных субъектов в условиях турбулентности на внешних рынках

Источник: разработано авторами

Выводы. Резюмируя полученные результаты, следует констатировать, что предложенный инструментарий оценки резилиентности регионально-отраслевых комплексов и сформированный на его основе анализ формирует базис для разработки приоритетных направлений государственной политики в контексте идентификации потенциала устойчивого развития регионов в условиях системных преобразований во внешней среде.

Полученные оценки позволяют прийти к выводам, что в Приволжском федеральном округе среди регионов с агропромышленным профилем – три находятся в зоне повышенного риска шокоустойчивости (квадранты III, IV). Учитывая их высокий уровень в сфере обеспечения страны продукцией растениеводства, нарушение параметров их экономического развития формирует угрозы в продовольственной безопасности России в случае проявляющихся траекторий нарушения их устойчивого развития.

В этой связи приоритетными направлениями государственной политики должны стать меры поддержки данных субъектов ПФО с целью сохранения траекторий экономического роста и нивелирования рисков развития агропромышленных регионов страны.

Сведения об источнике финансирования. работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности по проекту № FZSM – 2023 – 0017 «Экономика импортозамещения региона в условиях трансформации логистических цепочек и деглобализации».

Литература

1. Ситдикова Л. Ф. Проблемные направления ресурсного обеспечения устойчивого развития агроэкономических систем / Л. Ф. Ситдикова, Ф. Н. Мухаметгалиев, А. Р. Валиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 1(69). С. 155-161.

2. Четвертаков И. М., Четвертакова В. П. Теоретические и прикладные аспекты экономического роста и развития сельского хозяйства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 1(76). С. 194-200.

3. Кириллов Р. А., Чибиркина Е. А., Комаров С. И. Анализ стратегического планирования землепользования в субъектах Российской Федерации на современном этапе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 3(82). С. 240-251.

4. Hill E.W., Wial H., Wolman H. Exploring Regional Economic Resilience / Institute of Urban and Regional Development, Berkeley, Working Paper 2008-04. 2008. 15 p. https://doi. org/10.13140/RG.2.1.5099.4000

5. Martin R. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks // Journal of Economic Geography. 2012. Vol. 1. Issue 1. Pp. 1–32. https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019

6. Оценка перспектив экономического роста регионов России в условиях санкционных ограничений импорта / М. Р. Сафиуллин, Р. Т. Бурганов, Л. А. Ельшин, А. М. Мингулов // Экономика региона. 2023. Т. 19. № 4. С. 1003-1017. – DOI 10.17059/ekon.reg.2023-4-5.

7. Mikheeva N.N. Resilience of Russian Regions to Economic Shocks // Studies on Russian Economic Development. 2021. Vol. 32. No. 1. Pp. 68–77. https://doi.org/10.1134/ S107570072101010X

8. Foster K.A. A case study approach to understanding regional resilience. Institute of urban and regional development, University of California, Berkeley, Working Paper 2007–08. 2007. URL: (дата обращения 17.07.2020).

9. Кузнецова О.В. Новые закономерности в современной динамике социально-экономического развития регионов России // Региональные исследования. 2023. № 1. С. 19–30. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-2

10. Селиверстов В. Е. (2013). Региональное стратегическое планирование: от методологии к практике. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН. [Seliverstov V. E. (2013). Regional strategic planning: From methodology to practice. Novosibirsk: IEIE SB RAS. (In Russian).]

11. Малкина М.Ю. Оценка устойчивости развития региональных экономик на основе расстояний Махаланобиса // Terra Economicus. 2020. Т. 18. № 3. С. 140–159. https:// doi.org/10.18522/2073-6606-2020-18-3-140-159

12. Тенденции развития аграрного сектора экономики Приволжского федерального округа. URL: https://agrarnayanauka.ru/tendenczii-razvitiya-agrarnogo-sektora-ekonomiki-privolzhskogo-federalnogo-okruga/?ysclid=m1vq8n40cv2757206 (Дата обращения: 01.10.2024)

13. Криулина Е. Н., Луговской С. И. Факторный анализ состояния аграрной экономики регионов Северо-Кавказского федерального округа // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. № 12 (57). С. 188-193.

14. Жангоразова Ж. С., Кунашева З. А., Багова Д. М. Тенденции развития и основные вызовы аграрного сектора экономики региона // Финансовая экономика. 2021. № 8. С. 35-38.

15. Таможенная статистика Приволжского таможенного управления. URL: https://ptu.customs.gov.ru/folder/146699 (Дата обращения: 15.04.2024).

16. National Bureau of Statistics of China. Retrieved from https://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01 (Date of application: 07/02/2024).

Сведения об авторах:

Ельшин Леонид Алексеевич - доктор экономических наук, заведующий кафедрой мировой и региональной экономики[1], директор[2], e-mail: Leonid.Elshin@tatar.ru

[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

[2]Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия

Шарапов Азат Рафикович - доктор экономических наук, профессор, проректор, e-mail: info@sportacadem.ru

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, г. Казань, Россия

Мингулов Алмаз Минвазыхович – аспирант[1], исполняющий обязанности руководителя[2], e-mail: C.p@tatar.ru

[1]Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия

[2]Исполнительный комитет Аксубаевского муниципального района, пгт Аксубаево, Россия

STRATEGIC ADAPTATION OF AGRICULTURAL REGIONS TO EXTERNAL MARKET CHANGES

L. A. Elshin, A. R. Sharapov, A. M. Mingulov

Abstract. In the context of an increasingly acute foreign economic agenda, issues related to the country's food security are a priority. Their solution largely lies in the search for effective models for the development of agro-industrial sectors of the regional economy. In this regard, studies that reveal the features of the macroeconomic stability of regional economic systems with a high level of agricultural specialization are of particular interest and are characterized by an increased level of relevance. The study was conducted based on data for 2022, revealing the features of the response of agro-industrial regions of Volga Federal District to systemic changes in the external environment. The methodological basis is a dichotomous analysis of regional shock resistance within the framework of its study through the prism of two key components: vulnerability and the effectiveness of economic recovery. The results of testing the author's approaches are expressed in the developed strategic matrix of resilience of the subjects of Volga Federal District, demonstrating differentiated susceptibility of regional economic systems specializing in the agricultural sector to perturbations in external markets. According to the results of the study, it was found that the regions with a low level of risk of sustainable economic development include the Republic of Bashkortostan and Saratov region. With a moderate level of risk - the Republic of Tatarstan. Group 3, with an increased level of uncertainty, includes Penza and Orenburg regions. Finally, Samara region, characterized by a high level of import dependence against the background of moderate values in the sphere of recovery potential, is classified as high risk. The obtained results indicate that the overwhelming majority of regions of the Volga Federal District with an agro-industrial profile are in the zone of increased risk of resilience. Given their high level in the sphere of providing the country with crop products, violation of the parameters of their economic development creates threats to food security of Russia in the event of emerging trajectories of violation of their sustainable development. Based on the findings, priorities of state policy in the sphere of measures to support these subjects of Volga Federal District were determined in order to maintain economic growth trajectories and mitigate the risks of development of the country's agro-industrial regions.

Key words: agro-industrial sector of the economy, shock resistance, region, strategic management guidelines, sustainability of economic growth, sanctions pressure, macroeconomic shock, import dependence.

References

1. Sitdikova LF, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Problem areas of resource provision for sustainable development of agro-economic systems]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 155-161 p.

2. Chetvertakov IM, Chetvertakova VP. [Theoretical and applied aspects of economic growth and development of

agriculture]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.16. 1(76). 194-200 p.

3. Kirillov RA, Chibirkina EA, Komarov SI. [Analysis of strategic land use planning in the constituent entities of the Russian Federation at the present stage]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 3(82). 240-251 p.

4. Hill EW, Wial H, Wolman H. Exploring regional economic resilience. Institute of Urban and Regional Development, Berkeley. Working paper 2008-04. 2008. 15 p. https://doi. org/10.13140/RG.2.1.5099.4000

5. Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. Journal of Economic Geography. 2012; Vol.1. Issue 1. 1-32 p. https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019

6. Safiullin MR, Burganov RT, Elshin LA, Mingulov AM. [Assessing the prospects for economic growth of Russian regions in the context of sanction restrictions on imports]. Ekonomika regiona. 2023; Vol.19. 4. 1003-1017 p. – DOI 10.17059/ekon.reg.2023-4-5.

7. Mikheeva NN. Resilience of Russian regions to economic shocks. Studies on Russian Economic Development. 2021; Vol.32. No.1. 68-77 p. https://doi.org/10.1134/ S107570072101010X

8. Foster KA. A case study approach to understanding regional resilience. Institute of urban and regional development. University of California. Berkeley. Working paper 2007–08. 2007; [cited 2020, June 17].

9. Kuznetsova OV. [New patterns in the modern dynamics of social and economic development of Russian regions]. Regionalnye issledovaniya. 2023; 1. 19-30 p. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-2

10. Seliverstov VE. Regionalnoe strategicheskoe planirovanie: ot metodologii k praktike. [Regional strategic planning: from methodology to practice]. Novosibirsk: IEOPP SO RAN. 2013.

11. Malkina MYu. [Assessing the sustainability of regional economies based on Mahalanobis distances]. Terra Economicus. 2020; Vol.18. 3. 140-159 p. https:// doi.org/10.18522/2073-6606-2020-18-3-140-159

12. Trends in the development of the agricultural sector of the economy of Volga Federal District. [Internet]. Agrarian science. [cited 2024, October 01]. Available from: https://agrarnayanauka.ru/tendenczii-razvitiya-agrarnogo-sektora-ekonomiki-privolzhskogo-federalnogo-okruga/?ysclid=m1vq8n40cv2757206

13. Kriulina EN, Lugovskoy SI. [Factor analysis of the state of the agricultural economy of the regions of North Caucasus Federal District]. Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve. 2019; 12(57). 188-193 p.

14. Zhangorazova ZhS, Kunasheva ZA, Bagova DM. [Development trends and main challenges of the agricultural sector of the regional economy]. Finansovaya ekonomika. 2021; 8. 35-38 p.

15. Customs statistics of Volga Customs Administration. [Internet]. [cited 2024, April 15]. Available from: https:// ptu.customs.gov.ru/folder/146699.

16. National Bureau of Statistics of China. [Internet]. [cited 2024, February 07]. Available from: https:// data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01.

Authors:

Elshin Leonid Alekseevich - Doctor of Economics, Head of World and Regional Economy Department[1], Director[2], e-mail: Leonid.Elshin@tatar.ru

[1]Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia.

[2]Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia.

Sharapov Azat Rafikovich - Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector, e-mail: info@sportacadem.ru

Volga Region State University of Physical Education, Sports and Tourism, Kazan, Russia.

Mingulov Almaz Minvazykhovich – post-graduate student[1], acting head[2], e-mail: C.p@tatar.ru

[1]Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

[2]Executive Committee of Aksubaevskiy municipal district, Aksubaevo, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-119-127
УДК 338.434

МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУБСИДИРОВАНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА РЕГИОНА

Д. В. Кондратьев, Г. Я. Остаев, Г. С. Клычова, Е. В. Некрасова, Е. В. Александрова

Реферат. Субсидирование производства продукции растениеводства, как в общем-то и в целом всего сельского хозяйства, является одним из важнейших факторов успешного роста и развития АПК регионов, а также основным условием достижения и поддержания продовольственной безопасности страны. Учитывая рискованность и сезонность производства в отрасли растениеводства, большинство сельскохозяйственных товаропроизводителей испытывают реальные финансовые трудности при проведении агротехнологических мероприятий. Поэтому постановлениями правительств отдельных субъектов Российской Федерации о субсидировании сельскохозяйственных товаропроизводителей предусмотрены бюджетные ассигнования на компенсацию части затрат на проведение агротехнологических мероприятий в отрасли растениеводства, в том числе на приобретение и применение горюче-смазочных материалов, удобрений, средств защиты растений и посадочного материала, которые, с одной стороны, служат безвозмездным источником финансирования и инструментом стимулирования требуемых к осуществлению в полном объеме текущих расходов в растениеводстве под прирост урожаев текущего и будущих лет. С другой стороны, бюджетные расходы на компенсацию текущих затрат должны быть эффективны и избирательны, то есть обеспечивать достижение целевых установки государства по непосредственному увеличению объемов производства продукции растениеводства, как сырья для производства продуктов питания, так и кормов для отрасли животноводства, а также опосредованному сохранению и поддержанию уровня подородия почв, росту устойчивости, состоятельности и эффективности деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, доходов и привлекательности жизни сельского населения. В сответствии в целевыми ожиданиями государства авторами работы предлагается производить оценку эффективности бюджетных расходов на агротехнологические мероприятия с применением четырех групп критериев (затраты, результаты, эффект и эффективность) в разрезе трех видов эффективности – экономическая, социальная и обеспечивающая эффективность. Представленные в работе градация и интерпретация значений показателей эффективности, а также оценка их значимости при расчете коэффициентов интегральной и валовой эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий в условиях Удмурсткой Республики могут быть уточнены и скорректированы с учетом целей финансирования и региональных особенностей развития отрасли растениеводства соответствующего субъекта Российской Федерации.

Ключевые слова: эффективность, субсидирование, агротехнологические мероприятия, сельское хозяйство, растениеводство, сельскохозяйственные товаропроизводители, государственная поддержка.

Введение. Субсидирование расходов на проведение агротехнологических работ является одним из вариантов государственной поддержки отрасли растениеводства и выступает в качестве инструмента стимулирования сельскохозяйственных товаропроизводителей к увеличению собственных расходов в прирост площадей посевов, урожайности и объемов производства отдельных, приоритетных для каждого конкретного региона, культур, а также в поддержание плодородия почв, в рост и развитие производства продукции растениеводства [1, 2, 3]. Под агротехнологическими работами понимается комплекс мероприятий по обработке почв, внесению удобрений, подготовке семян и посадочного материала, посеву и посадке (включая стоимость семян и посадочного материала), уходу за посевами, а также по уборке урожая [4, 5].

В разных регионах масштабы и порядок субсидирования как отрасли растениеводства, так и отдельных ее подотраслей различен. Состав субсидируемых расходов, база субсидирования и ставки также различаются. Так, согласно Постановления Правительства Удмуртской Республики от 15.04.2021 года в Удмуртии субсидии предоставляются только на проведение агротехнологических работ, повышение уровня экологической безопасности, плодородия и качества почв из расчета на 1 га посевной площади, занятой картофелем, овощами открытого грунта и льномдолгунцом [6]. В большинстве других аграрных регионов перечень субсидируемых растениеводческих культур значительно шире. Например, согласно Постановления Правительства Пермского края №212-п от 22.03.2022 года такие субсидии предоставляются дополнительно на агротехнологические мероприятия на площадях, занятых зерновыми и кормовыми культурами [7, 8].

Целью исследования в данной работе является разработка методического инструментария исследования и оценки эффективности бюджетного финансирования (субсидирования) затрат сельскохозяйственных товаропроизводителей на проведение агротехнологических мероприятий.

Условия, материалы и методы. В качестве информационной базы исследования

послужили региональные нормативно-правовые по государственной поддержке и субсидированию агротехнологических мероприятий в отрасли растениеводства, а также работы ученых и практиков, посвященные исследованию вопросов и проблем финансирования и оценки эффективности сельского хозяйства регионов, в то числе аналогичные исследования, проведенные и опубликованные ранее авторами данной статьи [1, 9, 10]. Для целей проведения настоящего исследования авторами работы были применены следующие методы исследования: общенаучные (абстрактно-логический, монографический, расчетно-конструктивный) и статистические методы, методы экономического анализа, а также в основу разработки предлагаемого методического инструментария положен статический (бухгалтерский) метод оценки эффективности проектов и мероприятий.

Результаты и обсуждение. Эффективность субсидирования расходов на проведение сельскохозяйственными товаропроизводителями агротехнологических мероприятий зависит от следующих факторов [11, 12]: 1) объема субсидий, предоставляемых на эти мероприятия; 2) соотношения объема финансирования этих расходов за счет бюджетных ассигнований и иных источников финансирования, в том числе собственных источников; 3) организации и порядка предоставления субсидий товаропроизводителям, в том числе количества бюрократических процедур и документов, сроков предоставления финансовых ресурсов с момента понесения хозяйством расходов на агротехнологические мероприятия и т.д.; 4) уровня агротехнологической культуры, морального и физического состояния применяемых техники и технологий, квалификации персонала, сложившегося уровня плодородия почв сельскохозяйственного товаропроизводителя, выполняющего агротехнологические мероприятия [13, 14].

В данной работе нами предлагается оценивать эффективность субсидирования агротехноологических мероприятяий в разрезе трех видов эффективности [15, 16]:

1) коммерческая (или просто экономическая) эффективность предполагает исследование и оценку изменения расходов, доходов и прибыли от продаж как в разрезе видов товарной продукции отрасли растениеводства, так и в целом по всей продукции под влиянием объема средств государственной поддержки на эти мероприятия [17, 18];

2) социально-экономическая эффективность основана на оценке изменения совокупного объема социально-экономических благ, получаемого (приобретаемого) работниками отрасли растениеводства сельскохозяйсвенного товаропроизводителя, как следствия бюджетного софинансирования расходов на агротехнологические мероприятия. Эти блага могут включать в себя прирост оплаты труда, стимулирующих выплат работникам, долю участия работников в доходах (прибыли) предприятия (бонусы, дивиденты и т.д.), любые дополнительные расходы, связанные с улучшением условий труда и жизни работников (льготное питание, отдых, лечение, спорт и т.п.) [19, 20];

3) производственно-экономическая (или обеспечивающая) эффективность предполагает исследование изменения параметров урожайности сельскохозяйственных культур, производительности труда в отрасли, качества продукции растениеводства, объемов ее производства и стоимости под влиянием изменения (увеличения) объемов и стоимости приобретенных и использованных удобрений, ГСМ, средств защиты растений, элитных семян, профинансированных за счет средств государственной поддержки [21, 22, 23].

Традиционные критерии оценки эффективности могут быть представлены критериями [24, 25] капитальных и текущих затрат, текущих результатов, эффекта, эффективности и окупаемости.

Перечень исходных данных и методика расчета корректирующих коэффициентов, обеспечивающих выравнивание воздействия случайных факторов общего внешнего окружения на результаты и эффекты работы отрасли растениеводства [26, 27], для целей определения сглаженных значений критериев и показателей эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Корректирующие коэффициенты [8, 10]

№	Показатели	Обозначения, формулы и их интерпретация
1	2	3
1	Доля бюджетного финансирования затрат	$k_{cxt} = O_{cxt} / O_{cpt}$
	Коэффициент бюджетного финансирования	k_{cxt} Значение коэффициента отражает удельный вес субсидий, предоставленных на проведение агротехнологических мероприятий, в совокупном объеме бюджетного финансирования расходов отрасли растениеводства в отчетном году
	Объем субсидий на агротехнологические мероприятия в отчетном году	O_{cxt} Объем субсидий, полученных сельскохозяйственным товаропроизводителем, под урожай текущего (отчетного) года для компенсации части затрат на проведение агротехнологических мероприятий

Продолжение Таблицы 1

1	2	3
	Совокупный объем государственной поддержки отрасли растениеводства в отчетном году	O_{cpt} Общий объем полученных в отчетном (текущем) году сельскохозяйственным товаропроизводителем средств государственной поддержки отрасли растениеводства, предоставленных для компенсации части любых затрат и включаемых в конечном счете в себестоимость продукции растениеводства
2	Относительное изменение урожайности сельскохозяйственных культур	$k_{ypt}= Y_{pt}/Y_{p(t-1)}$,
	Коэффициент изменения урожайности культур	k_{ypt} Используется для корректировки влияния природно-климатических факторов на изменение урожайности субсидируемых сельскохозяйственный культур
	Урожайность р-й культуры в отчетном году	Y_{pt} Показатель отражает среднюю урожайность р-й субсидируемой культуры в текущем (отчетном) году и рассчитывается в среднем по группе хозяйств, району или региону
	Урожайность р-й культуры в году, предшествующем отчетному году	$Y_{p(t-1)}$ Показатель отражает среднюю урожайность субсидируемой р-й культуры в предшествующем (прошлом) году и рассчитывается в среднем по группе хозяйств, району или региону
3	Относительное изменение среднего уровня цен реализации продукции растениеводства	$k_{цpt} = R_{ptp}/R_{p(t-1)p}$
	Коэффициент изменения уровня цен	$k_{цpt}$ Коэффициент используется для корректировки результатов проведения агротехнологических мероприятий и позволяет устранить влияние на эти результаты изменений рыночной конъюнктуры
	Средняя цена реализации р-го вида продукции в отчетном году	R_{ptp} Показатель рассчитывается в среднем по группе хозяйств, району или региону
	Средняя цена реализации р-го вида продукции в году, предшествующем отчетному году	$R_{p(t-1)p}$ Так же в предшествующем году

Представленный в таблице 1 коэффициент соотношения объема бюджетного финансирования и общего объема затрат в хозяйстве на проведение агротехнических мероприятий позволяет установить объемы показателей результатов и эффекта в отрасли растениеводства хозяйства, обусловленные этим бюджетным финансированием. Коэффициент колебаний урожайности под воздействием изменения природно-климатических условий хозяйствования позволяет устранить влияние природно-климатического фактора в оценках критериев и показателей эффективности бюджетного финансирования.

По аналогии, коэффициент изменения среднего уровня цен на продукцию растениеводства также предназначен исключить влияние рыночного фактора на оцениваемые критерии и показатели [1, 28, 29].

Стоимостная оценка (цена) единицы р-го вида субсидируемой продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя (табл. 2), реализованной в течение отчетного года, приравнивается к средней взвешенной цене ее реализации, по нереализованной продукции приравнивается к средней взвешенной цене ее продажи по району или региону [1, 10].

Таблица 2 – Исходные данные [8, 10, 22]

№	Показатели	Обозначения
1	Стоимостная оценка (цена) единицы р-го вида субсидируемой продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в отчетном году	R_{pt}
2	Стоимостная оценка (цена) единицы р-го вида продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в году, предшествующем отчетному году	$R_{p(t-1)}$
3	Производственная себестоимость единицы р-го вида продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в отчетном году	Z_{pt}
4	Производственная себестоимость единицы р-го вида продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в году, предшествующем отчетному году	$Z_{p(t-1)}$
5	Объем производства р-го вида субсидируемой продукции растениеводства хозяйством в отчетном году	O_{pt}
6	Объем производства р-го вида продукции растениеводства хозяйством в предшествующем году	$O_{p(t-1)}$
7	Социально-экономические результаты производства продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в отчетном году	Φ_t
8	Социально-экономические результаты производства продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в году, предшествующем отчетному году	$\Phi_{(t-1)}$

Представленные в таблице 3 показатели результатов отчетного года учитывают изменение природно-климатических и рыночных условий хозяйствования по отношению к показателям результатов предыдущего года.

Таблица 3 – Показатели результатов производства продукции растениеводства [1, 8, 10]

№	Показатели	Формула
1	Объем производства р-го вида субсидируемой продукции растениеводства сельскохозяйственным товаропроизводителем в натуральном выражении в отчетном году, скорректированный на изменение природно-климатических условий по отношению к предшествующему году	$O_{ptк} = O_{pt} / k_{ypt}$
2	Скорректированная на изменение природно-климатических условий хозяйствования производственная себестоимость продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя в отчетном году, полученная с использованием средств государственной поддержки на проведение агротехнологических мероприятий	$Z_t = \sum(Z_{pt} * O_{ptк})$, р$\in$Р
3	Производственная себестоимость продукции растениеводства (аналогичной по составу продукции растениеводства отчетного года), полученной сельскохозяйственным товаропроизводителем в году, предшествующем отчетному году	$Z_{(t-1)} = \sum(Z_{p(t-1)} * O_{p(t-1)})$ р$\in$Р
4	Скорректированная на изменение природно-климатических условий хозяйствования и общего уровня цен стоимость (по рыночным ценам) продукции растениеводства сельскохозяйственного товаропроизводителя, полученной в отчетному году с применением субсидий на агротехнологические мероприятия	$C_t = \sum (O_{ptк} * R_{pt} / k_{цpt})$, р$\in$Р
5	Стоимость (по рыночным ценам) продукции растениеводства (аналогичной по составу продукции растениеводства отчетного года), полученной сельскохозяйственным товапроизводителем в году, предшествующему отчетному году	$C_{(t-1)} = \sum (O_{p(t-1)} * R_{p(t-1)})$, р$\in$Р

Представленные в таблице 4 формулы позволяют рассчитывать в разрезе видов эффективности эффекты от мероприятий субсидирования, скорректированные на изменение условий хозяйствования сельскохозяйственного товаропроизводителя.

Таблица 4 – Показатели эффекта от субсидирования агротехнологических мероприятий [8, 10]

№	Показатели	Формула
1	Экономический (коммерческий) эффект	$\Delta Э_{xt} = (Z_{p(t-1)} - Z_{pt} + (C_t - C_{(t-1)}) * K_{cxt}$
2	Социально-экономический эффект	$\Delta C_{xt} = (\Phi_t - \Phi_{(t-1)}) * K_{cxt}$
3	Производственно-хозяйственный (обеспечивающий) эффект	$\Delta O_{xt} = \sum((O_{ptк} - O_{p(t-1)}) * R_{pt} / k_{цpt} * K_{cxt})$

Таким образом, представленные в таблице 5 в разрезе видов эффективности, показатели эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий учитывают все основные факторы ее предопределяющие, в том числе изменение объема и доля материальных затрат, произведенных в соответствующие агротехнологические мероприятия (субсидии на компенсацию части любых расходов в растениеводстве предполагают пропорциональное участие в них самих производителей), колебания природно-климатических условий и конъюнктуры рынка (применяются корректирующие коэффициенты), а также очевидное усиление мотивации собственников и управляющих, принимающих решения о дополнительных расходах на агротехнологические мероприятия из собственных источников их финансирования.

Градация и интерпретация значений расчетных показателей эффективности, представленных в таблице 5, предложена авторами исходя из преследуемых государственных целей субсидирования агротехнологических мероприятий, а также минимальных ожиданий к уровню эффективности бюджетного финансирования компенсируемых объемов текущих расходов в отрасли растениеводства Удмуртской Республики. Отдельные субъекты РФ могут устанавливать более мягкие или более жесткие шкалы градации уровней эффективности бюджетных расходов на финансирование агротехнологических мероприятий с учетом объемов финансирования и уровней развития производств субсидируемых культур соответствующих регионов.

Таблица 5 – Показатели эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий

№	Показатели	Формула	Пояснения
1	Коэффициент экономической (коммерческой) эффективности	$Э_х=\Delta Э_{хt}/ О_{сxt}$	Определяет массу дополнительной валовой прибыли (убытка), полученной из расчета на 1 рубль потраченных на агротехнологические мероприятия бюджетных субсидий. Если показатель принимает значение от 0,00 до 0,2, то экономическая эффективность субсидирования низкая, если значение коэффициента находится в диапазоне от 0,4 до 0,6 – высокая.
2	Коэффициент социально-экономической эффективности	$С_х=\Delta Ф_{хt} /О_{сxt}$	Определяет объем дополнительных доходов работников, полученных на 1 рубль субсидий, потраченных на агротехнологические мероприятия. Если значение показателя принимает значение от 0,0 до 0,05, то социальная эффективность субсидирования низкая, если значение коэффициента находится в диапазоне от 0,1 до 0,2 – высокая.
3	Коэффициент производственно-хозяйственной (обеспечивающей) эффективности	$О_х=\Delta О_{хt} /О_{сxt}$	Определяет объем дополнительной продукции растениеводства, полученной на 1 рубль бюджетных субсидий, потраченных хозяйством на агротехнологические мероприятия. Если значение показателя принимает значение от 0,0 до 0,05, то обеспечивающая эффективность субсидирования низкая, если значение коэффициента находится в диапазоне от 0,1 до 0,2 – высокая.
4	Коэффициент интегральной эффективности	$И_х = 0,4*Э_х+ 0,3*С_х + 0,3*О_х$	Определяет значение средневзвешенного эффекта, полученного на 1 рубль субсидий, израсходованных хозяйством на агротехнологические мероприятия. Если значение показателя принимает значение от 0,0 до 0,1, то интегральная эффективность субсидирования низкая, если значение коэффициента находится в диапазоне от 0,2 до 0,3 – высокая.
5	Коэффициент валовой эффективности	$В_х = Э_х+ С_х +О_х$	Определяет объем суммарного (валового) эффекта, полученного на 1 рубль субсидий, потраченных товаропроизводителем на проведение агротехнологических мероприятий. Если значение показателя принимает значение от 0,0 до 0,3 (при этом уровень любого вида эффективности не должен быть меньше «минус» 0,05), то валовая эффективность субсидирования низкая, если значение коэффициента находится в диапазоне от 0,7 до 0,9 – высокая.

При интерпретации значений компонентов, составляющих коэффициент валовой эффективности, авторами допускается, что органы управления хозяйствующих субъектов

имеют право в краткосрочном аспекте отдавать приоритет одним видам эффективности в ущерб другим в силу объективной необходимости усиления ключевых позиций хозяйствования (кадры – социально-экономическая эффективность, финансы – коммерческая эффективность, технико-технологическая база – обеспечивающая эффективность). Однако, существенная потеря позиций по любому виду эффективности, по нашему мнению, недопустима.

Выводы. Рассмотренный в работе методический инструментарий исследования и оценки эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий, проводимыми сельскохозяйственными товаропроизводителями в отрасли растениеводства позволяет устанавливать параметры только трех частных (экономическая, социальная и обеспечивающая) и двух комплексных (интегральная и валовая) видов эффективности. Поэтому данный инструментарий может быть дополнен методиками оценки других видов эффективности, например, экологической, общеэкономической, бюджетной, инвестиционной, биологической. Методический инструментарий предполагает оценку эффективности субсидирования на основе четырех критериев – затраты, результаты, эффект и эффективность, что также может быть усовершенствовано посредством добавления таких критериев как устойчивость результатов, окупаемость, синергичность, технологичность и др.

Одной из основных проблем практического применения предлагаемого методического инструментария могут стать недостатки существующей системы учетно-аналитического обеспечения управления сельским хозяйством, что может быть решено как посредством введения необходимых форм отчетности для целей оценки эффективности субсидируемых в отрасли сельского хозяйства проектов и мероприятий, так и посредством дальнейшей цифровизации сельскохозяйственного производства.

Дальнейшее совершенствование методического инструментария оценки эффективности субсидирования агротехнологических мероприятий может быть также связана с детализацией объектов (например, отдельные культуры на определенных почвах в определенных климатических условиях) и предметов финансирования (например, рост объемов и урожайности культур, повышения качества продукции, прирост посевных площадей).

Литература

1.Kondratiev D.V. The efficiency assessment methodic of expenses budget financing on the chemicals acquisition by agricultural producers / D.V. Kondratiev, G.Y. Ostaev, B.N. Khosiev, et. al. // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. vol. 622. pp. 683-695.

2. Internal control of efficiency of use of budgetary funds / A. Zakirova, G. Klychova, R. Nurieva [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. vol. 1259. pp. 98-123.

3. Internal management reporting on efficiency of budget funds use / G. Klychova, A. Zakirova, R. Nurieva [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. vol. 1258. pp. 738-758.

4. Чазова И.Ю., Акмаров П.Б., Князева О.П. Актуальные проблемы социально-экономического развития сельских территорий Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. 2022. Т. 32. № 3. С. 474-481.

5. Постановление Правительства Удмуртской Республики от 15.05.2023г. № 318 «Об утверждении Положения о предоставлении субсидий на поддержку сельскохозяйственного производства по отдельным подотраслям растениеводства и животноводства».

6.Постановление Правительства Удмуртской Республики от 15.04.2021г. № 203 «Об утверждении Положения о предоставлении субсидий на поддержку сельскохозяйственного производства по отдельным подотраслям растениеводства».

7.Постановление Правительства Пермского края от 22.03.2022 N 212-п (ред. от 14.12.2022) «Об утверждении Порядка предоставления субсидий на возмещение части затрат на проведение комплекса агротехнологических работ, повышение плодородия почв».

8. Кондратьев Д.В. Методический инструментарий оценки эффективности бюджетного финансирования вложений в обновление сельскохозяйственной техники и оборудования / Д.В. Кондратьев, Г.Я. Остаев, Г.С. Клычова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 178-190.

9.Alborov R.A. Management of agricultural crops production depending on land quality and intensification factors / R.A. Alborov, D.A. Karagodin, S.M. Kontsevaya, et. al. // Revista de la Universidad del Zulia. 2022. vol. 13. no. 36. pp. 80-92.

10. Кондратьев Д.В. Критерии и показатели эффективности субсидирования расходов сельскохозяйственных товаропроизводителей на удобрения и средства защиты растений / Д.В. Кондратьев, Г.Я. Остаев, О.О. Злобина // Актуальные проблемы эффективного использования агрохимикатов и воспроизводства плодородия почв. Материалы Международной научно-практической конференции. Ижевск, 2022. С. 73-80.

11. Запорожец Д.В. Методические подходы к оценке инновационного развития аграрных экономических систем // Региональная экономика: теория и практика. 2020. Т. 18. № 2. С. 348-365.

12. Никонова А.А. Инвестиции в инновации в современном мире: особенности и закономерности // Синергия. 2017. № 1. С. 71–82.

13.Экономика на постсоветском пространстве в условиях новых патологических вызовов и процессов цифровизации: монография / под научной редакцией К.В. Павлова. Ижевск: Шелест, 2021. 644 с.

14.Тенденции и проблемы развития сельских территорий (по материалам Удмуртской Республики): монография / под научной редакцией А.К. Осипова. Ижевск: Шелест, 2023. 394 с.

15.Kokonov S.I. Influence of presowing seed treatment on the yield of variegated Alfalfa and Eastern Galega / S.I. Kokonov, T.N. Ryabova, et. all. // Plant Science Today. 2021. vol. 8. no. 2. pp. 250-254.

16.Vafina E.F., Kokonov S.I., Mazunina N.I., Milchakova A.V. Formation of the yield of oil crops of the brassicaceae family in the middle Cis-Urals. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 949, 012078 (2022).

17.Babaitseva T.A. Phenotypic variability of seedling organs of winter triticale varieties and its relationship with economically valuable features / T.A. Babaitseva, E.N. Poltorydyadko, et. al. // Research on Crops. 2021. vol. 22. no. 3. pp. 501-507.

18. Akmarov P.B., Rysin I.I., Knyazeva O.P. About the role of digitalization of agriculture in reducing the impact of climate on the technological development of crop production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 988, 042012 (2022).

19. Kontsevaya S.R., Alborov R.A., Kontsevaya S.M., Smutka L., Makunina I.V., Turebekova B. Accounting and analysis of biological asset transformation results in agricultural companies of the Russian Federation. Hradec Economic Days 10(1), 336-342 (2020).

20. Ilyin S.Y., Krasnyanskaya O.V., Shatskaya I.V., Beketova O.N. Business sustainability management in the current scientific and technical climate. E3S Web of Conferences 208, 03034 (2020).

21.Zakirova A., Klychova G., Ostaev G., Zaugarova E., Nigmetzyanov A., Zaharova E. Organizational and methodological approach to managing financial flows of agricultural enterprises. E3S Web of Conferences 164, 10009 (2020).

22. Акмаров П.Б., Князева О.П. Оценка эффективности государственной поддержки сельского хозяйства // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. Т. 223. № 3. С. 451–456.

23. Бурцева К. Ю. Направления повышения эффективности внутреннего контроля бизнес-процессов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 1(68). С. 151-159.

24. Тимин А. Н., Сапожникова Е. С. Субсидирование сельскохозяйственных предприятий Кировской области в контексте обеспечения экономической безопасности региона // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 3. № 11(140). С. 91-103. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2023.11.03.011.

25. Калафатов Э. А. Развитие сельских территорий через субсидирование предприятий агропромышленного комплекса: стратегии и эффективность // Инновационные научные исследования. 2024. № 4-1(41). С. 112-118. – DOI 10.5281/zenodo.11561570.

26. Потапцева Е. В., Смирных С. Н., Турлакова Т. Государственное субсидирование сельского хозяйства: пример Свердловской области // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2020. № 3(77). С. 100-110. – DOI 10.17277/voprosy.2020.03.pp.100-110.

27. Субсидирование аграрного сектора: новые правила, старые проблемы / О. В. Глеба, К. А. Чудакова, А. Л. Золкин, М. С. Чистяков // Управленческий учет. 2021. № 3-2. С. 324-329.

28. Субсидирование малых предприятий как фактор развития малого и среднего предпринимательства в современных условиях / Т. Г. Мироседи, Н. В. Иевлева, О. А. Гаврилова, Т. В. Нестеренко // Финансовая экономика. 2020. № 5. С. 177-180.

29. Старкова О. Я. Субсидирование кредитования аграрного малого бизнеса // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2020. № 1(151). С. 91-94. – DOI 10.34773/EU.2020.1.22.

Сведения об авторах:

Кондратьев Дмитрий Викторович - кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и права, e-mail: kondratievdmitri@mail.ru

Остаев Гамлет Яковлевич - кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета, финансов и аудита, e-mail: ostaeff@yandex.ru

Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

Клычова Гузалия Салиховна - доктор экономических наук, заведующая кафедрой бухгалтерского учета и аудита, e-mail: kgaukgs@mail.ru.

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

Некрасова Елена Викторовна - кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и права, e-mail: nekrasova-elena-v@mail.ru

Александрова Елена Викторовна - кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета, финансов и аудита, e-mail: 49684968@mail.ru

Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

METHODOLOGICAL TOOLS FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF SUBSIDIZING AGROTECHNOLOGICAL EVENTS IN THE REGION CROPPING INDUSTRY

D. V. Kondratev, G. Ya. Ostaev, G. S. Klychova, E. V. Nekrasova, E. V. Aleksandrova

Abstract. Subsidizing the production of crop products, as well as all agriculture in general, is one of the most important factors for the successful growth and development of the regional agro-industrial complex, as well as the main condition for achieving and maintaining the country's food security. Considering the riskiness and seasonality of production in the crop production industry, most agricultural producers experience real financial difficulties when carrying out agrotechnological activities. Therefore, the decrees of the governments of individual constituent entities of the Russian Federation on subsidizing agricultural producers provide for budgetary allocations to compensate for part of the costs of implementing agrotechnological measures in the crop production sector, including the purchase and use of fuels and lubricants, fertilizers, plant protection products and planting material, which, on the one hand, serve as a gratuitous source of financing and an instrument for stimulating the required full implementation of current expenses in crop production for the increase in yields of the current and future years. On the other hand, budgetary expenditures to compensate for current costs must be effective and selective, that is, ensure the achievement of the state's target setting for a direct increase in the volume of crop production, both raw materials for food production and feed for the livestock sector, as well as indirect preservation and support of the level of soil fertility, increased sustainability, solvency and efficiency of agricultural producers, income and attractiveness of life of the rural population. In accordance with the target expectations of the state, authors propose to evaluate the effectiveness of budget expenditures on agrotechnological measures using four groups of criteria (costs, results, effect and efficiency) in the context of three types of efficiency - economic, social and ensuring efficiency. The gradation and interpretation of the efficiency indicators values, presented in the work, as well as the assessment of their significance in calculating the coefficients of the integral and gross efficiency of subsidizing

agrotechnological measures in the Udmurt Republic conditions can be clarified and adjusted taking into account the financing objectives and regional characteristics of the crop production sector development of the Russian Federation corresponding subject.

Key words: efficiency, subsidizing, agrotechnological measures, agriculture, crop production, agricultural producers, government support.

References

1.Kondratev DV, Ostaev GYa, Khosiev BN. The efficiency assessment methodic of expenses budget financing on the chemicals acquisition by agricultural producers. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023; Vol.622. 683-695 p.

2. Zakirova A, Klychova G, Nurieva R. Internal control of efficiency of use of budgetary funds. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021; Vol.1259. 98-123 p.

3. Klychova G, Zakirova A, Nurieva R. Internal management reporting on efficiency of budget funds use. Advances in intelligent systems and computing. 2021; Vol.1258. 738-758 p.

4. Chazova IYu, Akmarov PB, Knyazeva OP. [Actual problems of social and economic development of rural areas of Udmurtia]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Ekonomika i pravo. 2022; Vol.32. 3. 474-481 p.

5. Postanovlenie Pravitelstva Udmurtskoy Respubliki ot 15.05.2023 № 318 "Ob utverzhdenii Polozheniya o predostavlenii subsidii na podderzhku selskokhozyaystvennogo proizvodstva po otdelnym podotraslyam rastenievodstva i zhivotnovodstva". [Resolution of the Udmurt Republic government dated May 15, 2023 No. 318 "On approval of Regulation on the provision of subsidies to support agricultural production in certain sub-sectors of crop production and livestock farming"].

6. Postanovlenie Pravitelstva Udmurtskoy Respubliki ot 15.04.2021 № 203 "Ob utverzhdenii Polozheniya o predostavlenii subsidii na podderzhku selskokhozyaystvennogo proizvodstva po otdelnym podotraslyam rastenievodstva". [Resolution of the Udmurt Republic government dated April 15, 2021 No. 203 "On approval of Regulation on the provision of subsidies to support agricultural production in certain sub-sectors of crop production"].

7. Postanovlenie Pravitelstva Permskogo kraya ot 22.03.2022 № 212-p (red. ot 14.12.2022) "Ob utverzhdenii Poryadka predostavleniya subsidii na vozmeshchenie chasti zatrat na provedenie kompleksa agrotekhnologicheskikh rabot, povyshenie plodorodiya pochv". [Resolution of Perm Krai government dated March 22, 2022 No. 212-p (as amended on December 14, 2022) "On approval of Procedure for providing subsidies to reimburse part of the costs of carrying out a set of agrotechnological works, increasing soil fertility"].

8. Kondratev DV, Ostaev GYa, Klychova GS. [Methodological tools for assessing the effectiveness of budget financing of investments in the renewal of agricultural machinery and equipment]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2 (70). 178-190 p.

9. Alborov RA, Karagodin DA, Kontsevaya SM. Management of agricultural crops production depending on land quality and intensification factors. Revista de la Universidad del Zulia. 2022; Vol.13. No.36. 80-92 p.

10. Kondratev DV, Ostaev GYa, Zlobina OO. [Criteria and indicators of the effectiveness of subsidizing the costs of agricultural producers for fertilizers and plant protection products. Actual problems of the efficient use of agrochemicals and restoration of soil fertility]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Izhevsk. 2022; 73-80 p.

11. Zaporozhets DV. [Methodological approaches to assessing the innovative development of agrarian economic systems]. Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika. 2020; Vol.18. 2. 348-365 p.

12. Nikonova AA. [Investments in innovations in the modern world: features and patterns]. Sinergiya. 2017; 1. 71-82 p.

13. Pavlov KV. Ekonomika na postsovetskom prostranstve v usloviyakh novykh patologicheskikh vyzovov i protsessov tsifrovizatsii: monografiya. [Economy in the post-soviet space in the context of new pathological challenges and digitalization processes: monograph]. Izhevsk: Shelest. 2021; 644 p.

14. Osipov AK. Tendentsii i problemy razvitiya selskikh territorii (po materialam Udmurtskoy Respubliki): monografiya. [Trends and problems of rural development (based on materials from the Udmurt Republic): monograph]. Izhevsk: Shelest. 2023; 394 p.

15. Kokonov SI, Ryabova TN. Influence of presowing seed treatment on the yield of variegated Alfalfa and Eastern Galega. Plant Science Today. 2021; Vol.8. No.2. 250-254 p.

16. Vafina EF, Kokonov SI, Mazunina NI, Milchakova AV. Formation of the yield of oil crops of the brassicaceae family in the Middle Urals. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 949. 012078 (2022).

17. Babaytseva TA, Poltorydyadko EN. Phenotypic variability of seedling organs of winter triticale varieties and its relationship with economically valuable features. Research on crops. 2021; Vol.22. No.3. 501-507 p.

18. Akmarov PB, Rysin II, Knyazeva OP. About the role of digitalization of agriculture in reducing the impact of climate on the technological development of crop production. IOP Conference Series: Earth and Environmental science. 988. 2022; 042012 p.

19. Kontsevaya SR, Alborov RA, Kontsevaya SM, Smutka L, Makunina IV, Turebekova B. Accounting and analysis of biological asset transformation results in agricultural companies of the Russian Federation. Hradec Economic Days 10 (1). 2020; 336-342 p.

20. Ilyin SY, Krasnyanskaya OV, Shatskaya IV, Beketova ON. Business sustainability management in the current scientific and technical climate. E3S Web of Conferences 208. 2020; 03034 p.

21. Zakirova A, Klychova G, Ostaev G, Zaugarova E, Nigmetzyanov A, Zaharova E. Organizational and methodological approach to managing financial flows of agricultural enterprises. E3S Web of Conferences 164. 2020; 10009 p.

22. Akmarov PB, Knyazeva OP. [Assessing the effectiveness of state support for agriculture]. Nauchnye trudy Volnogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii. 2020; Vol.223. 3. 451-456 p.

23. Burtseva KYu. [Directions for improving the efficiency of internal control of business processes]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.14. 1(68). 151-159 p.

24. Timin AN, Sapozhnikova ES. [Subsidizing agricultural enterprises of Kirov region in the context of ensuring the economic security of the region]. Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2023; Vol.3. 11(140). 91-103 p. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2023.11.03.011.

25. Kalafatov EA. [Development of rural areas through subsidizing enterprises of the agro-industrial complex: strategies and efficiency]. Innovatsionnye nauchnye issledovaniya. 2024; 4-1(41). 112-118 p. – DOI 10.5281/zenodo.11561570.

26. Potaptseva EV, Smirnykh SN, Turlakova T. [State subsidies for agriculture: the example of Sverdlovsk region]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I.Vernadskogo. 2020; 3(77). 100-110 p. – DOI 10.17277/voprosy.2020.03.pp.100-110.

27. Gleba OV, Chudakova KA, Zolkin AL, Chistyakov MS. [Subsidies for the agricultural sector: new rules, old problems]. Upravlencheskiy uchet. 2021; 3-2. 324-329 p.

28. Mirosedi TG, Ievleva NV, Gavrilova OA., Nesterenko TV. [Subsidizing small enterprises as a factor

in the development of small and medium-sized businesses in modern conditions]. Finansovaya ekonomika. 2020; 5. 177-180 p.

29. Starkova OYa. [Subsidizing of lending to agricultural small businesses]. Ekonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskiy zhurnal. 2020; 1(151). 91-94 p. – DOI 10.34773/EU.2020.1.22.

Authors:

Kondratev Dmitriy Viktorovich – Ph.D. in Economics, Associate Professor of Management and Law Department, e-mail: kondratievdmitri@mail.ru

Ostaev Gamlet Yakovlevich – Ph.D. in Economics, Associate Professor of Accounting, Finance and Auditing Department, e-mail: ostaeff@yandex.ru

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia.

Klychova Guzaliya Salikhovna - Doctor of Economics, Head of Accounting and Auditing Department, e-mail: kgaukgs@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Nekrasova Elena Viktorovna – Ph.D. in Economics, Associate Professor of Management and Law Department, e-mail: nekrasova-elena-v@mail.ru

Aleksandrova Elena Viktorovna – Ph.D. in Economics, Associate Professor of Accounting, Finance and Audit Department, e-mail: 49684968@mail.ru

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-128-133
УДК 334.7

РАЗВИТИЕ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО АГРОБИЗНЕСА РЕГИОНА В СИСТЕМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ КООПЕРАЦИИ

Л. В. Михайлова

Реферат. Субъекты малого агробизнеса занимают важное место в развитии российского агропромышленного комплекса, их роль неоспорима в обеспечении продовольственной безопасности страны, комплексном развитии сельских территорий. Функционирование и развитие малых и средних предприятий в Российской Федерации, и по регионам в том числе, в большей степени происходит обособленно, однако более высоких темпов в производстве и финансировании можно достичь в системе сельскохозяйственной кооперации. Немаловажным аспектом в этой связи выступает и то, что в последнее время государство поддерживает те субъекты малого аграрного бизнеса, которые продолжают свое развитие именно в системе сельскохозяйственной кооперации, финансирование которых на развитие материально-технической базы со стороны государства достигает 70 млн руб. Роль малых предприятий неоспорима и в развитии сельских территорий, чему в последнее время отводится огромное значение на государственном уровне. За счет размещения их деятельности на сельских территориях обеспечивается занятость на селе, развивается социальная инфраструктура, повышается качество жизни у сельских жителей. В связи с реализацией огромных задач, возложенных на субъектов малого агробизнеса, важно поддержать как начинающих, так и действующих сельских предпринимателей в своем стремлении заниматься на земле, чаще всего не столь в прибыльном, но именно они в большей степени предопределяют будущее российского села. Наряду с оказанием финансовой поддержки сельским предпринимателям необходимо организовать и иные формы поддержки, особенно информационную и консультационную. Несмотря на то, что в Республике Татарстан за 2019-2023 годы количество сельскохозяйственных потребительских кооперативов увеличилось в 1,5 раза, их выручка возросла более чем в 5 раз, а чистая прибыль – в 8,9 раза. В настоящее время особым спросом у сельских предпринимателей пользуются различные образовательные проекты, так как для использования ресурсов, предоставляемыми государством на развитие своего дела, помимо финансовой составляющей, важно грамотно уметь их распределять для расширенного воспроизводства. Дальнейшее эффективное развитие субъектов малого агробизнеса в регионе предполагается в системе сельскохозяйственной кооперации, проблема вовлечения новых членов должна решаться путем активной пропаганды, разъяснением преимуществ и преференций кооперативов, проведения обучающих семинаров-совещаний, вебинаров, онлайн и офлайн консультаций и др.

Ключевые слова: субъекты малого агробизнеса, сельскохозяйственная кооперация, крестьянские (фермерские) хозяйства, хозяйства населения, сельские территории, сельские предприниматели.

Введение. Развитию субъектов малого агробизнеса во все времена уделялось много внимания со стороны как российских ученых, так и зарубежных. История развития различных форм хозяйствования нашли отражение в научных трудах классиков-экономистов (А. Смит, Ж.-Б. Сэй, Р. Кантильон, Ф. Хайек, М. Питерс и др.). Считается, что наибольший скачок развития российского малого предпринимательства приходится на времена распада Советского Союза в начале 1990-х годов [1]. В настоящее время вопросами функционирования и развития малого аграрного бизнеса занимаются такие отечественные ученые-экономисты, как А.Р. Набиева [2], Т.А. Дозорова [3], Е.В. Закшевская [4], В.Ф. Башмачников, А.В. Ткач [5] и др., при этом они отмечают преимущества функционирования малых предприятий в системе сельскохозяйственной кооперации.

По мнению А.Р. Набиевой, малый агробизнес в лице крестьянских (фермерских) хозяйств и хозяйств населения производят значительные объемы сельскохозяйственной продукции на местах, создавая при этом благоприятные условия для развития вертикальной кооперации на селе [2].

Т.А. Дозорова, В. М. Севастьянова отмечают важность хозяйствования малых и средних предприятий в комплексном развитии сельских территорий [3].

В.Ф. Башмачников, А.В. Ткач считают, что крупные агрохолдинги, имеющие высокую доходность, вполне могут вместе с государством принять участие в поддержке малого агробизнеса и особенно семейных ферм и потребительских кооперативов, обеспечивающих гарантированный сбыт продукции, произведенный малыми формами хозяйствования [5].

Мы солидарны с утверждением, что субъекты малого аграрного бизнеса в форме крестьянских (фермерских) хозяйств и хозяйств населения являются драйверами развития сельских территорий, при этом обеспечивая финансовое благополучие каждого игрока на рынке товаров и услуг [6, 7]. Для полноценного участия малого агробизнеса в обеспечении продовольственной безопасности страны, роста конкурентоспособности по отношению к крупному бизнесу, достижения более высоких финансовых результатов, дальнейшее их развитие предполагается в системе сельскохозяйственной кооперации.

Целью исследования выступает оценка перспектив развития субъектов малого аграрного бизнеса в системе сельскохозяйственной кооперации с учетом имеющихся предпосылок.

Условия, материалы и методы. В процессе исследования были применены такие методы как: экономико-статистический, абстрактно-логический, монографический, ситуационного и структурного анализа. Были использованы результаты исследований современных отечественных и зарубежных ученых по вопросам хозяйствования и развития субъектов малого агробизнеса, официальные источники статистических данных.

Результаты и обсуждение. В Российской Федерации субъектами малого аграрного бизнеса принято считать крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели, хозяйства населения, сельскохозяйственные потребительские кооперативы, а также коммерческие организации, соответствующие критериям отнесения к малому предпринимательству.

В российском агропромышленном комплексе наблюдается обособленное функционирование и развитие малых форм хозяйствования, в основном так происходит из-за недоверия остальным игрокам на рынке товаров и услуг, а также недопонимания преимуществ хозяйствования в кооперативном предпринимательстве [8].

Несмотря на все трудности и ограничения субъектами малого агробизнеса уже выполнено и реализовано множество задач на федеральном и региональном уровнях, они являются активными игроками на продовольственных рынках; вносят свой вклад в достижении показателей самообеспечения продуктами питания соответствующих регионов и страны в целом, комплексном развитии сельских территорий и повышения уровня жизни населения [9, 10].

В малых формах хозяйствования Республики Татарстан объем валовой продукции сельского хозяйства за 2023 год составлял 128,1 млрд. руб., то есть более 2/5 от общерегионального производства, соответственно на хозяйства населения приходилось 98 млрд руб. (33,9%), крестьянские (фермерские) хозяйства – 30,1 млрд. руб. (10,4%).

В регионе проводят целенаправленную работу по созданию условий для развития сельскохозяйственной кооперации для субъектов малых форм хозяйствования, количественные показатели которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Численность субъектов малых форм хозяйствования в Республике Татарстан за 2019-2023 годы

Показатели	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023
Численность крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей, ед.	2945	2984	3006	3034	3080
Численность личных подсобных хозяйств, тыс. ед.	457,1	457,8	399,2	400,1	417,0
Количество сельскохозяйственных потребительских кооперативов, ед.	258	298	417	402	387

Количество крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей в регионе с 2019 по 2023 года увеличилось с 2945 до 3080 единиц, что обусловлено ростом численности последних. Примечательно то, что количество сельскохозяйственных потребительских кооперативов в течение 5 лет увеличивается, что стало результатом целенаправленной государственной политики по поддержке сельскохозяйственной кооперации. К таким мерам можно отнести: выделение государственной поддержки как из федерального, так и регионального бюджета; выезды и агитация сельских предпринимателей на местах; пропаганда кооперативного предпринимательства; компетентная помощь местных органов власти в оформлении документации и организации переговоров с потенциальными партнерами по бизнесу и др. [11].

Несмотря на небольшие изменения в количестве сельскохозяйственных потребительских кооперативов в регионе, наблюдается тенденция роста результатов их функционирования за последние пять лет: выручка увеличилась более чем в 5 раз, чистая прибыль – в 8,9 раза (табл. 2).

Таблица 2 – Финансовые результаты сельскохозяйственных потребительских кооперативов в Республике Татарстан за 2019-2023 годы, тыс. руб.

Показатели	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023
Выручка	2720469	6241773	8912615	12942853	13927673
Расходы по обычным видам деятельности	2528852	5624966	8416897	12361177	13143001
Прибыль от продаж	67067	403973	495718	581676	784672
Чистая прибыль	90713	419989	569188	690492	810719

Такая положительная динамика развития потребительской кооперации в значительной мере обусловлено мерами государственной поддержки, к примеру, в 2023 году 4 кооператива из Кукморского муниципального района «Лельвиж», «Монокорм», «Навруз», «Ансар» получили субсидии на 33 млн. руб.

В Республике Татарстан немало успешных кооперативов, которые своими усилиями и благодаря ощутимой государственной поддержке смогли реализоваться и занять свою нишу на рынке, быть конкурентоспособными крупному бизнесу, продукцию которых потребители все чаще и чаще видят на полках магазинов, ярмарках и рынках. К таким можно отнести: СППК «Каймак» Сабинского района, специализирующийся на производстве молока, объединяет 24 хозяйств; кооператив «Баракат» Азнакаевского района, занимающийся также молочным производством; кооператив «Юлдуз» Кайбицкого района, созданный на основе объединения трех крестьянских (фермерских) хозяйств и тринадцати личных подсобных хозяйств, где помимо сбора молока, также занимаются заготовкой и переработкой мяса. Все вышеперечисленные кооперативы – это успешные сельскохозяйственные формирования, которые рискнули быть первыми в кооперативном развитии и смогли достичь высоких результатов. Республика Татарстан является одним из лидеров в производстве молока и молочной продукции, в связи с чем и неудивительно, что в регионе больше молочных кооперативов.

Вместе с тем результаты реализации Федерального образовательного проекта «Школа фермера», реализуемый АО «Россельхозбанк», подтверждают заинтересованность у сельских предпринимателей именно направлением «Кооперация». В Республике Татарстан обучение начинающих и действующих фермеров происходит на базе Казанского государственного аграрного университета. В 2024 году по этому проекту всего прошли обучение 35 слушателей, 25 из которых изучали азы кооперации. В процессе обучения слушатели получили не только теоретические знания основ создания и функционирования кооперативных структур, но и были организованы выездные практикоориентированные занятия в следующие кооперативы: СПССК «Дубровские сады» Дрожжановского района (производство и переработка фруктов), СХСПК «Балкыш» Балтасинского района (переработка мяса); СПК «Заготовитель» Лаишевского района (производство чаев с травами и травяных сиропов).

Главным преимуществом кооперативных структур выступает то, что они обретают новое свойство «способность противостоять крупным игрокам на рынке товаров и услуг, стать конкурентоспособными и завоевать свою нишу на рынке». Как правило, отпускные цены на товары и услуги субъектов малого агробизнеса выше, по сравнению чем у крупных предприятий, которые могут позволить установить цены ниже из-за больших объемов производства и меньшей себестоимости товаров и услуг. В реалиях, когда цена до сих пор остается ключевым критерием для потребителя при покупке продукции, тем более для жителей сельской местности, доходы которых ниже, чем у горожан, малые предприятия не конкурентоспособны по ценовому признаку [12]. Совместные закупки сырья и оборудования, объединение усилий в осуществлении производственных процессов сказывается на уменьшении издержек у субъектов малого агробизнеса, функционирующих в рамках сельскохозяйственной кооперации [13].

Помимо того, что субъекты малого агробизнеса заняты в производстве основных видов сельскохозяйственной продукции, как молоко, мясо и зерно, они так еще и продвигают на рынки новые виды товаров, предлагая уникальные технологии и более качественную продукцию [14, 15]. В современном мире население все больше и больше предпочтение отдает здоровой пище, в этом контексте важно субъектам малого агробизнеса не снижать качество своей произведенной продукции, соблюдая требования технологии, что в дальнейшем станет решающим преимуществом в конкурентной борьбе на рынках сбыта.

В век цифровых технологий и активного применения искусственного интеллекта важно не отставать в развитии всем формам хозяйствования, такой переход легче и без ощутимых финансовых потерь проходит именно у крупных формирований. Дорогостоящее оборудование, обучение и переквалификация персонала, а также постоянные затраты на эксплуатацию вынуждают сельских предпринимателей либо получать кредиты и ссуды в банках под немалые процентные ставки, либо же откладывать идею цифровизации на более лучшие времена, что является недопустимым моментом при переходе на новый этап технологического развития, который в мире получил название «AgroTech 4.0» (АПК 4.0). На основе нового технологического этапа развития сельского хозяйства лежит повышение уровня жизни населения в результате применения новейших информационных технологий, рост конкурентоспособности продукции на мировой арене и др. [16, 17]. Наиболее востребованными цифровыми решениями на малых предприятиях являются технологии сбора, обработки и анализа больших данных, а также облачные сервисы и цифровые платформы, в то время как цифровые двойники, аддитивные и предиктивные технологии практически не востребованы в этом сегменте.

Несмотря на колоссальную работу со стороны государственных органов власти, субъекты малого агробизнеса не с особым доверием относятся к кооперативному предпринимательству. В связи с чем предлагается реализация мероприятий по развитию субъектов

малого агробизнеса, в том числе и в системе сельскохозяйственной кооперации:

- законодательно закрепить финансовую поддержку малым формам в цифровой трансформации с целью более быстрого перехода к цифровой модели ведения сельского хозяйства [18, 19];

- более эффективное функционирование единого окна для подачи заявок на получение государственной поддержки с целью обеспечения прозрачности выделения бюджетного финансирования субъектам малого предпринимательства;

- поддержка сельскохозяйственных кооперативов с разносторонней специализацией для сбалансированного развития регионального агропромышленного комплекса, в том числе по основным видам продукции таких, как, молока, мясо, зерно [20] и др.;

- своевременная помощь в организации взаимовыгодного сотрудничества субъектов малого предпринимательства с магазинами и поставок продукции в ярмарки и выставки;

- более широкое освещение положительного опыта функционирования и развития сельскохозяйственного кооперативного предпринимательства на научно-практических конференциях, семинарах, круглых столах, средствах массовой информации.

Выводы. Субъекты малого агробизнеса по сей день сохраняют за собой прочную позицию в производстве основных видов сельскохозяйственной продукции в регионах. Заинтересованность со стороны районного и местного управления в благоприятном функционировании и развитии сельских предпринимателей, прозрачная система финансирования, активное внедрение в своей деятельности цифровых разработок и автоматизированных систем, грамотное сопровождение деловых сделок – это всего лишь часть предстоящих шагов на пути становления устойчивого кооперативного предпринимательства в стране, в Республике Татарстан, в частности.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан (соглашение №144/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Волобуева Т. А. Роль малых форм хозяйствования в аграрном секторе экономики // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2011. № 11. С. 66-68.

2. Набиева А. Р. Хозяйства населения и крестьянские (фермерские) хозяйства в системе кооперации: преимущества и перспективы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 1(68). С. 116-126.

3. Дозорова Т. А., Севастьянова В. М. Региональные аспекты развития малых форм хозяйствования АПК // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 3. С. 50-56.

4. Мандрова А. А., Широбоков В. Г., Закшевская Е. В. Стратегические параметры развития малого и среднего бизнеса аграрного сектора экономики // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 4(86). С. 254-262.

5. Башмачников В. Ф., Ткач А. В. Малый агробизнес как база для развития кооперации при цифровой экономике / Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2021. № 1. С. 12-22.

6. Михайлова Л. В., Мухаметгалиев Ф. Н., Валиев А. Р. Фермерство в Республике Татарстан: их роль в системе аграрного бизнеса и тенденция развития // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 148-153.

7. Implementation of rural economy sustainable development policy / L. Sitdikova, F. Mukhametgaliev, M. Khismatullin [et al.] // . Vol. 52, 2022. – P. 00017.

8. К вопросу о сущности и особенностях кооперативного предпринимательства в аграрной сфере / Д. Ф. Хафизов, М. Р. Шамсутдинова, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1(65). С. 147-154.

9. Методические подходы к формированию фонда оплаты труда наемных работников в фермерском секторе агроэкономики / К. П. Колотырин, А. В. Наянов, М. В. Сидельникова, Е. В. Бородастова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 1(80). С. 173-184.

10. Особенности формирования и развития многоукладной аграрной экономики России / И. Л. Воротников, Л. Н. Девяткина, А. Ю. Петров, А. Ш. Ситалиев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2(81). С. 117-125.

11. Development of Agricultural Cooperation in the Republic of Tatarstan / D. F. Hafizov, M. M. Khismatullin, F. N. Avkhadiev [et al.] // Challenges of the Modern Economy. Digital Technologies, Problems, and Focus Areas of the Sustainable Development of Country and Regions. Cham : Springer, 2023. P. 589-592.

12. Полбицын С. Н. Роль предпринимательства в устойчивом развитии сельских территорий России // Экономика региона. 2021. Т. 17. 2. – С. 619-631.

13. Кальченко С. В. Направления обеспечения эффективной деятельности семейных форм аграрного производства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 3(75). – С. 112-119.

14. Михайлова Л. В. Кластерный подход в развитии субъектов малого агробизнеса // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 1(69). С. 125-130.

15. Nabiyeva A. R., Suglobov A. E. Formation of National Food Security / Cooperation and Sustainable Development: Conference proceedings, Moscow, 15–16 декабря 2020 года. Vol. 245. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. P. 1161-1169.

16. Advanced digital transformations for food security / E. F. Amirova, I. N. Safiullin, O. V. Bakhareva,

A. I. Sakhbieva // BIO Web of Conferences : Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021), Smolensk, 27 ноября 2021 года. Vol. 42. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2022. – P. 04008.

17. Интеграция малых форм хозяйствования в цифровую экосистему региональной аграрной экономики / Л. В. Попова, М. С. Лата, П. А. Мелихов, М. А. Годунова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 3(82). С. 182-196.

18. Беляева А. С., Никитина А. А. О проблемах и перспективах цифровой трансформации отечественного АПК // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 1. С. 34-40.

19. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н. В. Степных, Е. В. Нестерова, А. М. Заргарян, С. А. Копылова // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 97-102.

20. Особенности ценообразования на рынке зерна / Э. Ф. Амирова, И. Н. Сафиуллин, Е. В. Губанова, М. М. Ханнанов // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 163-167.

Сведения об авторе:
Михайлова Лилия Валериковна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства, e-mail: lilmikhajlova@yandex.ru
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

DEVELOPMENT OF SMALL AGRIBUSINESS ENTITIES OF THE REGION IN THE AGRICULTURAL COOPERATION SYSTEM

L. V. Mikhaylova

Abstract. Small agribusiness entities occupy an important place in the development of the Russian agro-industrial complex, their role is undeniable in ensuring food security of the country, integrated development of rural areas. The functioning and development of small and medium enterprises in the Russian Federation, including by regions, to a greater extent occurs separately, but higher rates of production and financing can be achieved in the agricultural cooperation system. An important aspect in this regard is the fact that recently the state has been supporting those small agricultural businesses that continue their development in the system of agricultural cooperation, whose financing for the development of the material and technical base from the state reaches 70 million rubles. The role of small enterprises is undeniable in the development of rural areas, which has recently been given great importance at the state level. By placing their activities in rural areas, employment in rural areas is ensured, social infrastructure is developed, and the quality of life of rural residents is improved. In connection with the implementation of the enormous tasks assigned to small agribusiness entities, it is important to support both beginning and existing rural entrepreneurs in their desire to work on the land, most often not so profitable, but they are the ones who largely determine the future of the Russian village. Along with providing financial support to rural entrepreneurs, it is necessary to organize other forms of support, especially information and consulting. Despite the fact that in the Republic of Tatarstan in 2019-2023 the number of agricultural consumer cooperatives increased by 1.5 times, their revenue increased by more than 5 times, and net profit - by 8.9 times. Currently, various educational projects are in particular demand among rural entrepreneurs, since in order to use the resources provided by the state for the development of their business, in addition to the financial component, it is important to be able to correctly distribute them for expanded reproduction. Further effective development of small agribusiness entities in the region is expected in the system of agricultural cooperation; the problem of involving new members should be solved through active propaganda, explaining the advantages and preferences of cooperatives, holding training seminars and meetings, webinars, online and offline consultations, etc

Key words: small agribusiness entities, agricultural cooperation, peasant (farm) households, households of the population, rural areas, rural entrepreneurs.

References

1. Volobueva TA. [The role of small farms in the agricultural sector of the economy]. Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2011; 11. 66-68 p.

2. Nabieva AR. [Households and peasant (farm) households in the cooperation system: advantages and prospects]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.14. 1(68). 116-126 p.

3. Dozorova TA, Sevastyanova VM. [Regional aspects of the development of small farms in the agro-industrial complex]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2023; 3. 50-56 p.

4. Mandrova AA, Shirobokov VG, Zakshevskaya EV. [Strategic parameters for the development of small and medium businesses in the agricultural sector of the economy]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii. 2020; Vol.82. 4(86). 254-262 p.

5. Bashmachnikov VF, Tkach AV. [Small agribusiness as a basis for the development of cooperation in the digital economy]. Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki. 2021; 1. 12-22 p.

6. Mikhaylova LV, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Farming in the Republic of Tatarstan: its role in the agricultural business system and development trends]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2 (74). 148-153 p.

7. Sitdikova L, Mukhametgaliev F, Khismatullin M. Implementation of rural economy sustainable development policy. Vol.52. 2022; 00017 p.

8. Khafizov DF, Shamsutdinova MR, Khismatullin MM. [On the essence and features of cooperative entrepreneurship in the agricultural sector]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 147-154 p.

9. Kolotyrin KP, Nayanov AV, Sidelnikova MV, Borodastova EV. [Methodological approaches to the formation of the wage fund for hired workers in the farming sector of the agro-economy]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 1(80). 173-184 p.

10. Vorotnikov IL, Devyatkina LN, Petrov AYu, Sitaliev ASh. [Features of the formation and development of a multi-structured agricultural economy of Russia]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 2(81). 117-125 p.

11. Khafizov DF, Khismatullin MM, Avkhadiev FN. Development of agricultural cooperation in the Republic of Tatarstan. Challenges of the modern economy. digital technologies, problems, and focus areas of the sustainable development of country and regions. Cham: Springer. 2023; 589-592 p.

12. Polbitsyn SN. [The role of entrepreneurship in the sustainable development of rural areas of Russia]. Ekonomika regiona. 2021; Vol.17. 2. 619-631 p.

13. Kalchenko SV. [Directions for ensuring the effective activity of family forms of agricultural production].

Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 3(75). 112-119 p.

14. Mikhaylova LV. [Cluster approach in the development of small agribusiness entities]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 125-130 p.

15. Nabieva AR, Suglobov AE. Formation of National Food Security. Sooperation and sustainable development: conference proceedings, Moscow, 15-16 dekabrya 2020 goda. Vol.245. Cham: Springer Nature Switzerland. 2022; 1161-1169 p.

16. Amirova EF, Safiullin IN, Bakhareva OV, Sakhbieva AI. Advanced digital transformations for food security. BIO Web of Conferences: Sustainable development of traditional and organic agriculture in the concept of green economy (SDGE 2021), Smolensk, 27 noyabrya 2021 goda. Vol.42. EDP Sciences: EDP Sciences. 2022; 04008 p.

17. Popova LV, Lata MS, Melikhov PA, Godunova MA. [Integration of small farms into the digital ecosystem of the regional agricultural economy]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 3(82). 182-196 p.

18. Belyaeva AS, Nikitina AA. [On the problems and prospects of digital transformation of the domestic agro-industrial complex]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol. 37. 1. 34-40 p.

19. Stepnykh NV, Nesterova EV, Zargaryan AM, Kopylova SA. [The use of digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol. 36. 3. 97-102 p.

20. Amirova EF, Safiullin IN, Gubanova EV, Khannanov MM. [Features of pricing in the grain market]. Agrarnaya nauka. 2023; 7. 163-167 p.

Author:

Mikhaylova Liliya Valerikovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Organization of Production, e-mail: lilmikhajlova@yandex.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-134-142
УДК 338.43:01

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Н. А. Сафиуллин, А. Р. Валиев

Реферат. Современные предприятия агропромышленного комплекса активно внедряют цифровые технологии в свою деятельность. При этом они различаются размерами, сферой деятельности, имеющимися ресурсами и цифровыми навыками сотрудников, поэтому каждое из этих предприятий по-разному готовы к цифровым преобразованиям. Шестой технологический уклад предполагает внедрение технологий искусственного интеллекта, Интернета вещей и биотехнологий. Однако аграрная специфика создает определенное ограничение при внедрении перечисленных технологий. К их числу можно отнести слабую ИТ-инфраструктуру, недостаток специализированных устройств, дефицит квалифицированных кадров и недостаточная государственная поддержка. Цифровая зрелость аграрных предприятий также зависит от их инновационной активности. К 2023 году удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации в организациях с развитым животноводством, составило 8,8% от их общего числа, немного отстают хозяйства со смешанным сельским хозяйством – 7,2% и значительно ниже инновационная активность на предприятиях, специализирующихся в растениеводстве – 5,4%. Научная новизна работы заключается в разработке и применении индикативной модели DMPSTC-анализа, охватывающей шесть ключевых элементов: использование данных, управление процессами, управление продуктом, применение сквозных технологий, цифровые компетенции сотрудников и организационную культуру. Полученные результаты показали, что наиболее высокий уровень цифровой зрелости демонстрируют предприятия, занимающиеся производством сельскохозяйственной техники – 4,87 балла, в то время как у сельхозпредприятий, специализирующихся на растениеводстве уровень цифровой зрелости составил 4,38 балла, а хозяйства, которые занимаются производством животноводческой продукции, имеют низкое значение цифровой зрелости. Основными ограничивающими факторами являются нехватка квалифицированных кадров, высокие затраты на модернизацию и существенный дефицит элементов телекоммуникационной инфраструктуры в сельской местности. Авторы подчеркивают необходимость государственной поддержки, инвестиций в развитие цифровых компетенций и модернизацию технологической базы АПК.

Ключевые слова: цифровая зрелость, цифровая трансформация, искусственный интеллект, блокчейн, цифровые компетенции.

Введение. Ускоренное развитие цифровых технологий оказывает существенное влияние на все сферы экономики, в том числе на агропромышленной комплекс. Внедрение искусственного интеллекта, технологий больших данных и Интернета вещей становится основным фактором повышения конкурентоспособности и устойчивого развития сельскохозяйственных организаций. Цифровые технологии способствуют повышению эффективности использования ресурсов, уменьшению затрат и улучшению экологической устойчивости.

Однако уровень готовности к цифровым преобразованиям или цифровая зрелость предприятий АПК зависит от сферы деятельности организации, размера производства, финансовых возможностей и квалификации персонала. Таким образом, цифровая зрелость определяет, насколько организация готова к цифровой трансформации. Согласно определению Погорельцева А.С. и Салимьяновой И.Г., «зрелость» в контексте цифровой экономики может означать период времени и некое состояние, в котором находится участник социальных и/или экономических отношений, которые позволяют говорить о том, что достижение поставленных субъектом целей в полной мере осуществляется с помощью технологий цифровой экономики [1].

По мнению Черданцева В.П., цифровая зрелость агропредприятия – это комплексное состояние агропредприятия в соответствии с рекомендуемыми требованиями шестого технологического уклада, учитывающее компетенции, инновации через применение информационных технологий [2].

К числу ключевых компетенций, характеризующих шестой технологический уклад, можно отнести робототехнику, биотехнологии, нанотехнологии, искусственный интеллект, глобальные информационные сети, космические технологии и возобновляемые источники энергии. Подобные технологии должны сформировать основу для нового типа аграрной экономики, но для этого требуются значительные изменения в институциональной системе агропромышленного комплекса.

Таким образом, для перехода на новый технологический уклад аграрным предприятиям необходимо повышать уровень своей цифровой зрелости. Однако перед ними встает ряд препятствий, которые ограничивают внедрение современных цифровых технологий в свою деятельность.

Специфика аграрного производства накладывает свой отпечаток на процессы внедрения и использования цифровых технологий (рис. 1). Территориальная рассредоточенность объектов производства ограничивает использование сетей четвертого поколения,

так как стабильное 4G-покрытие является основным требованием для внедрения инновационных устройств и цифровых сервисов, таких как беспилотные тракторы и комбайны, датчики умных полей и ферм.

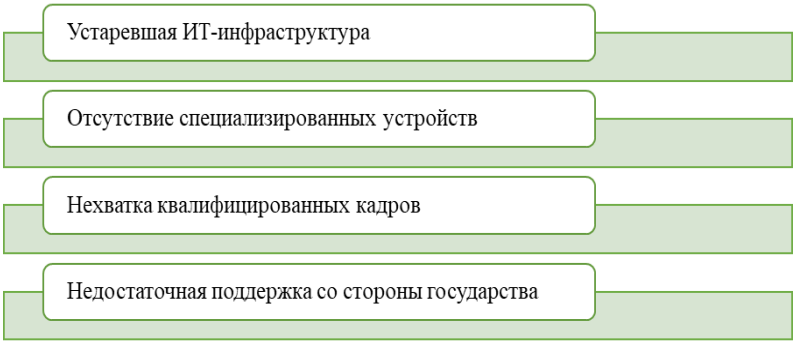


Рис. 1 - Ограничения при внедрении цифровых технологий на предприятиях агропромышленного комплекса (разработано авторами)

Применение в условиях реального агрго-бизнеса сельскохозяйственных машин, оснащенных высокотехнологичными, инновационными конструкциями и решениями, будет способствовать широкомасштабной цифровизации отрасли, что служит значимым трендом развития отечественной экономики [3]. Однако модернизация ИТ-инфраструктуры требует значительных вложений средств, которые невозможны без поддержки со стороны государства и частных инвесторов. При этом, инвесторы часто отказываются от участия в подобных проектах ввиду дороговизны и рискованности процесса внедрения специализированных устройств в сельскохозяйственное производство.

В настоящее время уровень оплаты труда в аграрном секторе значительно отстает по сравнению с другими отраслями экономики, поэтому привлечение ИТ-специалистов на предприятия агропромышленного комплекса является сложной и трудновыполнимой задачей. Нехватка квалифицированных кадров, которые могли бы стать основной для цифровых преобразований, усугубляет низкий уровень цифровой зрелости предприятий АПК [4].

Сельское хозяйство в ближайшие годы обещает прочно войти в число высокотехнологичных отраслей российской экономики [5]. Инновационная активность тесно связана с внедрением цифровых технологий в деятельность сельскохозяйственных организаций, поэтому анализ показателей инновационной активности позволит выявить степень готовности предприятий к цифровой трансформации.

Данные, представленные на рисунке 2, демонстрируют тенденции внедрения инноваций в растениеводстве, животноводстве и смешанном сельском хозяйстве за 2018-2023 годы, отражая степень их адаптации к современным технологическим изменениям.

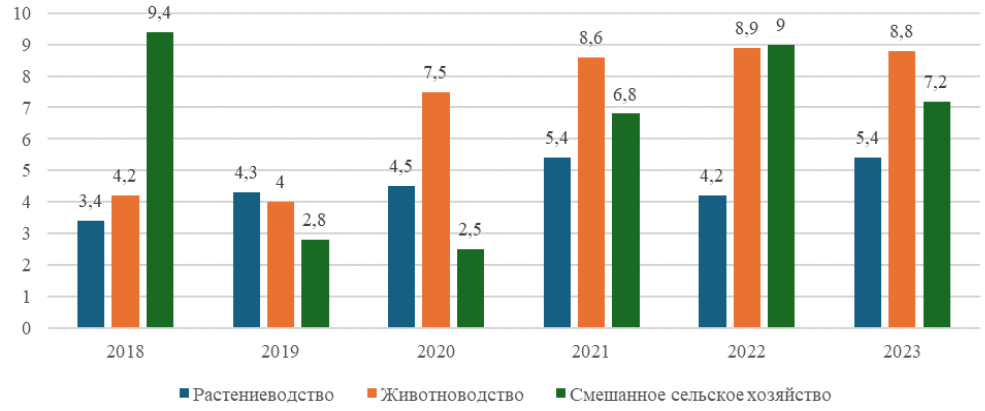


Рис. 2 - Уровень инновационной активности сельскохозяйственных организаций [6]

На представленной диаграмме видно, что инновационная активность в растениеводстве стабильно увеличивалась за исследуемый период, рост составил 2,0 процентных пункта. Основными проблемами использования цифровых технологий в растениеводстве являются сложность внедрения и контроля датчиков, высокая стоимость покупки и обслуживания беспилотной техники и проблемы с безопасностью данных в случае кибератак и быстрое моральное устаревание техники [7]. Инновационная активность в животноводстве имеет

волатильный характер, однако за шестилетний период рост составил 4,6 процентных пункта. Несмотря на то, что темпы освоения инноваций в мире значительно ускорились, в России применение несовершенных технологий и способов механизации выполнения процессов, особенно при приготовлении, балансировании кормовых смесей и их нормировании при выдаче, оптимизации условий содержания и параметров микроклимата приводит к росту затрат – кормов, энергии, рабочего времени и снижению продуктивности животных [8].

В смешанном сельском хозяйстве наблюдается значительное снижение инновационной активности, однако с 2022 года она начала восстанавливаться. За наблюдаемый период спад составил 2,2 процентных пункта. Смешанное сельское хозяйство предполагает производство, при которой на одном предприятии осуществляется несколько видов деятельности, поэтому проблемы цифровой трансформации аналогичны сферам растениеводства и животноводства.

Таким образом цель исследования заключается в систематизации ключевых аспектов повышения цифровой зрелости аграрных предприятий и разработке обоснованных подходов для их эффективной цифровой трансформации.

Условия, материалы и методы. Существуют различные методики оценки цифровой зрелости предприятий. Практически все они построены на проведении измерений различных факторов внутренней среды предприятия и присваивания определённого рейтинга готовности к цифровым преобразованиям.

Авторами была разработана методика оценки цифровой зрелости предприятий АПК (Индикативная модель DMPSTC-анализа). В ее основе лежит оценка отдельных элементов организации, которая проводит цифровую трансформацию, представленная на рисунке 3.

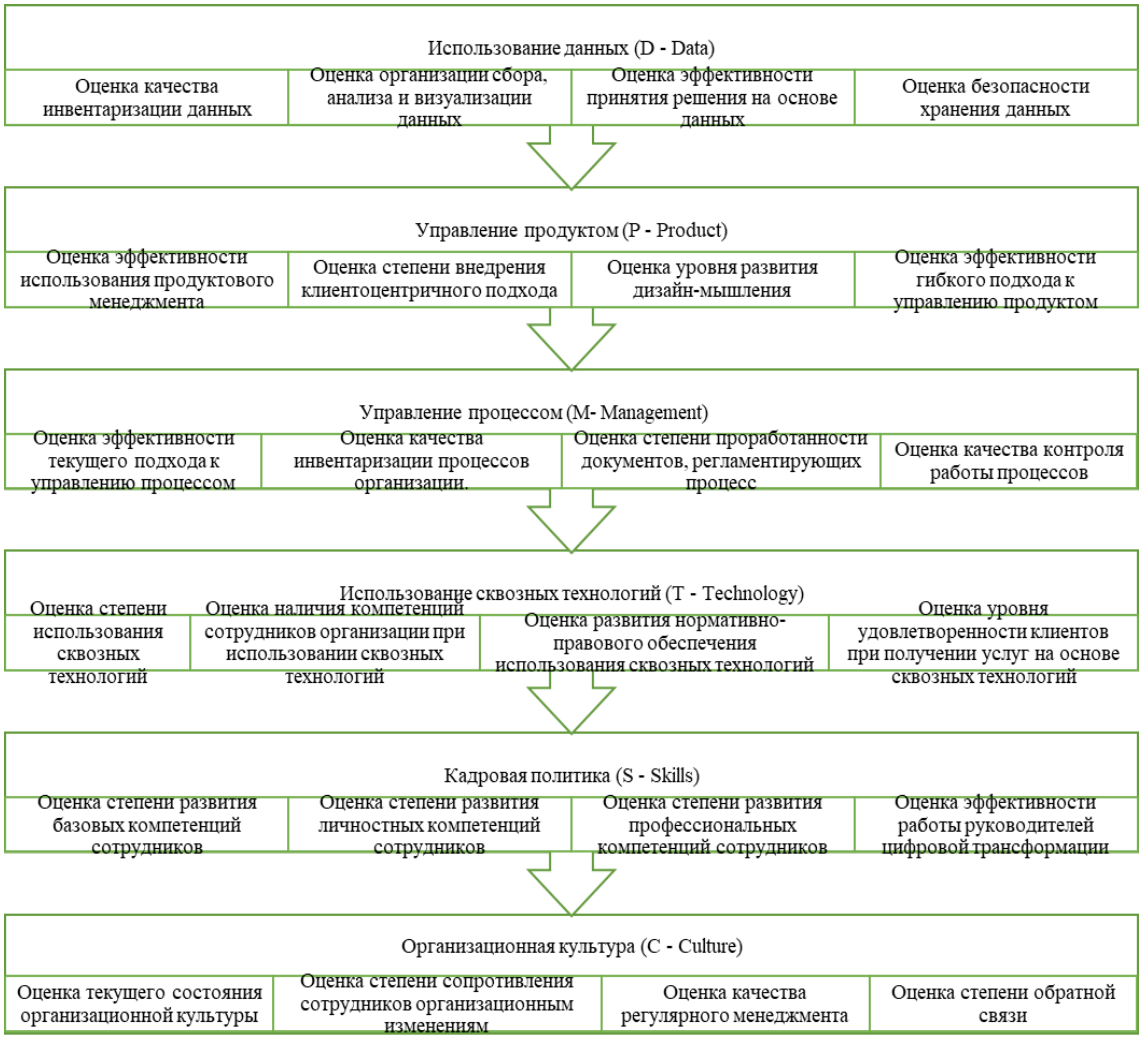


Рис. 3 - Индикативная модель оценки цифровой зрелости организаций (разработано авторами)

Преимуществами представленной модели являются комплексный подход (включает несколько важных направлений деятельности организаций), универсальность (применима к различным типам предприятий), пошаговая структура (разделение на этапы для определения уровня цифровой зрелости), ориентация на внешнюю среду (акцентировано внимание на удовлетворенность клиентов продуктовыми решениями организации), а также фокус

на кадры и культуру (включает оценку компетенций сотрудников и организационной структуры).

В рамках VII специализированной сельскохозяйственной выставки достижений агропромышленного комплекса «ТатАгроЭкспо 2024», которая проходила с 29 по 31 января 2024 года в МВЦ «Казань Экспо», было проведено исследование уровня цифровой зрелости 106 организаций России, работающих в аграрной сфере. Исследование проводилось на основе авторской индикативной модели оценки цифровой зрелости. Среднее значение уровня цифровой зрелости рассчитывалось по следующей формуле:

$$Цз = \frac{\sum_n^i D + \sum_n^i M + \sum_n^i P + \sum_n^i T + \sum_n^i S + \sum_n^i C}{n} \quad (1)$$

где Цз – уровень цифровой зрелости, балл;
Di – значение индикатора из группы «Использование данных (D – Data)», баллы;
Mi – значение индикатора из группы «Управление процессом (M – Management)», баллы;
Pi – значение индикатора из группы «Управление продуктом (P – Product)», баллы;
Ti – значение индикатора из группы «Использование сквозных технологий (T – Technology)», баллы;
Si – значение индикатора из группы «Цифровые компетенции сотрудников (S – Skills)», баллы;
Ci – значение индикатора из группы «Организационная культура (C – Culture)», баллы;
n – количество индикаторов.

Каждый индикатор оценивался по пятибалльной шкале, где 1 – это минимальное значение уровня, а 5 – максимальное. Таким образом, каждая организация получала свое значение уровня цифровой зрелости.

Основными организациями, которые участвовали в цифровой зрелости исследовании (рис. 4), стали предприятия в сфере производства и обслуживания сельскохозяйственной техники (50,9%), животноводства и растениеводства (7,5% и 15,1% соответственно) и организации, оказывающие различные услуги (5,7%).

Исследование проводилось среди таких крупных предприятий как «Щелково Агрохим», «Сервис-Агро», «Agroclass», «Агросила Урал», «Промител агро» и другие.



Рис. 4 - Направления деятельности исследуемых организаций (составлено авторами)

Результаты и обсуждение. На первоначальном этапе анализа результатов исследования были рассчитаны средние значения уровня цифровой зрелости отдельных элементов по всем исследуемым организациям (рис. 5).

На представленном графике видно, что средний уровень применения данных, полученных в процессе деятельности организаций довольно высок (4,70 балла), что указывает на то, что в большинстве исследуемых организаций активно используются потоки внешней и внутренней информации для принятия решений и оптимизации процессов. Средний уровень управления процессами, который включает в себя автоматизацию учета и контроля ресурсов, планирование и управление агротехническими мероприятиями, управление персоналом и оплата труда, также имеет высокое значение (4,87 балла). Управление продуктом на предприятиях АПК – комплексный процесс, который направлен на обеспечение высокого качества продукции и удовлетворение потребностей клиентов, его среднее значение среди исследуемых организаций также находится на высоком уровне (4,89). Особое внимание при проведении цифровой трансформации стоит уделить использованию сквозных технологий, которые предполагают внедрение интернета вещей, искусственного интеллекта, роботизации и блокчейна, так как среднее значение данного элемента оценки ниже остальных (3,92 балла). Цифровые компетенции сотрудников организации – это совокупность навыков и умений, которые необходимы для эффективного использования информационных технологий на предприятиях АПК, по результатам исследования среднее значение находилось на приемлемом уровне (4,63 балла).

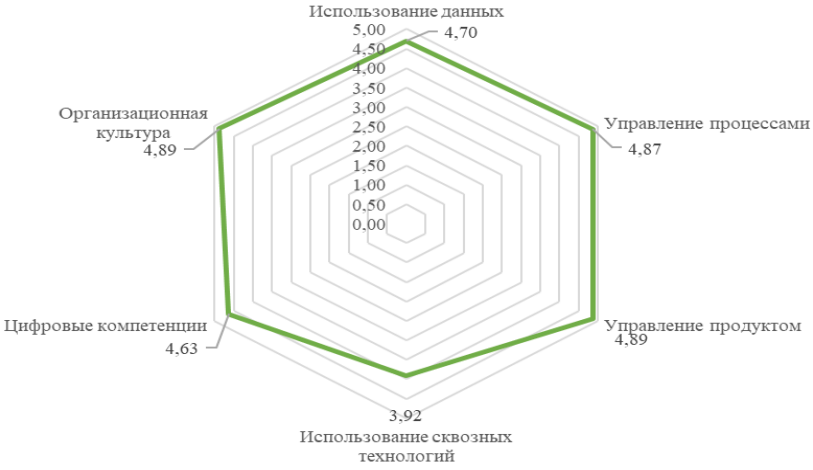


Рис. 5 - Среднее значение уровня цифровой зрелости по всем исследуемым организациям (составлено авторами)

Совокупность отношений, действий и артефактов, которые формируются в процессе деятельности организации, является организационной культурой. Она необходима для сплочения работников в процессе проведения цифровой трансформации. Ее среднее значение в исследуемых организациях довольно высокое (4,89). Однако средние значения по всем организациям демонстрируют лишь общие тенденции применения цифровых технологий на предприятиях агропромышленного комплекса. При этом, в разных отраслях и даже на разных предприятиях одной отрасли степень готовности к цифровым преобразованиям может существенно различаться. Поэтому авторами были более подробно рассмотрены средние значения цифровой зрелости в отдельных отраслях агропромышленного комплекса (рис. 6).

Согласно представленной диаграмме, сельскохозяйственные организации, занимающиеся производством растениеводческой продукции, наиболее активны при использовании данных при принятии решений, связанных с текущей деятельностью и при формировании стратегии развития.

Предприятия в сфере производства и обслуживания сельскохозяйственной техники также активны в использовании данных в своей деятельности (4,69). Например, они получают данные в больших объемах с систем GPS и ГЛОНАСС и контролируемых проездов по полю (CTF). Эти данные помогают предприятиям повышать точность в ориентировании техники на местности, следить за перемещением техники для повышения эффективности сельскохозяйственных операций. Несмотря на высокие значения цифровой зрелости в аспекте использования данных, предприятиям в сфере производства и обслуживания сельскохозяйственной техники необходимо внедрять технологии обработки данных с датчиков и сенсоров, беспилотных транспортных средств и летательных аппаратов и метеостанций. Такие меры помогут им повысить эффективность своей деятельности и оптимизировать затраты.

Наименьшее среднее значение использования данных наблюдается у организаций, которые занимаются животноводством (4,38). Расширение покрытия 4G сетей и внедрение мобильных сетей пятого поколения должны помочь «умным фермам» быстрее обмениваться данными друг с другом и улучшить качество принимаемых руководством животноводческих организаций управленческих решений [9].

Управление процессами является важным фактором успешности цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса. Оно включает в себя применение цифровых технологий в автоматизации, оптимизации и мониторинге производственных и управленческих процессов. Наибольшие средние значения показателя наблюдаются у предприятий по производству и обслуживанию сельскохозяйственной техники, а также продаже запчастей (4,83) и у сельхозпредприятий, специализирующихся на растениеводстве (4,88). Незначительно отстают сельскохозяйственные организации, которые занимаются животноводством (4,38).

Управление продуктом в условиях цифровизации агропромышленного комплекса включает в себя применение принципов клиентоцентричности при разработке товарных предложений, развитие дизайн-мышления и гибкого подхода при управлении продуктовой линейки. Средние значения цифровой зрелости у производителей и сервисных компаний сельхозтехники (4,87) и растениеводческих хозяйств (4,81) находятся на высоком уровне. Для животноводческих хозяйств (4,13) необходимо повышать качество управления продуктами по следующим направлениям:

1. Анализ потребностей клиентов с помощью использования современных цифровых

технологий (Big Data, искусственный интеллект и др.).

2. Персонализация производимой продукции и предложение комплементарных продуктов и услуг (пищевой дизайн).

3. Повышение качества обратной связи на основе цифровых сервисов и платформ для более активного вовлечения клиентов в процесс управления продуктом (чат-боты, мобильные приложения и др.).

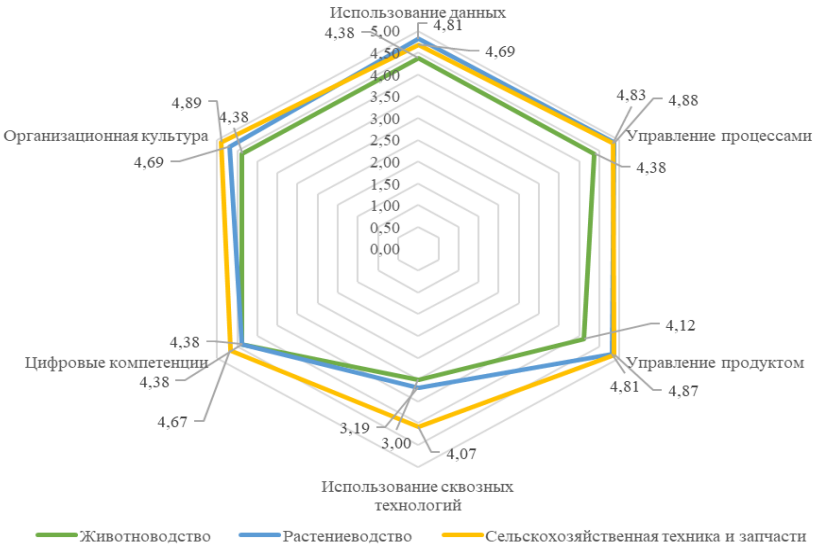


Рис. 6 - Среднее значение уровня цифровой зрелости по отраслям агропромышленного комплекса (составлено авторами)

По результатам исследования, организации, занимающиеся производством и обслуживанием сельскохозяйственной техникой и продажей запчастей, используют сквозные технологии на среднем уровне (4,07).

К числу лидеров по этому показателю можно отнести «Агросила Урал», «Проминтел агро», «Татагролизинг». С проблемами при внедрении и использовании сквозных технологий столкнулись такие компании как «Temtar», ООО «Магнум», ООО «Таросмашинери» и ООО «ЦСТ».

Низкие значения использования сквозных технологий выявлены в растениеводческих (3,19) и животноводческих (3,00) организациях.

К числу лидеров по этому направлению цифровой зрелости можно отнести «Щелково Агрохим», ООО «Агромир», «Агроробот» и «IZELMAK». К числу отстающих относятся ФГБУ ВНИИЗЖ, ООО «Супер-Агро», «КомплеМет».

Авторами разработана поэтапная схема внедрения и использования сквозных технологий в организациях агропромышленного комплекса (рис. 7).

Мировой опыт использования сквозных цифровых технологий доказывает, что его применение повышает экономическую эффективность сельскохозяйственного производства, увеличивает качество продукции и услуг в агропромышленном комплексе и придает импульс для развития аграрной науки.

Следующим элементом оценки цифровой зрелости исследуемых организаций стал уровень цифровых компетенций их работников. Вновь компании, которые занимаются производством, продажей и обслуживанием сельскохозяйственной техники, занимают лидирующие позиции по этому направлению (4,67). В растениеводстве и животноводстве уровень развития цифровых компетенций ниже (4,38).

Для повышения качества кадровой политики в сфере знаний, умений и навыков в условиях цифровой трансформации необходимо развивать следующие направления:

1. Развитие базовых и профессиональных компетенций сотрудников. Сюда можно отнести регулярное повышение квалификации в образовательных учреждениях, участие в профессиональных семинарах и конференциях.

2. Развитие личностных компетенций сотрудников. Здесь необходимо учитывать специфику аграрного производства, его сезонность и неравномерность нагрузки работников, поэтому важным является проведение психологических тренингов и разработка индивидуальных планов развития конкретного сотрудника.

3. Введение в штат руководителя цифровой трансформации. В условиях крупных агрохолдингов управленческий персонал обеспечивает разработку и имплементацию стратегических решений в области цифровой трансформации производственных процессов.

Организационная культура у производителей и сервисных компаний сельхозтехники вновь демонстрирует высокий уровень (4,89).

В организациях, которые занимаются растениеводством и животноводством, значение цифровой зрелости по этому направлению чуть ниже (4,69 и 4,38 соответственно). При проведении цифровой трансформации в организациях часто происходит сопротивление сотрудников изменениям. Чаще всего это происходит из-за страха увольнения или увеличения нагрузки. Поэтому важно поддерживать инициативы и предложения сотрудников, обеспечить обмен опытом и знаниями между ними, постоянно проводить сбор и анализ обратной связи от них и внедрять цифровые технологии на основе полученных отзывов. Кроме того, в сельской местности наблюдаются признаки цифрового разрыва и цифрового неравенства [10]. Это также влияет на степень сопротивления сельских работников на организационные изменения. Необходимо создавать благоприятную цифровую среду не только в организациях, но и в сельских поселениях, для этого необходимо создавать современную информационно-коммуникативную инфраструктуру и повышать уровень цифровой грамотности сельского населения.



Рис. 7 - Направления повышения цифровой зрелости в аспекте использования сквозных технологий (составлено авторами)

К числу экономических преимуществ предложенных авторами рекомендаций можно отнести:

- снижение операционных затрат за счет оптимизации потребления ресурсов в сельскохозяйственном производстве. По данным исследований внедрение различных датчиков потребления воды сокращает водопотребление на 15-30% [11], внесение удобрений с помощью датчиков азота и фосфора снижает затраты на агрохимикаты на 20-40% [12] и мониторинг расхода топлива с помощью GPS-трекинга и телематики уменьшает его перерасход на 10-25% [13];

- снижение сопротивления сотрудников при внедрении цифровых технологий и обучении персонала современным инструментам работы с данными. Исследования показывают, что эффективные программы обучения и вовлечения персонала сокращают сроки внедрения новых технологий на 30-50%;

- повышение качества продукции при использовании цифровых механизмов управления продуктом на всех этапах производства, что увеличивает конкурентоспособность предприятий на рынке [14]. Для агропредприятий совокупная выгода от внедрения таких технологий оценивается в 3-7 млн. руб. в год при выращивании зерновых с площадью посевов от 1000 га и 10-20 млн. руб. в сегменте овощеводства и плодоводства сс площадью от 50 га.

Исходя из полученных результатов проведенного исследования предприятия, занимающиеся производством и обслуживанием сельскохозяйственной техники, имеют повышенные показатели цифровой зрелости. Это обусловлено интенсификацией процессов автоматизации производственных процессов и имплементацией интеллектуальных технологических решений в конечную продукцию, высоким уровнем цифровизации сервисного обслуживания и высокой конкуренцией на рынке, что требует от организаций постоянного внедрения инноваций на основе цифровых решений.

Выводы. Одной из ключевых задач современного этапа экономического развития государства является обеспечение устойчивого роста сельскохозяйственного производства, которое является основой повышения уровня жизни граждан. Для этого российским агропромышленным предприятиям необходимо перейти на новый технологический уклад и преодолеть существующие барьеры.

Эффективность реализации технологических преобразований в аграрной сфере обусловлена влиянием значительного числа

факторов. Цифровая трансформация – основной фактор успешности перехода, а степень цифровой зрелости является индикатором готовности предприятий к предстоящим изменениям. Предложенная индикативная модель оценки цифровой зрелости позволяет подходить к оценке готовности предприятий комплексно, а также определить конкретные направления для дальнейшего развития. Проведенное исследование свидетельствует, что наиболее подготовленными к цифровой трансформации являются предприятия, деятельность которых находится в сфере сельскохозяйственной техники и ремонта. В предприятиях, которые функционируют в отраслях животноводства и растениеводства цифровые преобразования сдерживаются рядом факторов: слабой степенью использования сквозных технологий и недостаточным уровняем подготовки кадров к будущим изменениям. Таким образом, будущее агропромышленного комплекса тесно связано с внедрением современных цифровых технологий. Они позволят обеспечить дальнейшее устойчивое развитие отрасли, повысить конкурентоспособность в условиях быстроизменяющейся аграрной экономики и достичь экономических целей.

Литература

1. Сафиуллин Н. А. Разработка показателя готовности органов государственной власти к внедрению цифровых технологий и платформенных решений в сферах госуправления и оказания госуслуг на основе анализа стейкхолдеров // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 1 (76). С. 185-193.

2. Черданцев В. П. и др. Понятие и сущность цифровой трансформации и цифровой зрелости АПК // International agricultural journal. 2022. №. 6. С. 1539-1551.

3. Развитие техники как основа цифровой трансформации экономики / А. К. Субаева, В. Т. Водянников, Ю. В. Чугчева, А. В. Эдер // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 1 (69). С. 162-168.

4. Михайлова Л. В., Мухаметгалиев Ф. Н., Валиев А. Р. Фермерство в Республике Татарстан: их роль в системе аграрного бизнеса и тенденция развития // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 148-153.

5. Подколзина, И. М. Цифровизация как способ активизации инновационной деятельности в сельском хозяйстве / И. М. Подколзина, И. А. Томилина // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 4. С. 8-12.

6. Технологическое развитие отраслей экономики / Росстат. URL: https:// rosstat.gov.ru/folder/11189 (дата обращения: 30.09.2023).

7. Кузьмич Н. П., Бурчик В. В. Использование и восстановление фонда мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 1. С. 24-29.

8. Беляева А. С., Никитина А. А. О проблемах и перспективах цифровой трансформации отечественного АПК // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 1. С. 34-40.

9. Сравнительный анализ результатов натурных и цифровых линейных измерений 3D-моделей черепов крупного рогатого скота / А. А. Николаев, О. И. Боронецкая, А. А. Сермягин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 9. С. 54-59.

10. Сафиуллин Н. А., Куксин С. В. Анализ причин цифрового разрыва между городским и сельским населением России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 3 (74). С. 163-172.

11. Kundu A. et al. Precision Irrigation Systems for Sustainable Water Management in Maize Cultivation: Impact on Yield and Water Use Efficiency //Indus Journal of Bioscience Research. 2025. Т. 3. №. 1. С. 85-94.

12. Sachin K. S. et al. Sensor-based precision nutrient and irrigation management enhances the physiological performance, water productivity, and yield of soybean under system of crop intensification //Frontiers in Plant Science. 2023. Т. 14. С. 1282217.

13. Reddy R. Innovations in Agricultural Machinery: Assessing the Impact of Advanced Technologies on Farm Efficiency //Journal of Artificial Intelligence and Big Data. 2022. Т. 2. №. 1. С. 10.31586.

14. Тенденции развития цифровых технологий в сельском хозяйстве / А. В. Минаков, И. Н. Сафиуллин, Л. В. Михайлова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4 (76). С. 111-118.

Сведения об авторах:

Сафиуллин Нияз Азатович – старший преподаватель кафедры управления, государственной и муниципальной службы, e-mail: nsafiullin@outlook.com

Валиев Айрат Расимович – доктор технических наук, профессор, первый проректор, чл.-корр. АН РТ, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

MAIN DIRECTIONS OF INCREASING THE DIGITAL MATURITY LEVEL OF ENTERPRISES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

N. A. Safiullin, A. R. Valiev

Abstract. Modern agro-industrial enterprises are actively implementing digital technologies into their operations. However, they differ in size, scope of activity, available resources, and digital skills of employees, so each of these enterprises is differently prepared for digital transformations. The sixth technological order involves the introduction of artificial intelligence technologies, the Internet of things and biotechnologies. However, agricultural specifics create certain limitations when implementing these technologies. These include weak IT infrastructure, lack of specialized devices, shortage of qualified personnel, and insufficient state support. The digital maturity of agricultural enterprises also depends on their innovation activity. According to the authors' research, by 2023, the share of organizations implementing technological, organizational, and marketing innovations in the livestock industry was 8.8% of the total number of organizations implementing such innovations, followed by mixed agriculture at 7.2%, and crop production with 5.4%. The scientific

novelty of the work lies in the development and application of an indicative DMPSTC-analysis model covering six key elements: data usage, process management, product management, application of end-to-end technologies, digital competencies of employees, and organizational culture. The results showed that the highest level of digital maturity is demonstrated by enterprises engaged in agricultural machinery production – 4.87 points, while agricultural enterprises specializing in crop production have a digital maturity level of 4.38 points, and livestock production enterprises have the lowest digital maturity value. The main limiting factors are the lack of qualified personnel, high modernization costs, and significant deficiency of telecommunication infrastructure elements in rural areas. The authors emphasize the need for state support, investment in the development of digital competencies, and modernization of the technological base of the agro-industrial complex.

Key words: digital maturity, digital transformation, artificial intelligence, blockchain, digital competencies.

References

1. Safiullin NA. [Development of an indicator of government readiness to implement digital technologies and platform solutions in the areas of public administration and provision of public services based on stakeholder analysis]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.16. 1(76). 185-193 p.

2. Cherdantsev VP. [The concept and essence of digital transformation and digital maturity of agro-industrial complex]. International agricultural journal. 2022; 6. 1539-1551 p.

3. Subaeva AK, Vodyannikov VT, Chutcheva YuV, Eder AV. [Technology development as the basis for digital transformation of the economy]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 162-168 p.

4. Mikhaylova LV, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Farming in the Republic of Tatarstan: its role in the agricultural business system and development trends]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2 (74). 148-153 p.

5. Podkolzina IM, Tomilina IA. [Digitalization as a way to enhance innovation in agriculture]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2020; 4. 8-12 p.

6. Technological development of economic sectors. [Internet]. Rosstat. [cited 2023, September 30]. Available from: https:// rosstat.gov.ru/folder/11189.

7. Kuzmich NP, Burchik VV. [Usage and restoration of the reclaimed agricultural land fund]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 1. 24-29 p.

8. Belyaeva AS, Nikitina AA. [On the problems and prospects of digital transformation of domestic agro-industrial complex]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 1. 34-40 p.

9. Nikolaev AA, Boronetskaya OI, Sermyagin AA. [Comparative analysis of the results of natural and digital linear measurements of 3D models of cattle skulls]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 9. 54-59 p.

10. Safiullin NA, Kuksin SV. [Analysis of the causes of the digital divide between urban and rural population of Russia]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.15. 3(74). 163-172 p.

11. Kundu A. Precision irrigation systems for sustainable water management in maize cultivation: impact on yield and water use efficiency. Indus Journal of Bioscience Research. 2025; Vol.3. 1. 85-94 p.

12. Sachin KS. Sensor-based precision nutrient and irrigation management enhances the physiological performance, water productivity, and yield of soybean under system of crop intensification. Frontiers in Plant Science. 2023; Vol.14. Article 1282217.

13. Reddy R. Innovations in agricultural machinery: assessing the impact of advanced technologies on farm efficiency. Journal of Artificial Intelligence and Big Data. 2022; Vol.2. 1. 10.31586 p.

14. Minakov AV, Safiullin IN, Mikhaylova LV. [Digital technology development trends in of in agriculture]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 4(76). 111-118 p.

Authors:

Safiullin Niyaz Azatovich – senior lecturer of the Department of Management, State and Municipal Service, e-mail: nsafiullin@outlook.com

Valiev Ayrat Rasimovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-rector, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-143-152
УДК 657.633.5

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ И АУДИТА ЭКСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ В АГРАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЯХ

М. Ф. Сафонова, С. М. Резниченко

Реферат. Актуальность функционирования учетно-контрольных систем в хозяйствующих субъектах аграрного сектора, занимающихся внешнеторговой деятельностью и определение основных направлений совершенствования информационного обеспечения внешнего и внутреннего аудита экспортных операций обусловлена необходимостью текущего (оперативного) и стратегического контроля выполнения поставленных целей менеджментом компании, что обеспечивает эффективность бизнеса отдельного хозяйствующего субъекта и экономическую безопасность региона в целом. Россия, является лидером по экспорту зерна в мире, при этом на Краснодарский край приходится 39% экспортируемой зерновой продукции, что свидетельствует о значимости внешнеторговых сделок, осуществляемых аграриями региона. SWOT-анализ развития внешнеэкономической деятельности (ВЭД) сельского хозяйства Краснодарского края показал необходимость непрерывного мониторинга микро и макрорисков хозяйствующих субъектов занимающихся экспортной деятельностью, что невозможно без эффективной системы внутреннего контроля, информационное обеспечение которого является залогом качества осуществляемых процедур. Действующая система учета ВЭД не оперативна, что отрицательно влияет на достоверность экономической информации о результатах внешнеторговой деятельности, о движении экспортируемой продукции, расчетов по ней, усложняет управленческие процедуры. Важной составляющей системы внутреннего контроля является информационное поле, в состав которого, в большей части, входит первичная учетная и юридическая документация, сопровождающие сделку. Для организаций-экспортеров зерна важными элементами процесса документирования выступает внешнеторговый контракт, коносамент, инвойс. В результате предложенной схемы документального обмена при экспортных поставках формируется эффективный процесс взаимодействия с органами, регулирующими внешнеторговую деятельность. Модель информационного обеспечения внутреннего контроля, включающая пошаговый алгоритм сбора анализируемой информации при помощи процедур контроля, с последующей систематизацией полученных данных, унифицирует действия специалистов службы внутреннего контроля. Модель легко встраивается в существующую учетно-аналитическую систему экспортеров-аграриев, учитывает возможности применяемых коммуникационных систем, базирующихся на информационных технологиях и методах моделирования.

Ключевые слова: контроль, аудит, экспортные сделки, коносамент, инвойс, информационное обеспечение аудита.

Введение. В современных условиях глобализации мировой экономики, все больше отечественных аграрных формирований становятся активными участниками внешнеторговых отношений, экспортируя свою продукцию за рубеж, обеспечивая экономическое развитие Российской Федерации.

На сегодняшний день, среди всех отраслей народного хозяйства, особое внимание заслуживает сельское хозяйство, основной поставщик сырья для производства продуктов питания. За последние десять лет, экономические субъекты сельского хозяйства добились высоких результатов своей деятельности, как по росту финансовых показателей, так и по объему произведенной продукции. Особого внимания заслуживают лидирующие позиции в мировом масштабе, где отечественные сельскохозяйственные производители выделяются в статистике экспорта зерновых. В последние годы Россия постоянно входит в тройку ведущих мировых экспортеров пшеницы. По итогам уборочной компании 2023-2024 годы поставки составили 55,3 млн т или 26% мирового экспорта. Это еще раз доказывает значимость экспортной деятельности аграрных формирований, функционирование которой сопряжено с необходимостью мониторинга бухгалтерских и налоговых рисков, что возможно при наличии действенной системы внутреннего контроля.

Отмечая рост экспорта сельскохозяйственной продукции, в том числе и зерновых [1, 2], необходимо обратить внимание еще на одну положительную тенденцию – резкое снижение зависимости от импорта товаров в аграрном производстве в результате осуществления эффективной торговой политики, инвестиции в исследования и разработки, развитие инфраструктуры, развитие квалифицированной рабочей силы, диверсификация рынка, экспортное кредитование, внедрение экологически устойчивых практик [3].

Для экономических субъектов, положительная динамика роста экспорта сельскохозяйственной продукции несет в себе повышение роли внутрикорпоративных рисков, которые в первую очередь связаны с финансовым учетом экспортных операций и информацией, которая отражается на основании учетных данных в бухгалтерской, управленческой, налоговой и статистической отчетности. Для государственных структур, где контролируется вопрос о целесообразности бюджетной поддержки сельского хозяйства и экспортной деятельности сельскохозяйственных

товаропроизводителей, также важно понимать итоговый результат деятельности субсидируемых предприятий и их реальный эффект для экономики страны. В этих целях, контролирующим органам власти необходимо владеть достоверной информацией о результатах финансово-хозяйственной деятельности экономических субъектов, которая раскрывается в бухгалтерской (финансовой) отчетности, на основании данных бухгалтерского учета [4].

Действующая система учета не позволят оперативно получить достоверную экономическую информацию о результатах внешнеторговой деятельности, о движении экспортируемой продукции, расчетов по ней, что усложняет управленческие процедуры и требует непрерывного контроля, позволяющего не только анализировать текущую деятельность хозяйствующих субъектов, но и производить оценку выполнения стратегических целей.

Проблемы, стоящие перед специалистами службы внутреннего контроля экспортеров сельскохозяйственной продукции, в том числе и поставщиков зерна, и возникающие в связи с этим риски, заключаются в длительности цикла выполнения контракта, большом количестве нормативно-правовых документов, регламентирующих внешнеторговые сделки, несоблюдение которых влияет на непрерывность деятельности хозяйствующего субъекта. Поэтому, рационально выстроенная модель информационно-аналитического обеспечения внутреннего контроля, позволит осуществлять мониторинг экспортной деятельности, включающей не только юридическое сопровождение сделки, но и операции по движению товара, переводу денежных средств, их конвертации, формированию финансового результата, расчету курсовых разниц и др. Синтез предварительного непрерывного оперативного контроля экспортных операций с последующей оценкой выполнения стратегических целей компании дадут наибольший эффект, чему будет способствовать всеобъемлющее учетно-аналитическое обеспечение, пошаговый алгоритм сбора анализируемой информации при помощи процедур контроля, с последующей систематизацией полученных данных, их документирование и формирование ответных действий на оцененные риски.

Многогранность нормативно-правового регулирования, часто вносимые изменения в бухгалтерское и налоговое законодательство, отсутствие закрепленных законодательством некоторых аспектов учета экспортных операций, все это влияет на формирование достоверной информации учетных данных по внешнеторговым операциям, и как результат, на качество представляемой бухгалтерской (финансовой) отчетности.

Существующая система бухгалтерского учета позволяет получить обобщенную учетно-аналитическую информацию по выполнению внешнеторговых контрактов, движению экспортируемых товаров, произведенных расчетов. В то время, как для управленческих целей, менеджмент компании нуждается в детализации информации в разрезе направлений деятельности, партиям поставки по отдельным покупателям, условиям контрактов, вследствие чего, особую значимость приобретает правильно смоделированная учетно-контрольная система экспортных операций [4].

Обращаясь к научной литературе ряд авторов, рассматривая порядок организации учета внешнеторговой деятельности, отмечают его сложность, которая, по их мнению, связана не только с разнообразием нормативно-правовых актов, регулирующих выполнение контрактных обязательств [5, 6], но и отсутствием детализации учетно-аналитических аспектов, раскрываемых в учетной политике хозяйствующих субъектов [7]. Безусловно, на учетные процессы отражения деятельности по внешнеторговым контрактам существенное влияние оказывают и налоговые риски, которые возникают уже на этапе регистрации сделки, что обусловлено сложностью и витиеватостью налогового законодательства, так как налогообложение ВЭД зависит отконкретного государства с которым заключен контракт, видом сделки и др. [8, 9].

Исследователи также отмечают, что санкционный характер экономических отношений также усложняет учетные процессы из-за волантильности курса валют, принятия особого порядка учета курсовых разниц с 2022 года, что негативно сказывается на финансовом состоянии участников ВЭД [10].

Обращаясь к законодательной базе, можно отметить тонкости разного подхода к понятию «экспортной операции», которые вызваны различными требованиями к регулированию и учету законодательных актов, так:

- в законе федерального уровня о регулировании ВЭД, дефиниция «экспорт» трактуется, как вывоз товара из РФ без обязательства об обратном ввозе;

- в законе федерального уровня о таможенном регулировании, экспорт – перемещение любым способом товаров за пределы территории РФ в другие государства, члены Таможенного союза (ТС) или на территории, не входящие в единую таможенную территорию ТС;

- ФЗ о валютном регулировании рассматривает экспортные сделки с позиции перевода иностранной валюты нерезидента РФ резиденту РФ;

- с бухгалтерской позиции, это факты хозяйственной жизни, при которых товары, работы и услуги вывозятся за пределы РФ, и предназначены для использования и применения за ее пределами;

- в налоговом законодательстве определено, что экспортом считается реализация товаров, вывезенных с таможенной территории РФ.

Не только законодательство регулирующие порядок осуществления валютного контроля

является ключевым при осуществлении экспортных операций, но и важное значение имеют меры таможенно-тарифного и нетарифного регулирования.

Государственное таможенно-тарифное регулирование производится через использование вывозных пошлин, которые в настоящее время регламентированы Таможенным кодексом ЕАЭС и налоговым законодательством.

Меры нетарифного регулирования, выражаются в ведении запретов и ограничений по экспорту продукции, как количественного, так и экономического характера. Основная цель нетарифного регулирования, это комплекс административных, антидемпинговых мер ограничительного и запретительного характера, которые препятствуют вывозу продукции исходя из национальных интересов.

На региональном уровне Краснодарского края, среди финансовых инструментов форсирования экспорта, широко применяются программы поддержки организаций-экспортеров, которые имеют прямое отношение к сельскохозяйственным организациям, а именно региональный проект «Экспорт продукции агропромышленного комплекса Краснодарского края», включающий:

- льготное кредитование по ставке до 10% годовых на срок от 1 до 15 лет;
- компенсацию затрат на транспортировку;
- компенсацию затрат на сертификацию продукции АПК;
- компенсацию затрат на строительство мелиоративных сооружений;
- софинансирование участия в международных выставках и деловых миссиях;
- финансирование размещения продукции в павильонах зарубежных стран.

Значительный комплекс нормативно-правовых актов регулирующих внешнеэкономическую деятельность в Российской Федерации оказывает непростое влияние не только на осуществление экспортных операций, но и на порядок ведения учета и формирование информационно-аналитической базы для внутреннего контроля и внешнего аудита, позволяющего локализовать микрориски и своевременно отреагировать на макрориски.

Цель статьи заключается в разработке модели информационно-аналитического обеспечения системы внутреннего контроля и аудита экспортных операций, построенной в хронологическом порядке, которая унифицирует действия специалистов службы внутреннего контроля, учитывает возможности применяемых коммуникационных систем.

Условия, материалы и методы. В процессе научных изысканий применялись статистические методы исследования, позволяющие проанализировать развитие рынка экспорта зерна, эффективного функционирования организаций АПК, работающих по внешнеторговым контрактам. В результате монографического и контент-анализа рассмотрены теоретические и практико-ориентированные аспекты функционирования учетно-контрольных систем в хозяйствующих субъектах аграрного сектора, занимающихся внешнеторговой деятельностью и определены основные направления совершенствования информационного обеспечения внешнего и внутреннего аудита экспортных операций.

Интересен подход авторов, по развитию методики таможенного аудита, построенного на основе имитационного моделирования, с использованием OLAP технологий [11]. Более детализировано методика аудита посттаможенного контроля экспортных операций раскрывается Березюк В.И., при этом акцент делается на «возможность проконтролировать правомерность использования нулевой ставки НДС при экспорте и законность производимых налоговых вычетов по НДС при импорте товара» [12].

Исследователи, формулируя «экспортный аудит», как элемент Регионального экспортного стандарта 2.0, утверждают, что он будет выступать инструментом оценки потенциала экспорта региона, способствовать его развитию, включать анализ и планирование внешнеторговой деятельности региона [13].

Принимая во внимание специфику внешнеэкономической деятельности и, как следствие, высокие предпринимательские риски авторами [14, 15] обосновывается необходимость развития функций внутреннего контроля и проведения инициативного внешнего аудита отчетности хозяйствующих субъектов, осуществляющих ВЭД. Необходимость внешнего аудита аргументируется тем обстоятельством, что «иностранные партнеры, анализируя бухгалтерскую отчетность российских поставщиков и стараясь максимально снизить свои возможные риски, больше доверяют той информации, достоверность которой подтверждена независимым аудитором» [16].

Вопросам аудита процедурного характера, в частности определению уровня существенности [17], порядку документирования [18, 19] посвящен рад работ, рассмотрение которых необходимо для формирования общей картины сбора учетно-аналитической информации, в то время как, детализация планирования внутреннего аудита ВЭД [20, 21], документирования экспортных контрактов [22, 23] конкретизируют этапы проверки и сбор необходимых данных.

Большинство ученых выделяет четыре основные направления аудита внешнеторговых сделок: оценка СВК, в части экспортно-импортных операций; проверка выполнения требований законодательства в области ВЭД; непосредственно оценка организации учетной системы и отражения фактов хозяйственной жизни по выполнению экспортных контрактов; подтверждение достоверности отчетности. Ученые утверждают, что действующая законодательная база не описывает многие специфические моменты отражения внешнеторговых операций, в связи с чем, у аудиторов

возникают сложности практического и теоретического характера, связанные с разработкой методики аудиторской проверки в целом и ее отдельных элементов [24, 25].

Несмотря на значимость представленных работ, большинство ученых, раскрывая теоретические и практико-ориентированные аспекты учета, аудита внешнеторговых операций, в большей части исследуют подробно только определенные, узконаправленные вопросы учета и контроля (валютный контроль или налоговые риски по подтверждению 0% НДС), без детальной проработки информационно-аналитического обеспечения внутреннего контроля и аудита внешнеторговых операций.

Результаты и обсуждение. Для всестороннего понимания преимуществ и недостатков внешнеэкономической деятельности, представим SWOT-анализ ВЭД сельского хозяйства на примере Краснодарского края (табл.).

Таблица – SWOT-анализ развития внешнеэкономической деятельности сельского хозяйства Краснодарского края

СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ	СЛАБЫЕ СТОРОНЫ
• выгодное географическое расположение • благоприятные почвенно-климатические условия • развитая транспортная инфраструктура, наличие и широкое использование практически всех видов транспорта • рост валовой продукции сельского хозяйства • благоприятная внешнеэкономическая конъюнктура • высокий уровень цифровизации контролирующих органов ВЭД • активная работа Торгово-промышленной палаты Краснодарского края • развитая система выставочно-ярмарочной деятельности кубанских сельскохозяйственных товаропроизводителей • наличие планов модернизации автодорог и железных дорог • сотрудничество в сфере науки и образования	• высокий уровень износа основных фондов • низкий научно-технологический и инноваций уровень развития • высокая энерго- и материалоемкость предприятий • недостаточность собственных оборотных средств • высокая зависимость от цен на энергоносители • недостаточная системность в определении приоритетных направлений • отсутствие должного опыта международного взаимодействия • отсутствие необходимого финансирования мероприятий по охране окружающей среды • несовершенство нормативно-правового регулирования о приграничном сотрудничестве • отсутствие четких предписаний законодательной базы по бухгалтерскому и налоговому учету экспортных операций
ВОЗМОЖНОСТИ	УГРОЗЫ
• полноценная возможность системно использовать инвестиции в аграрный сектор экономики края • повышение конкурентоспособности продукции за счет развития инновационных технологий • повышение уровня занятости благодаря увеличению объемов производства компаний-экспортеров • усиление внешнеэкономических связей в рамках трансграничного сотрудничества • расширение границ внешней торговли • повышение трудового потенциала в результате миграции трудоспособного населения • увеличение числа совместных предприятий с иностранными компаниями, лидерами в отрасли сельского хозяйства • реализация комплекса работ по определению экспортного потенциала сельскохозяйственной продукции • повышение государственной поддержки экспортно-ориентированных хозяйств/ компаний • вхождение в международные транспортные коридоры для расширения экспортных потоков • формирование и продвижение брендовой политики кубанских производителей на внешние рынки • развитие региональной системы консультирования предприятий по вопросам ВЭД и ее господдержки	• риск возникновения природно-климатических, техногенных и экологических катаклизмов • возможное банкротство мелких КФХ, предпринимателей из-за невозможности конкурировать с крупными сельскохозяйственными холдингами • обострение международной конкуренции • рост конкурентных преимуществ у приграничных регионов • снижение и обнуление государственной поддержки по ряду направлений поддержки сельского хозяйства/АПК • отставание в развитии современных транспортно-логистических систем, что может привести к изменению направления транзитных грузопотоков • повышение доли экономических преступлений в результате вывода части прибыли при экспорте в офшорные зоны • потеря имеющихся темпов научно-технического и инновационного развития • нескоординированность внешнеэкономической политики РФ с международными принципами и политикой иностранных государств-партнеров • обострение внешнеполитических конфликтов

Информационное обеспечение внутреннего и внешнего контроля аграрных формирований, занимающихся экспортной деятельностью играет ключевую роль в процессе предотвращения рисков и построения алгоритма контрольных мероприятий. Важной составляющей системы внутреннего контроля является информационное поле, исследуемое специалистами на каждой точке входа и выхода данных, получаемых на 90% из первичной учетной документации и документации юридического характера, сопровождающей сделку.

В процессе выполнения экспортных контрактов в общем порядке в России оформляются декларация на товары, требуемые документы, согласно законодательства, по движению сопровождению товаров (например, коносамент, инвойс, упаковочный лист), документы, подтверждающие соблюдение запретов и ограничений, а также документы, подтверждающие происхождение товара. У инвойса и упаковочного листа нет единой установленной формы для заполнения.

Учитывая специфику экспорта зерновых, осуществляемых аграрными формированиями Краснодарского края, остановимся на наиболее значимых документах, правильное оформление которых влияет на своевременность подтверждения нулевой ставки НДС, и как следствие на финансовое положение экономического субъекта.

Первичным и основополагающим условием внешнеторговой сделки выступает внешнеторговый контракт. Начальным этапом его заключения выступают предварительные переговоры, которые в международной практике принято называть «трактацией сделки». В случае положительного результата телефонного разговора или электронной переписки, одна из сторон составляет оферту (предложение о заключении сделки, в котором изложены существенные условия договора), и после ее одобрения другой стороной, договор считается заключенным.

Международное законодательство не содержит обязательных предписаний к форме и условиям внешнеторгового контракта, поэтому структура каждого договора индивидуальна. Однако, в целях минимизации рисков, рекомендуется разработать внутрифирменный шаблон контракта, который будет использоваться при заключении сделок с покупателями -импортерами.

Неотъемлемым условием экономической оставляющей внешнеторговой операции является исполнение платежа за поставляемую продукцию (за исключением бартерных поставок), а итоговая его суть заключается в доходности (прибыльности) проводимой сделки.

После внешнеторгового контракта, второй по важности первичный документ при экспорте – это инвойс. Инвойс – это коммерческий документ, применяемый в международной практике, который выписывается (оформляется) продавцом в адрес покупателя при отгрузке товара, продукции, работ, услуг и содержит подробные сведения об объекте сделки.

В научной литературе, когда речь идет об внешнеэкономической деятельности и инвойсе, рассматривают коммерческий инвойс, который выписывается при отгрузке. При этом, многочисленные авторы в экономических трудах описывают инвойс как счет-фактуру, что по-нашему мнению является ошибочным суждением. В целях определения истинного предназначения инвойса, рассмотрим суть и значение документа.

В РФ инвойс заполняют только при международных коммерческих операциях и является обязательным товаросопроводительным документом, при этом отсутствуют требования, как на международном, так и на национальном уровне по его оформлению, но участники экспортных сделок ориентируются на формуляр-образец унифицированного счета, используемого в международной торговле. В соответствии с регламентирующими документами, инвойс должен содержать следующую информацию:

- номер инвойса и дату составления;
- полные реквизиты отправителя и получателя. При пользовании услугами посредника, указываются его реквизиты;
- сведения о контакте;
- полное описание груза;
- страна происхождения товара;
- условие поставки согласно терминам «Инкотермс-2020».

Инвойс выписывается экспортером одновременно с отгрузкой товара и является основанием для оплаты экспортируемого груза, услуги. Заполняется в 5-6 экземплярах, в зависимости от условий поставки, один экземпляр кладется в отправляемый груз.

То есть, главные особенности инвойса, заключаются в следующем:

- оформляется экспортером (поставщиком) и передается импортеру (покупателю);
- заполняется на английском языке;
- указываются подробные характеристики экспортируемого товара;
- является обязательным документом для прохождения таможни (без него перевозимый товар не растаможат);
- служит обоснованием факта реализации;
- копия оригинала передается в обслуживающий банк, в целях валютного контроля;
- входит в перечень обязательных документов для подтверждения 0% НДС, и его даты ведется отсчет 180 дней для подтверждения применения льготы по НДС.

Таким образом, инвойс является важнейшим документом при внешнеторговых поставках и проверяется всеми вышестоящими инстанциями, которые контролирую ВЭД в РФ.

В связи с тем, что основная доля зерновых на экспорт транспортируется через морские терминалы (порты Азовского и Черного моря),

то при ее экспорте оформляется коносамент.

Коносамент – товаросопроводительный документ международного образца, используемый в процессе транспортировки груза морским транспортом, подтверждающий заключение договора морской перевозки груза и являющийся распиской о принятии груза, а также основанием для выдачи груза в порту назначения.

Существуют различные виды коносаментов, каждый из которых детализирует особенности приема груза или его выдачи, но в них содержится примерно одна и та же информация. В России регламент заполнения коносамента определен Кодексом торгового мореплавания РФ.

Также, экспорт зерновых сопровождается узкоспециализированными дополнительными документами, такими как:

- фитосанитарный сертификат;
- сертификат, подтверждающий качество продукции;
- декларация, сертификат соответствия.

Указанные специализированные документы необходимы для прохождения таможенного контроля и общеприняты в международной и отечественной практике.

Помимо рассмотренного перечня основных первичных документов, при ВЭД увеличивается и количество предоставляемых копий в контролирующие организации: обслуживаемый Банк, Таможенный орган, ФНС, что также увеличивает нагрузку документального оборота.

Процесс документального движения при экспортных поставках с контролирующими инстанциями происходит в последовательности, представленной на рисунке 1.

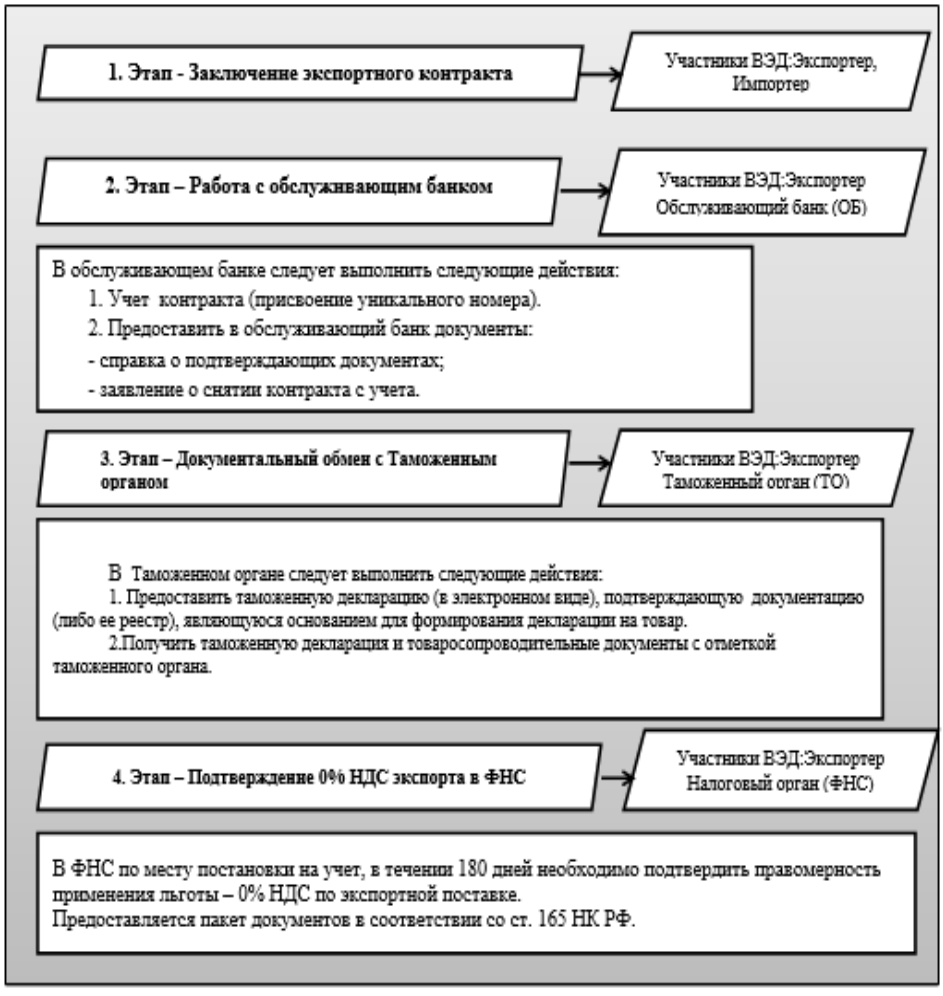


Рис. 1 – Схема документального обмена при экспортных поставках в процессе взаимодействия с органами, регулирующими внешнеторговою деятельность

Ключевыми проблемными аспектами документального обмена с органами, контролирующими экспортные сделки, по мнению участников внешнеторговых контрактов, являются: растянутые сроки прохождения таможенных процедур, а также сложности с процедурой подтверждения нулевой ставки НДС. Формируя основные блоки учетно-аналитической информации проверки экспортных операций следует на каждом этапе контроля использовать основные процедуры, применяемые для предотвращения рисков, которые являются идентичными, в случае внутреннего контроля, и, в случае внешнего аудита,

при подтверждение достоверности учетных записей. В частности, производится оценка юридического сопровождения сделки, прослеживается движение экспортируемого товара, формирования конечного финансового результата, поступление оплаты от покупателя, производится проверка экспортного НДС, правильность расчета и отражение в учете курсовых разниц, обязательная продажа части валютной выручки. Логично, если учетно-аналитическая система информационного обеспечения контроля и аудита экспортных операций будет строиться в хронологическом порядке от момента заключения внешнеторгового контракта до поступления товара покупателю, получении оплаты и продажи части валютной выручки (рис. 2).

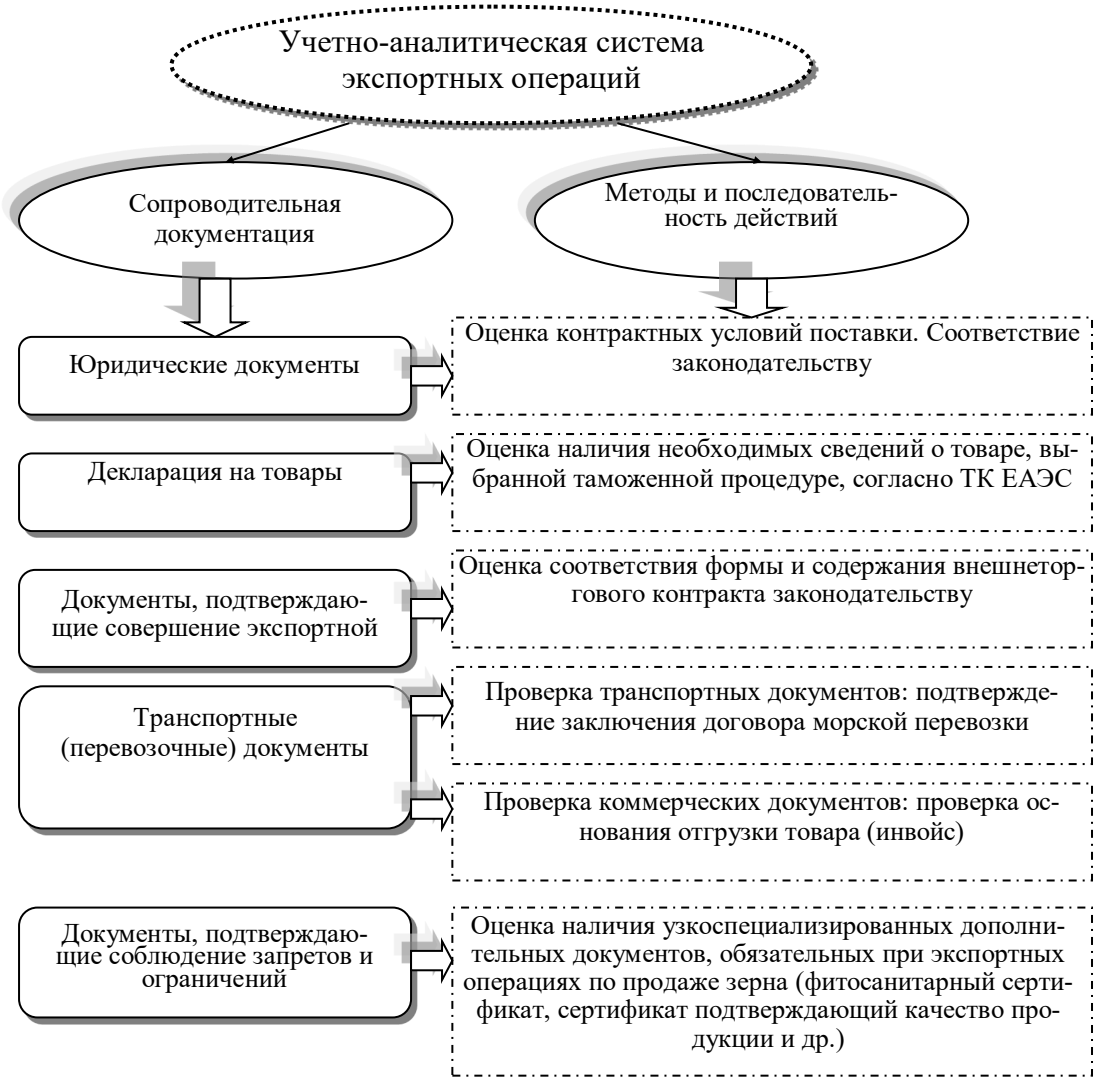


Рис. 2 – Модель информационного обеспечения внутреннего контроля и аудита внешнеторговых контрактов по продаже зерна

На рисунке систематизированы методы и последовательность действий контролера-аудитора, изучающего внешнеторговые контракты по продаже зерна, представленные в хронологическом порядке от момента заключения сделки до ее завершения с указанием источников информации, что способствует получению достаточных и надлежащих аудиторских доказательств.

Выводы. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1) российские товаропроизводители зерна занимают лидирующее место по экспортным поставкам, а доля аграриев Краснодарского края, реализующих зерновую продукцию за рубеж составляет порядка 39% от общего объема поставок, что свидетельствует о значимости внешнеторговых контрактов и операций, осуществляемых хозяйствующими субъектами АПК;

2) экспортные операции, оформленные в соответствии с законодательством, подразумевают перемещение продукции, товаров, работ, услуг через таможенную границу РФ на территорию другого государства, без обязательства об обратном ввозе, с использованием валютных расчетов;

3) существующая система учета

не позволят в полной мере оперативно получить достоверную экономическую информацию о результатах внешнеторговой деятельности, о движении экспортируемой продукции, расчетов по ней, что усложняет управленческие процедуры и требует непрерывного контроля, позволяющего не только анализировать текущую деятельность хозяйствующих субъектов, но и производить оценку выполнения стратегических целей;

4) уточнен перечень документов по сопровождению экспортных поставок сельскохозяйственных организаций, их значимость, особенности оформления, приоритетность и правильность толкования в экономической литературе;

5) представленная модель информационного обеспечения внутреннего контроля, включающая пошаговый алгоритм сбора анализируемой информации при помощи процедур контроля, с последующей систематизацией полученных данных, обеспечивает информационные потребности и унифицирует действия специалистов службы внутреннего контроля, эффективно решает управленческие проблемы в части своевременного выявления рисков.

Литература

1. Фалина Н. В., Алексеенко Л. Д., Шульженко Т. А. Развитие зернового комплекса в контексте обеспечения продовольственной безопасности и наращивания экспортного потенциала Российской Федерации // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. №106. С. 75-80.

2. Гаспарян С. В., Макарова О. В., Жидков С. А. Оценка экспортного потенциала поставок зерна АПК России на мировой рынок // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 3(82). С. 222-228.

3. Дятлова А. Ф., Минаков А. В., Клычова Г. С. Импортозамещение в условиях санкций недружественных стран как фактор повышения экономической безопасности государства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 4(72). С. 143-151.

4. Совершенствование методического обеспечения внутреннего контроля системы управления предприятием / Г. С. Клычова, А. Р. Закирова, А. Ф. Дятлова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2(70). С. 150-159.

5. Кесян С. В., Кузина А. Ф., Ленкова М. И. Особенности учета экспорта товаров, работ, услуг // Естественно-гуманитарные исследования. 2021. № 36(4). С. 286-291.

6. Чуйков А.О. Особенности нормативно-правового регулирования экспортных операций с учетом специфики деятельности компании и применения информационных технологий // Горизонты экономики. 2024. №1 (81). С.61 - 68.

7. Крайнова И. М., Раева Т. В. Экспортные и импортные операции организации: актуальные аспекты учетной политики для целей бухгалтерского и налогового учета // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 12-2(82). С. 17-20.

8. Особенности учетной налоговой политики в перерабатывающих организациях АПК / И. Н. Маслова, И. В. Шамрина, Р. В. Нуждин [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 3(74). С. 173-185.

9. Мальцев А. А., Чичилимов С. В. Налоговое регулирование внешнеэкономической деятельности в России // Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 9. С. 7-24.

10. Ситдикова Л. Ф. Развитие аграрного сектора экономики в условиях влияния внешних факторов // Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 2. С. 56-65.

11. Проблемы разработки структурного моделирования таможенного аудита / В. И. Березюк, Ю. В. Щербинина, А. И. Ныйканбаева [и др.] // Проблемы экономики и юридической практики. 2020. Т. 16. № 6.

12. Березюк В. И. Особенности осуществления пост-таможенного контроля за экспортными операциями // Инновационное развитие экономики. 2019. № 5-2(53). С. 50-53.

13. Парфенова Л. Б., Жиганов Г. В. Методологические и методические основы разработки и использования экспортного аудита на основании Регионального экспортного стандарта 2.0 // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2024. № 2(66). С. 247-257.

14. Сафонова М. Ф., Грибушенкова В. А. Основные направления внутреннего аудита при проверке учета экспортных операций // Бухучет в сельском хозяйстве. 2020. № 6. С. 49-55.

15. Корнеева Т. А., Тимралиева Р. З. Внутренний контроль внешнеэкономической деятельности российских компаний // Экономика и предпринимательство. 2023. № 2(151). С. 675-681.

16. Ганьшина С. Е. Информационная база аудита экспортных операций // Международный бухгалтерский учет. 2012. № 6(204). С. 34-40.

17. Zhukova A. K., Zhukov A. L. Materiality in Audit of Financial Reporting Party Conducting Accounting of Joint Activity // European Research Studies Journal. 2018. Vol. 21, No. 4. P. 109-118.

18. Safonova M. F., Makarenko S. A., Bershitskiy Y. I. Developing documentation in accordance with international audit standards in Russian practice // Espacios. 2018. Vol. 39, No. 34.

19. Petukh A. V., Safonova M. F., Gribushenkova V. A. Planning of the internal audit of supply chain management in foreign economic activity: Theory and practice (internal audit planning) // International Journal of Supply Chain Management. 2020. Vol. 9, No. 1. P. 756-764.

20. Грибушенкова В. А. Документальное оформление экспортных сделок // Экономика сельского хозяйства России. 2018. №12. С. 108-113.

21. Бурцева К. Ю. Направления повышения эффективности внутреннего контроля бизнес-процессов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 1(68). С. 151-159.

22. Тарасова Н. А. Особенности аудита экспортно-импортных операций в период действия санкций иностранных государств к Российской Федерации // Аудит. 2022. № 4. С. 50-55.

23. Развитие методического инструментария внутреннего контроля движения запасов / Г. С. Клычова, А. Р. Закирова, А. С. Хусаинова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021.

Т. 16. № 3(63). С. 135-141. DOI 10.12737/2073-0462-2021-135-141.

24. Совершенствование методического обеспечения внутреннего контроля финансовых результатов / Г. С. Клычова, А. Р. Закирова, А. С. Клычова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 4(60). С. 113-120. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-113-120.

25. Развитие методического инструментария внутреннего контроля расчетов с персоналом по оплате труда / Г. С. Клычова, А. Р. Закирова, А. С. Хусаинова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 3(71). С. 170-179. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-170-179.

Сведения об авторах:

Сафонова Маргарита Фридриховна - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой аудита, e-mail: safsf@yandex.ru

Резниченко Сергей Михайлович - доктор экономических наук, профессор, первый проректор, e-mail: reznichenko.s@kubsau.ru

Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Россия

INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF INTERNAL CONTROL AND AUDIT OF EXPORT OPERATIONS IN AGRICULTURAL FORMATIONS

Safonova M.F., Reznicenko S.M.

Abstract. The relevance of accounting and control systems functioning in economic entities of the agricultural sector engaged in foreign trade activities and the definition of the main directions for improving the information support of external and internal audit of export operations is due to the need for current (operational) and strategic control over the implementation of the goals set by the company's management, which ensures the efficiency of the business of an individual economic entity and the economic security of the region as a whole. Russia is the leader in grain exports in the world, while Krasnodar Krai accounts for 39% of exported grain products, which indicates the importance of foreign trade transactions carried out by farmers in the region. SWOT analysis of foreign economic activity development (FEA) of agriculture in Krasnodar Krai showed the need for continuous monitoring of micro and macro risks of economic entities engaged in export activities, which is impossible without an effective internal control system, the information support of which is the key to the quality of the procedures carried out. The current FEA accounting system is not operational, which negatively affects the reliability of economic information on the results of foreign trade activities, the movement of exported products, settlements on them, complicates management procedures. An important component of the internal control system is the information field, which mainly includes primary accounting and legal documentation accompanying the transaction. For grain exporting organizations, important elements of the documentation process are a foreign trade contract, bill of lading, invoice. As a result of the proposed documentary exchange scheme for export deliveries, an effective process of interaction with the authorities regulating foreign trade activities is formed. The model of information support for internal control, including a step-by-step algorithm for collecting analyzed information using control procedures, with subsequent systematization of the data obtained, unifies the actions of internal control service specialists. The model is easily integrated into the existing accounting and analytical system of agricultural exporters, takes into account the capabilities of the applied communication systems based on information technologies and modeling methods.

Key words: control, audit, export transactions, bill of lading, invoice, audit information support.

References

1. Falina NV, Alekseenko LD, Shulzhenko TA. [Development of the grain complex in the context of ensuring food security and increasing the export potential of the Russian Federation]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; 106. 75-80 p.

2. Gasparyan SV, Makarova OV, Zhidkov SA. [Assessment of the export potential of grain supplies of the Russian agro-industrial complex to the world market]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 3(82). 222-228 p.

3. Dyatlova AF, Minakov AV, Klychova GS. [Import substitution in the context of sanctions from unfriendly countries as a factor in increasing the economic security of the state]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 4(72). 143-151 p.

4. Klychova GS, Zakirova AR, Dyatlova AF. [Improving the methodological support of internal control of the enterprise management system]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 150-159 p.

5. Kesyan SV, Kuzina AF, Lenkova MI. [Features of accounting for the export of goods, jobs, services]. Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya. 2021; 36(4). 286-291 p.

6. Chuykov AO. [Features of the legal regulation of export operations, taking into account the specifics of the company's activities and the use of information technologies]. Gorizonty ekonomiki. 2024; 1 (81). 61-68 p.

7. Kraynova IM, Raeva TV. [Export and import operations of the organization: current aspects of accounting policy for the purposes of accounting and tax accounting]. Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2021; 12-2(82). 17-20 p.

8. Maslova IN, Shamrina IV, Nuzhdin RV. [Features of accounting tax policy in processing organizations of the agro-industrial complex]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.15. 3(74). 173-185 p.

9. Maltsev AA, Chichilimov SV. [Tax regulation of foreign economic activity in Russia]. Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik. 2021; 9. 7-24 p.

10. Sitdikova LF. [Development of the agricultural sector of the economy under the influence of external factors]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2025; 2. 56-65 p.

11. Berezyuk VI, Shcherbinina YuV, Nyykanbaeva AI. [Developing problems of structural modeling of customs audit]. Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki. 2020; Vol.16. 6.

12. Berezyuk VI. [Features of post-customs control implementation over export operations]. Innovatsionnoe razvitie ekonomiki. 2019; 5-2(53). 50-53 p.

13. Parfenova LB, Zhiganov GV. [Methodological and methodical foundations for export audit development and use based on the Regional Export Standard 2.0]. Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie. 2024; 2 (66). 247-257 p.

14. Safonova MF, Gribushenkova VA. [Main areas of internal audit when checking the export operations accounting]. Bukhuchet v selskom khozyaystve. 2020; 6. 49-55 p.

15. Korneeva TA, Timralieva RZ. [Internal control of foreign economic activities of Russian companies]. Ekonomika i predprinimatelstvo. 2023; 2(151). 675-681 p.

16. Ganshina SE. [Information base of export operations audit]. Mezhdunarodnyy bukhgalterskiy uchet. 2012; 6(204). 34-40 p.

17. Zhukova AK, Zhukov AL. Materiality in audit of financial reporting party conducting accounting of joint activity. European Research Studies Journal. 2018; Vol.21. No.4. 109-118 p.

18. Safonova MF, Makarenko SA, Bershitskiy YI. Developing documentation in accordance with international audit standards in Russian practice. Espacios. 2018; Vol.39. No.34.

19. Petukh AV, Safonova MF, Gribushenkova VA. Planning of the internal audit of supply chain management in foreign economic activity: Theory and practice (internal audit planning). International Journal of Supply Chain Management. 2020; Vol.9. No.1. 756-764 p.

20. Gribushenkova VA. [Documentary registration of export transactions]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2018; 12. 108-113 p.

21. Burtseva KYu. [Directions for improving the efficiency of internal control of business processes]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.14. 1(68). 151-159 p.

22. Tarasova NA. [Features of the audit of export-import operations during the period of sanctions of foreign states against the Russian Federation]. Audit. 2022; 4. 50-55 p.

23. Klychova GS, Zakirova AR, Khusainova AS. [Development of methodical tools for internal control of inventory movement]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 135-141 p. DOI 10.12737/2073-0462-2021-135-141.

24. Klychova GS, Zakirova AR, Klychova AS. [Improving the methodical support for internal control of financial results]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15. 4(60). 113-120 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-113-120.

25. Klychova GS, Zakirova AR, Khusainova AS. [Development of methodical tools for internal control of settlements with personnel on wages]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 3(71). 170-179 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-170-179.

Authors:

Safonova Margarita Fridrikhovna - Doctor of Economics, Professor, Head of Audit Department, e-mail: safsf@yandex.ru

Reznichenko Sergey Mikhaylovich - Doctor of Economics, Professor, First Vice-Rector, e-mail: reznichenko.s@kubsau.ru

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-153-161
УДК 338.43:658.012.4:332.64:504.03/.06

ТИПИЗАЦИЯ БАРЬЕРОВ ВХОДА НА ОТРАСЛЕВОЙ РЫНОК: ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ СИСТЕМ

О. В. Шумакова, О. Н. Крюкова

Реферат. Антропогенная нагрузка на агропромышленный комплекс (далее - АПК) остаётся одной из центральных тем современных научных исследований, привлекающей внимание специалистов в области экономики и инженерии. Эффективное управление агропродовольственными системами требует интеграции экономических, экологических и социальных факторов, что позволит обеспечить устойчивое развитие агропродовольственного комплекса и гарантировать продовольственную безопасность. Разработанная автором типология барьеров для предприятий, работающих на агропродовольственном рынке, выделяет управленческие, экономические, эколого-социальные, юридические и кадровые барьеры, что даёт возможность более точно идентифицировать и анализировать каждый тип барьера, создавая основу для разработки целевых мер по их преодолению. Агропромышленный комплекс оказывает значительное воздействие на окружающую среду, вызывая изменение ландшафтов, загрязнение водных и воздушных ресурсов, истощение природных запасов и снижение биологического разнообразия. Примером служит Омская область, где АПК оказывает сильное антропогенное давление на природную экосистему, что ведёт к деградации земель: 12,1% земель уничтожено эрозией, а 73,5% подвержены дефляции. Для минимизации этих негативных последствий необходимы интегрированные системы управления, учитывающие эколого-социальные барьеры, что позволяет поддерживать баланс между интересами экономических субъектов и экологической безопасностью территорий. Рыночные барьеры заметно увеличивают трансакционные издержки и снижают эффективность функционирования агропродовольственного рынка. Индивидуальный подход к каждому типу барьера имеет важное значение для разработки мер, направленных на снижение этих издержек и повышение общей эффективности рынка. Государственная агропродовольственная политика должна предусматривать меры по снижению трансакционных издержек и улучшению взаимодействия между участниками рынка. Переориентация на поддержку и защиту интересов производителей и потребителей сельскохозяйственной продукции будет способствовать достижению целей глобальной продовольственной безопасности. Комплексное управление агропродовольственными системами, основанное на учёте эколого-социальных аспектов, является ключом к устойчивому развитию агропродовольственного комплекса и обеспечению продовольственной безопасности.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, агропродовольственная политика, единая комплексная система, трансакционные издержки, эколого-социальные барьеры, государственное регулирование.

Введение. Исследование антропогенной нагрузки на агропромышленный комплекс (далее – АПК) является одним из наиболее актуальных направлений современной науки, привлекающим внимание ученых в области экономики и техники по всему миру. Актуальность проводимых исследований определяется рядом явлений и процессов, непосредственно связанных с функционированием АПК, который оказывает значительное воздействие на окружающую среду, проявляющееся в изменении ландшафтов, загрязнении водных и воздушных ресурсов, истощении природных запасов и снижении биологического разнообразия. Эти аспекты требуют всестороннего научного анализа для разработки стратегий минимизации негативных воздействий. Устойчивое развитие агропромышленной сферы тесно связано с обеспечением продовольственной безопасности, что предполагает необходимость углублённых исследований для оптимизации управления ресурсами, уменьшения потерь продовольствия и повышения эффективности сельского хозяйства. Рациональное управление антропогенными нагрузками способствует сокращению затрат на восстановление экосистем и предотвращению неблагоприятных последствий для сельского хозяйства, что критически важно для поддержания экономической стабильности. Вопросы занятости, устойчивости сельских сообществ и социальной справедливости также оказываются взаимосвязанными с антропогенным воздействием в агросекторе, подчёркивая многогранную значимость исследований в данной области. Научные исследования помогают выявить пути улучшения социальной справедливости и благополучия населения.

Экосистема АПК на уровне государства и отдельного субъекта находится в последнее время под пристальным вниманием. В рамках новой институциональной экономики барьеры входа на отраслевой аграрный рынок (институциональные ограничения для новых участников агропродовольственного рынка) занимают центральное место в поддержании конкурентоспособности, обеспечении долгосрочной продовольственной безопасности, служат залогом устойчивого роста в отрасли и благополучия хозяйствующих субъектов. Они выполняют ключевую функцию в социально-экономической политике посредством гарантирования физической и экономической доступности пищевых продуктов, отвечающих законодательным требованиям, для каждого гражданина. Важным аспектом гарантий

высоких стандартов продовольствия является учет эколого-социальных барьеров. Такие барьеры, как загрязнение, истощение природных ресурсов и микробиологическое воздействие, могут существенно влиять на качество продукции. Разработка комплексной системы управления, интегрирующей механизмы преодоления вышеуказанных барьеров, способствует обеспечению высокого уровня продовольственной безопасности и стандартизации. Такая система позволяет эффективно реагировать на вызовы, связанные с ограничениями доступа к рынку, обеспечивая тем самым стабильность поставок продовольствия и соответствие продукции установленным нормативам. При этом вопросы наличия и преодоления барьеров одновременно концентрируют внимание исследователей на функционировании свободного рынка, экономической доступности продовольствия, искусственном ограничении покупательной способности для каждого отдельно взятого гражданина. В этой связи требуется исследовать экономические, технологические и эколого-социальные аспекты функционирования субъектов рынка, имеющиеся механизмы, которые могут препятствовать или даже ограничивать полностью их выход на рынок, замедляя рост и развитие агропродовольственного сектора.

Актуальность исследования подтверждается тем, что появление новых участников рынка способствует экономическому росту (новые компании стимулируют конкуренцию, что побуждает существующие организации и фирмы улучшать свою продукцию и услуги, снижать цены и повышать качество; увеличение капитальных вложений способствует росту экономики и повышает общий уровень благосостояния; рост доходов работников активизирует потребительский спрос). Однако необходимо изучать типы и природу ограничений для новых участников агропродовольственного рынка, чтобы разработать комплекс мер по воздействию на них, а также алгоритмы действий субъекта рынка при возникновении барьера. Сбалансированность и устойчивость экономического развития рынка становится возможным лишь при обеспечении равных прав различных экономических агентов [1]. При этом формирование среды для развития регионального агропродовольственного рынка, учитывающей особенности и характер эволюции взаимоотношений его участников, выступает ключевой стратегической задачей государственного управления, итогом которой станет увеличение объемов продаж, создание предпосылок для сотрудничества, объединения усилий и совершенствования рыночных структур.

Целью исследования является типизация барьеров входа на отраслевой агропродовольственный рынок и выявление эколого-социальных аспектов, влияющих на его развитие, для создания комплексной системы управления и преодоления этих барьеров.

Условия, материалы и методы. Для систематизации знаний применялся набор правил, стратегий и методов, гарантирующих объективное восприятие. Изучалось влияние высоких и глубоких отраслевых преград для новых экономических субъектов рынка и агропродовольственного сектора.

В работе используются методы анализа и синтеза, индукции и дедукции, а также эмпирические методы для изучения рыночных барьеров и их влияния на экономический рост.

Эмпирические данные были собраны с помощью наблюдений и экспериментов, проведенных среди реальных участников агропродовольственного рынка.

Все применяемые методы отвечали ключевым критериям: принципу объективности (исключение влияния личных взглядов исследователя на предмет исследования), принципу системности (исследование велось с 2011 по 2024 год), принципу повторяемости (любой этап и стадия исследовательской работы могли быть воспроизведены и проверены другими специалистами).

Чтобы определить теоретический контекст исследования, были проанализированы основополагающие подходы к изучению барьеров для новых участников агропродовольственного рынка. Исследованию рыночных барьеров входа посвятили свои труды В.Ю. Волошина, С.А. Лукьянов, Р. Маликов, А.П. Табурчак, Р.Г. Тер-Григорьянц и др. Однако следует отметить, что в агропромышленном комплексе и на агропродовольственном рынке наблюдаются особенности возникновения барьеров и трансакционных издержек, поэтому, по нашему мнению, данное исследование является значимым и актуальным.

Среди множества научных подходов позитивно-диалектический взгляд на знание кажется наиболее уместным для данного исследования, так как сосредоточен на структуре, включающей взаимозависимые компоненты и обратную связь. Этот метод предполагает четкую и последовательную аргументацию, так как концепция основана на идее постоянного взаимодействия между различными элементами системы, позволяет учесть взаимодействия и понять, как изменения в одной части системы могут повлиять на другие, логика помогает избежать ошибок в рассуждениях.

Теоретической основой исследования послужили научные работы и концепции российских и зарубежных учёных, посвящённые особенностям рыночных ограничений для новых участников, рассматриваемых как уникальные институты, включающие неформальные и формальные нормы, формирующие деловую среду субъектов агропродовольственного рынка.

Результаты и обсуждение. Одним из важнейших направлений оценки развитости агропродовольственного рынка является методологический анализ природы возникновения отраслевых барьеров входа и взаимосвязи

расширения рынков с усилением пагубного влияния на экологию, тяжестью антропогенной нагрузки на сельские территории и местность размещения институциональных узлов агропродовольственного рынка. Система индикаторов оценки влияния действий рыночных субъектов на экосистему АПК может стать альтернативной характеристикой для обоснования важности наличия отраслевых барьеров для сдерживания границ рынка и снижения отрицательного воздействия на окружающую природную среду.

Согласно точке зрения Дж. Бэйна, входным барьером считается фактор, позволяющий устоявшимся компаниям получать избыточную прибыль без риска появления новых предприятий. Иной взгляд на отраслевые барьеры, основанный на различии затрат между действующими и новыми компаниями, был предложен Дж. Стиглицем [2]. Учёные известной Чикагской школы подчеркивают, что входные барьеры представляют собой издержки на создание, которые несёт фирма, стремящаяся войти в отрасль, однако они не затрагивают тех, кто уже давно работает на рынке. Фон Вайцзеккер продолжил теоретический анализ Дж. Стиглица, определяя барьеры входа как производственные затраты, отражающие разницу в использовании экономических ресурсов с точки зрения общества [3]. Б.А. Райзберг, Е.Б. Стародубцева, Л.Ш. Лозовский видят входные барьеры как рыночные механизмы, препятствующие новым участникам начать экономическую и хозяйственную деятельность на агропродовольственном рынке и действующим игрокам его покинуть. Ю.Я. Ольсевич исследует экономическое развитие, уделяя особое внимание разнообразию социальных типов людей [4], создающих культурные преграды в коммуникационном процессе.

Большая часть сельскохозяйственной продукции характеризуется высокими расходами на перевозку и хранение. Так как сезоны сбора урожая и потребления продукции не совпадают, возникает потребность в строительстве или аренде складских помещений, которые значительную часть времени простаивают без дела. Эти обстоятельства способствуют формированию барьеров и существенному увеличению трансакционных издержек.

Вопрос потенциальной конкуренции и условий доступа к рынку сельскохозяйственных товаров представляет собой одну из центральных проблем при осуществлении экономического анализа отдельных отраслей. Эта проблема обусловила появление широкого спектра теоретико-методологических подходов к выявлению и оценке отраслевых барьеров. В настоящее время в различных отраслях, включая агропромышленный сектор, действуют преграды для доступа предприятий на рынок, такие как исключительные права, ограничения, льготы, законодательные меры, программы социально-экономического развития и прочие [5]. Благодаря этим барьерам, действующие игроки могут не беспокоиться о конкуренции со стороны новых участников [6].

Мы сформулировали авторское определение и считаем, что барьеры для входа на аграрный рынок – это совокупность экономических, экологических, социальных, административных, правовых и кадровых институтов различной степени сложности и глубины воздействия, которые затрудняют деятельность рыночных субъектов и мешают проникновению новых участников.

Существующие подходы нередко характеризуются противоречиями, что затрудняет разработку унифицированных критериев для идентификации и количественной оценки указанных барьеров. Имеются разнообразные классификации ограничений для новых участников агропродовольственного рынка. Вследствие данного исследования, а также анализа научных литературных источников мы предлагаем авторскую типологию барьеров для предприятий, действующих на агропродовольственном рынке, при определении транзакционных затрат, среди которых управленческие, экономические, эколого-социальные, юридические и кадровые (рис.).

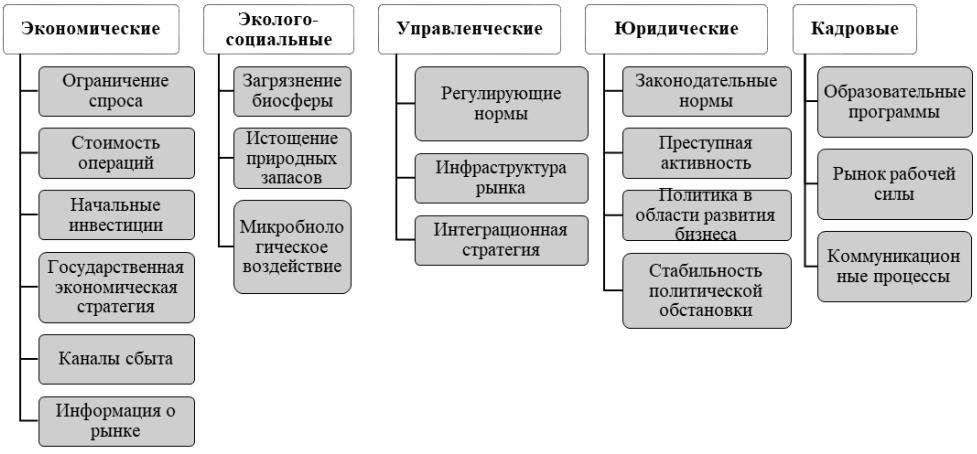


Рис. - Типизация барьеров и формы их проявления на агропродовольственном рынке (составлено автором)

Рыночные барьеры оказывают существенное влияние на величину трансакционных издержек, связанных с входом на аграрный рынок и выходом с него. Однако утверждение о необходимости устранения всех барьеров на уровне всего рынка представляется преждевременным. Важность индивидуального подхода к каждому типу барьеров обусловлена необходимостью разработки целенаправленных мер по их преодолению, исходя из особенностей конкретного барьера. Для снижения негативного воздействия рыночных барьеров на экономические субъекты необходимо разработать индивидуальные меры, соответствующие специфике каждого типа барьера. Такой подход позволит учесть разнообразие возникающих ситуаций и предложить оптимальные решения, направленные на снижение трансакционных издержек и повышение общей эффективности функционирования аграрного рынка. Одним из ключевых вопросов становится исследование связи между уровнем и сложностью рыночных барьеров и усилением экологических проблем в зонах расположения ядер агропродовольственных рынков, а также на путях транспортировки сельскохозяйственной продукции. Разработка гипотез о характере и степени этого влияния представляет собой важный этап в формировании комплексной стратегии по снижению негативных последствий, как для экономики, так и для экологии региона. Таким образом, для повышения эффективности функционирования аграрного рынка и минимизации экологических рисков требуется детальное изучение природы существующих рыночных барьеров и разработка индивидуальных подходов к их преодолению. Только такой комплексный и научно обоснованный подход позволит создать условия для устойчивого развития агропромышленного комплекса, учитывая интересы, как экономических субъектов, так и экологической безопасности территорий.

Создание благоприятных условий для экономической активности субъектов агропромышленного комплекса, развитие кооперации, интеграция и формирование эффективной рыночной инфраструктуры являются важными элементами для достижения устойчивых темпов роста АПК. Эти процессы способствуют повышению производительности и конкурентоспособности аграрного сектора, однако они неизбежно сопряжены с увеличением антропогенного давления на природные ресурсы и экосистемы. Для минимизации негативных последствий экологического воздействия необходимо учитывать специфику природоохранных мероприятий, направленных на поддержание биоразнообразия и стабильности экосистем.

На территории Российской Федерации, простирающейся от Балтийской косы на западе до острова Ратманова на востоке, охватывающей тысячи километров, наблюдается непрерывное воздействие антропогенных факторов на природные экосистемы [7]. Обычно, высказывая мнение о степени антропогенной нагрузки, эксперты ограничиваются признаками, описывающими «очаговый» вид влияния – урбанизированность (концентрация городского населения), а также уровень техногенного загрязнения (насыщенность и частота вредных выбросов в атмосферу) и «фоновый» вид, сформулированный признаком распаханности местности. Однако данный подход является ограниченным. Требуется учитывать влияние факторов, нарушающих естественное функционирование природы и живых организмов.

Аграрный сектор экономики государства играет решающую роль в формировании экологической ситуации. Сельские жители, в свою очередь, влияют на природную среду через свою деятельность. Влияние сельского хозяйства превышает даже воздействие таких экологически значимых промышленных отраслей, как энергетика, чёрная металлургия и горнодобывающая промышленность. Их воздействие на окружающую среду носит локальный и ограниченный характер. В то же время, зависимость сельскохозяйственного производства от состояния окружающей среды и климатических условий значительно выше, чем у промышленного производства, где ключевыми факторами являются наличие природных и энергетических ресурсов.

Вода выполняет критически важную функцию, участвуя в многочисленных разнообразных механизмах и процессах, однако её загрязнение в результате неустойчивых сельскохозяйственных практик представляет серьёзные угрозы для здоровья человека и экосистем планеты, зачастую недооцениваемые государственными структурами и участниками сельскохозяйственного производства и агропродовольственного рынка. По данным ФАО, основными источниками загрязнения водных ресурсов во многих странах являются не городские агломерации или промышленное производство, а именно сельское хозяйство.

Первостепенной задачей любой государственной политики должно стать сохранение и наращивание природного ресурсного потенциала, улучшение экологической обстановки, а также защита права человека на полноценное питание, поддержание здоровья и профилактику болезней. Учитывая постоянный прирост населения Земли и потребности для достойной жизни, процесс производства пищевых продуктов должен непрерывно расширяться. Тем не менее, здесь возникают конфликты и конкуренция за ресурсы (противоречие между необходимостью увеличения объёмов растениеводства, животноводства и производства пищи) и, как следствие, тревожащее состояние природно-ресурсной базы сельского хозяйства из-за возрастающей концентрации углекислого газа, которая способствует глобальному потеплению [8].

Омская область испытывает значительное техногенное давление, хотя промышленный

сектор оказывает значительно меньшее антропогенное воздействие. Экологическая ситуация в регионе ухудшается с каждым годом. Одной из причин является неэффективное использование природных ресурсов в сельском хозяйстве, которое способствует деградации земель, особенно на юге области [9]. В пределах региона находится 4481,7 тыс. гектаров земли, подверженных эрозии и дефляции. Из них 1762,5 тыс. гектаров находятся под угрозой разрушения: 12,1% уничтожено эрозией, 73,5% подверглось дефляции, а 14,4% разрушается под воздействием воды и ветра.

В ряде районов Омской области процент распаханности сельхозугодий достигает до 80-90%. При выращивании сельскохозяйственных растений естественный цикл возврата питательных веществ в землю, поглощаемых растениями, нарушается. Но, несмотря на негативные последствия интенсивной обработки земли, возделывание сельскохозяйственных культур возможно благодаря следующим факторам: использование удобрений (органические и минеральные удобрения компенсируют потерю питательных веществ в почве), внедрение системы чередования культур (смена разных видов растений способствует восстановлению баланса питательных веществ и предотвращает истощение почвы), защита почв (создание лесополос и террасирование склонов помогают минимизировать потери плодородия), агротехнические мероприятия (вспашка, боронование и другие агротехнические мероприятия улучшают структуру почвы и поддерживают её плодородие). Однако органические и минеральные удобрения приводят к загрязнению почв и накоплению вредных соединений, таких как нитраты, в растительных культурах. Объекты транспортной инфраструктуры, включая федеральные трассы, такие как участки Омск – Татарск, Омск – Петропавловск, Тюмень – Омск, становятся зонами длительного загрязнения, простирающимися на расстояние до 100-300 метров в обе стороны от дорог [10]. Синтетическая радиоактивность почвы определена в основном цезием-137 и стронцием-90.

Тем не менее, федеральный или областной масштаб исследования на сегодняшний день оказывается недостаточно показательным. Если исследование охватывает лишь отдельные регионы или федеральные округа, что не отражает полную картину состояния сельского хозяйства страны, так как агроклиматические условия, экономическое развитие и инфраструктура сильно различаются между регионами, что делает результаты недостаточно репрезентативными для формирования полного представления о состоянии отрасли. В мировых аграрных системах стираются границы не только туристические, но и торговые, и производственные. Для формирования условий, способствующих устойчивому сельскому хозяйству и развитию сельских территорий, требуется внести существенные изменения, как в национальную, так и в международную экологическую политику.

На практике прослеживается стабильная тенденция к чрезмерному потреблению и производству продуктов питания. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН [11], в мире теряется или выбрасывается около трети продовольствия. По факту антропогенная нагрузка при производстве продукции сельского хозяйства не оправдана экономическим эффектом и потребностями населения. Неопределенность будущей доступности природных ресурсов, включая леса, продукты питания, воду, энергию, создают беспрецедентные социально-экономические и экологические проблемы. Возможности достижения устойчивого развития требуют глубоких знаний в вопросах многоуровневого и многофакторного управления, правовых основ, структур регуляторов и институтов, а также общественных практик.

Многими государствами активно разрабатываются стратегии перехода к устойчивой «зелёной» экономике. Достижение этой цели возможно только при соблюдении эколого-экономического равновесия в развитии регионов. Для этого требуется системная перестройка всех секторов экономики, обеспечивающая согласованность между потребностями экономики в ресурсах и возможностью поддержания стабильного функционирования экосистем без их существенного разрушения и ограничения экономического роста [12]. Для обеспечения устойчивого развития важно учитывать широкий спектр факторов, включая антропогенную нагрузку, качество жизни населения и сохранение природных ресурсов. Внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить эффективность использования имеющихся ресурсов. Сохранение и увеличение продуктивности экосистем является ключевым элементом этой стратегии, поскольку здоровье экосистем напрямую влияет на стабильность и устойчивость аграрной отрасли. Однако важным аспектом, который часто остается вне поля зрения исследователей, является оценка влияния антропогенных факторов на участников продовольственных систем.

В контексте управления высотой и глубиной проникновения эколого-социальных барьеров на рынке продовольствия возникает вопрос о том, насколько эти барьеры учитываются при анализе взаимодействия между экономическими агентами. Важно понимать, что традиционные подходы к изучению барьеров входа на рынок зачастую фокусируются исключительно на экономических аспектах, упуская из виду экологические и социальные факторы. Исследования показывают, что антропогенная нагрузка оказывает значительное влияние на всех участников экосистемы агропромышленного комплекса, однако этот аспект редко принимается во внимание при

построении классификаций барьеров входа на агропродовольственный рынок. Исходя из этого, мы полагаем, следует дополнить общепринятые классификации отраслевых барьеров рынка отдельным типом – эколого-социальные, формами проявления которых в рыночной среде являются: биологическое загрязнение, истощение природных ресурсов, микробогенное воздействие. По своей сути *эколого-социальные ограничения для новых участников агропродовольственного рынка* – это системное множество проявлений деятельности различных институтов и человека, оказывающих влияние на природу, что ведет к количественным и качественным изменениям в экологии, обременяя функционирование субъектов рынка, в том числе ограничивая появление новых хозяйствующих агентов.

Проникновение организмов, размножение которых несёт нежелательный характер, как для человека, так и для экосистем в целом, является следствием деятельности человека при сельскохозяйственном производстве. Экосистема АПК претерпевает изменения, способствующие распространению протозойных и глистных инвазий. Из зарегистрированных 89 видов паразитических червей 26 – у сельскохозяйственных животных [13]. Домашние и сельскохозяйственные животные являются источниками обсеменения объектов окружающей среды возбудителями болезней. Паразитарное загрязнение среды выражается в увеличении параметров заражения людей и сельскохозяйственных животных, что сказывается на увеличении затрат на их содержание, а также снижает качество производимой продукции, повышая трансакционные издержки.

Наличие экологических аспектов хозяйственной деятельности, которая связана с истощением природных ресурсов и значительным уровнем влияния на природные системы сопровождается ростом трансакционных издержек, сопровождающих взаимоотношения экономических агентов. Затруднения, возникающие в силу растущей интенсивности природопользования, вынуждают находить способы адаптации к трансформирующимся условиям, предупреждения необратимых отрицательных последствий посредством сравнения всевозможных альтернатив институциональных решений – поиск альтернативных вариантов замены невозобновляемых ресурсов в сельскохозяйственном производстве и при продаже продовольствия, методик определения экономической ценности природных ресурсов, включая затраты на устранение барьеров, возмещение экологических затрат или компенсации причиненного ущерба, нанесенного окружающей среде и обществу.

Исследователи считают, что именно антропогенное вмешательство в природу является причиной распространения таких болезней, как Эбола, птичий грипп, SARS и др. [14]. Совокупность влияний жизнедеятельности микроорганизмов на другие живые системы мы смогли оценить в 2020 году в связи с пандемией COVID-19 – риски нарушения непрерывности агробизнеса, внезапные количественные изменения, снижение показателей производительности труда, угрозы безопасности.

Микроорганизмы становятся как источником загрязнений, так и их жертвами. Например, забор воды из водоемов для нужд сельского хозяйства изменяет температурный режим, уменьшает размеры водного бассейна и меняет химический состав воды (например, как произошло на Аральском море), что негативно влияет на обитателей водоёма.

Так как экосистемы полей, садов, пастбищ, огородов и прочих агроценозов представляют собой упрощенные системы, нестабильные и неспособные к саморегуляции, они не могут существовать без вмешательства человека. У предприятий ограниченные возможности для преодоления эколого-социальных препятствий при выходе на новые рынки, поэтому им нужна государственная поддержка [15].

Для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации, гарантирующей каждому гражданину доступ к качественным продуктам питания, соответствующим установленным нормам и объёмам, необходимым для полноценного рациона, требуется активное и сознательное участие всех рыночных структур и их представителей в экосистеме агропромышленного комплекса. В настоящее время участники продовольственного рынка функционируют как отдельные институты, включающие как неформальные, так и формальные правила, которые составляют неотъемлемую часть деловой среды субъектов агропродовольственного рынка.

Для понимания их влияния на агропродовольственный рынок и разработку эффективных мер по их устранению или минимизации необходим экономический анализ эколого-социальных барьеров. Комплексный подход, включающий оценку затрат, анализ трансакционных издержек и внедрение стратегических инициатив, позволит обеспечить устойчивое развитие агропродовольственной системы и укрепить продовольственную безопасность. Экономический анализ эколого-социальных барьеров включает оценку экономических, экологических и социальных факторов.

Во-первых, необходимо дать определение эколого-социальных барьеров. По нашему мнению, это препятствия, связанные с взаимодействием человека и природы, которые влияют на функционирование агропродовольственного рынка (загрязнение окружающей среды; истощение природных ресурсов; микробиологическое воздействие) и приводят к дополнительным затратам для предприятий, затрудняя их выход на рынок и снижая общую эффективность агропродовольственной системы.

Во-вторых, следует провести оценку стоимости эколого-социальных барьеров. Она включает следующие компоненты: прямые затраты на очистку загрязненных территорий; потери от снижения урожайности из-за истощения почв; дополнительные расходы на здравоохранение, вызванные ухудшением экологической ситуации. Оценка этих затрат позволяет лучше понять масштаб проблемы и принять соответствующие меры для ее решения.

В-третьих, требуется проанализировать влияние барьеров на трансакционные издержки. Эколого-социальные барьеры увеличивают затраты, связанные с обменом товарами и услугами, такие как затраты на сертификацию продукции из-за ужесточившихся экологических норм; увеличение времени и ресурсов на получение разрешений на ведение хозяйственной деятельности; дополнительные проверки и контроль со стороны государственных органов. Анализ позволит выявить «узкие места» в бизнес-процессах и предложить пути их оптимизации.

Экономический анализ позволяет выбрать наиболее эффективные стратегии, учитывая как прямые выгоды, так и долгосрочные перспективы. Для уменьшения негативного влияния эколого-социальных барьеров можно использовать несколько стратегий: внедрение ресурсосберегающих технологий; улучшение управления отходами и загрязнением; создание стимулов для предприятий инвестировать в экологические проекты.

Для преодоления рыночных отраслевых барьеров и снижения трансакционных издержек субъектам агропродовольственного рынка требуется система определённых институтов. Наиболее сложными и дорогостоящими оказываются внешние барьеры, поскольку их уменьшение зависит от внешних факторов. Следует подчеркнуть, что пищевую промышленность и сельское хозяйство в структуре многоукладной экономики государства справедливо признают особой стратегической, социально значимой отраслью, обеспечивающей продовольственную безопасность, а вместе с ней – национальную и экономическую независимость, и, конечно, суверенитет страны. Ключевая роль в алгоритме преодоления рыночных отраслевых барьеров соответственно отводится органам государственным власти, поскольку данный функционал входит в их обязанности. Лишь грамотное распределение задач даст возможность снизить затраты времени и финансов, трансакционные издержки и бюрократические процедуры.

Выводы. Статья посвящена проблемам взаимодействия человека, природы и социальных институтов в условиях меняющихся политик и стратегий государства в области агропромышленного комплекса. Анализ показал, что существуют различные типы барьеров, включая экономические, эколого-социальные, административные и правовые. Они оказывают существенное влияние на развитие рынка и конкурентоспособность его участников. Важной особенностью исследования аграрных систем является необходимость учета эколого-социальных аспектов, таких как загрязнение, истощение природных ресурсов и микробиологическое воздействие. Для эффективного функционирования агропродовольственного рынка необходимы интегрированные системы управления, которые включают различные виды ограничений и механизмы их преодоления. Такие системы помогут сбалансировать интересы всех участников рынка и обеспечить устойчивое развитие. Важная роль принадлежит государству в создании благоприятных условий для входа новых участников на рынок, снижении административных барьеров и стимулировании инновационных процессов.

Для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития агропродовольственного рынка необходимо разработать государственную агропродовольственную политику, учитывающую все аспекты функционирования рынка, включая эколого-социальные барьеры. Обеспечение прозрачности и доступности информации для всех участников рынка поможет снизить трансакционные издержки и улучшить взаимодействие между субъектами агропродовольственного рынка. Важно предоставлять финансовую и консультационную поддержку новым предприятиям сектора, особенно малым и средним, для облегчения их входа на рынок и повышения их конкурентоспособности. Стимулирование внедрения технологий, снижающих негативное воздействие на окружающую среду, позволит минимизировать эколого-социальные барьеры и повысить устойчивость агропродовольственных систем.

По нашему убеждению, определение характера возникающих трансакционных затрат под влиянием различных (включая эколого-социальные) барьеров агропродовольственного рынка на деятельность экономических субъектов, а также определение факторов, воздействующих на эту величину, даст возможность разработать и внедрить эффективную систему управления экосистемой агропромышленного комплекса. Тем не менее, текущие процессы кластеризации, функциональные взаимосвязи и глобализация рынков требуют научно обоснованного сочетания государственного регулирования с рыночными инструментами взаимодействия между участниками рынка. Мы полагаем, что необходима переориентация на создание целостной системы поддержки и защиты интересов производителей и потребителей сельскохозяйственной продукции. Эта мера, безусловно, будет способствовать достижению целей глобальной продовольственной безопасности.

Сведения об источнике финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда №24-28-20382 https://rscf.ru/project/24-28-20382/

Литература

1. Integrative Viewpoint for Implementing Sustainable Management Agricultural Business Excellence / M. Sahaidak, M. Tepliuk, V. Zhurylo [et al.] // TEM Journal. 2021. Vol. 10, No. 1. P. 303-309.
2. Смирнов Е. Н., Лукьянов С. А. Преференциальные торговые соглашения: теория и практика // Мировая экономика и международные отношения. 2022. Т. 66. № 5. С. 32-40.
3. Канаев Е. А., Королев А. С. Две стороны одной проблемы // Россия в глобальной политике. 2021. Т. 19. № 1(107). С. 212-224.
4. Ольсевич Ю. Я. Психологические основы экономического поведения / Москва : Инфра-М, 2009. 413 с.
5. Шумакова О. В., Крюкова О. Н. Новые трансакционные затраты и глобальная цифровизация // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2020. Т. 14. № 3. С. 189-197.
6. Шумакова О. В. Барьеры на агропродовольственном рынке: оценка и преодоление // Сибирская финансовая школа. 2010. № 2(79). С. 7-14.
7. Реакция сообществ водных организмов на антропогенные изменения минерализации в небольшой реке (бассейн Белого моря, Республика Карелия, Россия) / С. Ф. Комулайнен, И. А. Барышев, А. Н. Круглова [и др.] // Трансформация экосистем. 2021. Т. 4. № 1(11). С. 88-103.
8. Monfared A. R. K., Mansouri A., Hosseini E. Do environmental factors affect the market atmosphere, amount of purchases and customer attitude // International Journal of Business and Emerging Markets. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 194.
9. Эрозия почв при снеготаянии в агроландшафтах юга Томской области: факторы развития, интенсивность и динамика / Н. С. Евсеева, А. И. Петров, З. Н. Квасникова [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 3. С. 196-205.
10. Самарханов Т. Г. Производство в ущерб экологии: урожайность растет, а плодородие падает // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 7. С. 21-27.
11. Официальный сайт Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций FAO. (n.d.). Индекс мировых цен на продовольствие. Всемирная продовольственная организация. URL: https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/ru/
12. Роль третьей миссии отраслевого университета в развитии региональной экономики / О. В. Шумакова, О. Н. Крюкова, Д. С. Нардин, Т. Г. Мозжерина // Исследование проблем экономики и финансов. 2021. №1.
13. Домацкий, В. Н. Распространение гельминтозов собак в Российской Федерации // Вестник КрасГАУ. 2021. № 6(171). С. 90-96.
14. Akbar Oroojan A. Covid-19: A new global threat for future generations // International Journal of Reproductive BioMedicine. – 2021.
15. Семенов С. Р., Семенов Н. С. Формирование экономических и информационных отношений в сельскохозяйственном секторе Кыргызской Республики // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2021. Т. 59. № 2. С. 151-159.

Сведения об авторах:

Шумакова Оксана Викторовна - доктор экономических наук, ректор, профессор кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля, e-mail: shumakovaov@mail.ru

Крюкова Ольга Николаевна - кандидат экономических наук, начальник центра информационно-аналитической работы и поддержки организационного развития СУДРиОР, руководитель проектного офиса, доцент кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля, e-mail: on.kryukova@omgau.org

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, г. Омск, Россия

INDUSTRY MARKET ENTRY BARRIERS TYPING: ENVIRONMENTAL AND SOCIAL ASPECTS OF AGRI-FOOD SYSTEMS DEVELOPMENT

Shumakova O.V., Kryukova O.N.

Abstract. Anthropogenic load on the agro-industrial complex remains one of the central topics of modern scientific research, attracting the attention of specialists in the field of economics and engineering. Effective management of agro-food systems requires the integration of economic, environmental and social factors, which will ensure sustainable development of the agro-food complex and guarantee food security. The typology of barriers for enterprises operating in the agro-food market developed by the author identifies managerial, economic, environmental and social, legal and personnel barriers, which makes it possible to more accurately identify and analyze each type of barrier, creating a basis for developing targeted measures to overcome them. The agro-industrial complex has a significant impact on the environment, causing landscape changes, pollution of water and air resources, depletion of natural resources and reduction of biological diversity. An example is Omsk region, where the agro-industrial complex has a strong anthropogenic impact on the natural ecosystem, which leads to land degradation: 12.1% of land is destroyed by erosion and 73.5% is subject to deflation. To minimize these negative consequences, integrated management systems are needed, that take into account environmental and social barriers, which helps maintain a balance between the interests of economic entities and the environmental safety of territories. Market barriers significantly increase transaction costs and reduce the efficiency of agro-food market. An individual approach to each type of barrier is important for developing measures aimed at reducing these costs and increasing the overall efficiency of the market. State agro-food policy should include measures to reduce transaction costs and improve interaction between market participants. Reorientation towards supporting and protecting the interests of agricultural producers and consumers will contribute to achieving the goals of global food security. Integrated management of agri-food systems, based on taking into account environmental and social aspects, is the key to sustainable development of the agri-food complex and ensuring food security.

Key words: food security, agri-food policy, a single integrated system, transaction costs, environmental and social barriers, government regulation.

References

1. Sahaidak M, Tepliuk M, Zhurylo V. Integrative viewpoint for implementing sustainable management agricultural business excellence. TEM Journal. 2021; Vol.10. No.1. 303-309 p.

2. Smirnov EN, Lukyanov SA. [Preferential trade agreements: theory and practice]. Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya. 2022; Vol.66. 5. 32-40 p.
3. Kanaev EA, Korolev AS. [Two sides of the same problem]. Rossiya v globalnoy politike. 2021; Vol.19. 1(107). 212-224 p.
4. Olsevich YuYa. Psikhologicheskie osnovy ekonomicheskogo povedeniya. [Psychological foundations of economic behavior]. Moscow: Infra-M. 2009; 413 p.
5. Shumakova OV, Kryukova ON. [New transaction costs and global digitalization]. Nauka o cheloveke: gumanitarnye issledovaniya. 2020; Vol.14. 3. 189-197 p.
6. Shumakova OV. [Barriers in the agri-food market: assessment and overcoming]. Sibirskaya finansovaya shkola. 2010; 2(79). 7-14 p.
7. Komulaynen SF, Baryshev IA, Kruglova AN. [Response of aquatic organism communities to anthropogenic changes in mineralization in a small river (White Sea basin, Republic of Karelia, Russia)]. Transformatsiya ekosistem. 2021; Vol.4. 1(11). 88-103 p.
8. Monfared ARK, Mansouri A, Hosseini E. Do environmental factors affect the market atmosphere, amount of purchases and customer attitude? International Journal of Business and Emerging Markets. 2023; Vol.15. No.2. 194 p.
9. Evseeva NS, Petrov AI, Kvasnikova ZN. [Soil erosion during snowmelt in agricultural landscapes of the south of Tomsk region: development factors, intensity and dynamics]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2022; Vol.333. 3. 196-205 p.
10. Samarkhanov TG. [Production at the expense of the environment: crop yields are growing, but fertility is falling]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 7. 21-27 p.
11. World food price index. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Internet]. Official website of Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (n.d.). Available from: https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/ru/
12. Shumakova OV, Kryukova ON, Nardin DS, Mozzherina TG. [The role of the third mission of the industry university in the regional economy development]. Issledovanie problem ekonomiki i finansov. 2021; 1.
13. Domatskiy VN. [Spread of helminthiasis in dogs in the Russian Federation]. Vestnik KrasGAU. 2021; 6(171). 90-96 p.
14. Akbar Oroojan A. Covid-19: a new global threat for future generations. International Journal of Reproductive BioMedicine. 2021.
15. Semenov SR, Semenov NS. [Formation of economic and information relations in the agricultural sector of the Kyrgyz Republic]. Vestsi Natsyyanalnai akademii navuk Belarusi. Seriya agrarnykh navuk. 2021; Vol.59. 2. 151-159 p.

Authors:
Shumakova Oksana Viktorovna - Doctor of Economics, Rector, Professor of Economics, Accounting and Financial Control Department, e-mail: shumakovaov@mail.ru
Kryukova Olga Nikolaevna - Ph.D. of Economics, Head of the Center for information and analytical work and support for organizational development of the service for managing the affairs of the rector's office and organizational development, Head of Project office, Associate Professor of Economics, Accounting and Financial Control Department, e-mail: on.kryukova@omgau.org
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

К сведению авторов

Предоставляемые к публикации статьи, должны содержать результаты научных исследований в области экономики агропромышленного комплекса, механизации и технического сервиса, агрономии. Статьи проходят отбор на критерий актуальности и новизны рассматриваемых научных проблем.

Предполагается проверка предоставленного авторами материала в системе «Антиплагиат». Рекомендуемый объем статьи, включая приложения, должен составлять не менее 9 и не более 14 страниц. Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, размер – 14 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля (обычные) сверху и снизу – 2 см, слева – 3 см справа – 1,5 см, абзац (отступ) – 0,5 см (не задавать пробелами), формат – книжный.

Если статья была или будет отправлена в другое издание необходимо сообщить об этом редакции.

Оформление статьи.

1. Слева в верхнем углу без абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского Института Научной и Технической Информации – ВИНиТИ).

2. Ниже, по-центру строки название статьи (название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом заглавными буквами.

3. Затем жирными строчными буквами –инициалы и фамилия автора (ов). Пропускается одна строка.

4. После этого через пробел – реферат статьи (рекомендуемый объем – 200–250 слов) отражает тематику статьи, ценность, новизну, основные положения и выводы исследований с использованием цифровых данных. Запрещается разбивка реферата на абзацы, использование вводных слов и оборотов. Реферат может публиковаться самостоятельно и, следовательно, должна быть понятной без обращения к тексту статьи. По реферату публикации читатель должен иметь возможность определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации.

5. С нового абзаца – ключевые слова (не более 9 слов).

Слева строчными буквами печатается «Ключевые слова:» (без кавычек) и через запятую приводятся ключевые слова или словосочетания. Пропускается одна строка.

6. При написании научной статьи необходимо придерживаться следующей структуры изложения: «Введение», «Условия, материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».

7. В случае если ваша статья подготовлена при выполнении гранта и есть необходимость прописать данный источник, добавляем после выводов раздел, «**Сведения об источнике финансирования». К примеру – Сведения об источнике финансирования:** Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР № 0477–2019–0005 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

В разделе «Введение» предлагается постановка проблемы, должна быть сформулирована и обоснована цель работы и, если необходимо, рассмотрена ее связь с важными научными и практическими направлениями, дается теоретическое обоснование исследования. Должны присутствовать ссылки на публикации последних лет, в данной области включая зарубежных авторов.

В следующем разделе раскрываются особенности данного исследования, приводятся условия, материалы и методы исследований. Место исследования уточняется до области (края). Следует отразить время, место, методику и условия проведения опытов.

Главный раздел статьи посвящается представлению, анализу и обсуждению результатов. Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

В завершении представляются выводы и рекомендации.

Подзаголовки и заголовки набираются жирным шрифтом с заглавной буквы. Нумерация ссылок на библиографический список в тексте располагается в порядке упоминания источников. Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например: [1].

8. После основного текста статьи пропускается одна строка и по центру печатается заглавие «Литература» (без кавычек). Через одну строку помещается пронумерованный перечень источников в порядке ссылок по тексту. Список литературы (не менее **десяти** источников, в том числе не менее **трех** зарубежных) оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и требованиями журнала, тщательно проверяется авторами и приводится в конце статьи. Нумерация ссылок в списке приводится в соответствии с порядком их упоминания в тексте. В одном пункте перечня следует указывать только один источник информации. Злоупотребление самоцитированием не допускается. Доля ссылок на собственные публикации авторов должна составлять не более 25% списка литературы. Цитирование работ какого-либо одного автора, не входящего в состав авторского коллектива рукописи, также не должно превышать 25%. Рекомендуется ссылаться не более чем на 2 публикации каждого из авторов. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 25% списка литературы, доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 50% списка литературы. Ссылки на учебники, учебные пособия, авторефераты диссертаций не принимаются. Также не принимаются ссылки на материалы конференций старше 2 лет. Число источников в «сериальных» ссылках должно быть не более трех.

Все источники должны иметь ссылку в тексте статьи.

9. «Сведения об авторах» Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, указать кафедру или отдел, адрес для связи, e-mail и полное наименование организации.

Пропускается одна строка.

10. На английском языке печатается по центру печатается название статьи.

Так же на английском языке слева печатается реферат, затем ключевые слова.

11. Приводится библиографический список на латинице (путем транслитерации) под заголовком References. (Переводить только названия статей, остальное – в латинской транслитерации)

12. «Authors:» – информация на английском языке.

Иллюстрации к статье (при наличии) в формате JPEG, PNG, TIF должны быть четко выполненными, хорошего качества, наглядно иллюстрирующими текст. В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Нумерация рисунков производится в порядке ссылок по тексту. Нумерационный заголовок набирается выравниванием по центру. Тематический заголовок в той же строке, сразу после нумерационного (например: Рис. 1 –. Ссылка на рисунок в основном тексте оформляется в скобках: (рис. 1), если а тексте только один рисунок, то не нумеруется.

Таблицы представляются в редакторе WORD. Нумерация таблиц производится в порядке ссылок по тексту. В тексте статьи обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные таблицы. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру (например: Таблица 1. …). Ссылка на таблицу в основном тексте оформляется в скобках, например: (табл. 1), если в тексте только одна таблица, то не нумеруется.

Простые **формулы**, не содержащие специальных символов (отсутствующих на клавиатуре), должны быть набраны символами с клавиатуры без использования специальных редакторов. Формулы, содержащие специальные символы (отсутствующие на клавиатуре), а также сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 или MathType equation. Не допускается набор части формулы символами, а части – в редакторе формул. Не рекомендуется вставлять в текст формулы в виде рисунков. Ссылка на формулы в основном тексте оформляется в скобках, например: (1). В тексте обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные формулы. Если в тексте статьи формулы нумеруются, то эту нумерацию следует выполнить ручным набором чисел. Автоматическая нумерация не допускается.

Авторы предоставляют в редакцию (одновременно):

– электронная версия статьи (по электронной почте: vestnik@kazgau.com) (шаблон ниже). Файл со статьей следует называть по фамилии первого автора (Иванов И.И. – Определение силы);

– сведения об авторах (в электронном виде): Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, указать кафедру или отдел, адрес для связи, телефон, e-mail и полное наименование организации, эти же сведения на английском языке.

Звездочкой отмечается фамилия автора, с которым необходимо вести переписку;

– сопроводительное письмо на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения.

– аспиранты предоставляют справку подтверждающую место учебы.

Поступившие и принятые к публикации статьи не возвращаются.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию, предоставленная автором рукопись статьи рецензируется, согласно установленного порядка рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлегией в целом.

Редакция оставляет за собой право не регистрировать статьи, не отвечающие настоящим требованиям, а также право на воспроизведение материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража. Рукописи статей подвергаются редакционной обработке. Редакция оставляет за собой право вносить изменения, имеющие редакционный характер и не затрагивающие содержания статьи. Все статьи проходят институт рецензирования (экспертной оценки), по результатам которого редакционная коллегия принимает окончательное решение о целесообразности опубликования. За содержание статей юридическую и иную ответственность несут авторы. Статьи, направленные в редакцию без выполнения основных требований к публикуемым статьям, не рассматриваются. В случае отклонения статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

Публикация статей в журнале платная, авторы статьи оплачивают по стандартной тарификации.

Статьи отправлять на электронный адрес: vestnik@kazgau.com

For Authors

Articles submitted for publication must contain the results of scientific research in the field of economics of the agro-industrial complex, mechanization and technical service, agronomy. Articles are selected for the criterion of relevance and novelty of the scientific problems under consideration.

It is supposed to check the material provided by the authors in the "Antiplagiat" system. The recommended length of an article, including annexes, should be at least 9 and no more than 14 pages. Articles should be formatted on A4 sheets, font - Times New Roman, size - 14 pt, line spacing - 1.0. Margins (usual) above and below - 2 cm, on the left - 3 cm on the right - 1.5 cm, paragraph (indentation) - 0.5 cm (do not use spaces), format - book.

If the article was or will be sent to another publication, it is necessary to notify the editorial office about it.

Article design.

1. In the upper left corner, without a paragraph, the UDC of the article is printed (check the correctness of the selected UDC on the website of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information - VINiTI).

2. Below, in the center of the line, the title of the article (the title of the article should reflect the main idea of the research, be as short as possible) in bold capital letters.

3. Then, in bold lowercase letters, the initials and surname of the author (s). One line is skipped.

4. After that, through a gap - the abstract of the article (the recommended volume is 200–250 words) reflects the topic of the article, value, novelty, main provisions and conclusions of research using digital data. It is forbidden to break the abstract into paragraphs, the use of introductory words and phrases. The abstract can be published independently and, therefore, should be understandable without referring to the text of the article. According to the abstract of the publication, the reader should be able to determine whether it is worth referring to the full text of the article to obtain more detailed information of interest to him.

5. From a new paragraph - keywords (no more than 9 words).

On the left, “Keywords:” is printed in lowercase letters (without quotes) and keywords or phrases are separated by commas. One line is skipped.

6. When writing a scientific article, it is necessary to adhere to the following structure of presentation: "Introduction", "Conditions, materials and methods", "Results and discussion", "Conclusions".

7. If your article was prepared during the implementation of the grant and there is a need to register this source, add the section "Information about the source of funding" after the conclusions. For example - Information about the source of funding: The work was carried out according to the state order of R&D

No. 0477–2019–0005 with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

In the "Introduction" section, a statement of the problem is proposed, the purpose of the work should be formulated and substantiated, and, if necessary, its connection with important scientific and practical areas should be considered, and a theoretical basis for the study is given. There should be links to publications of recent years, in this area, including foreign authors.

In the next section, the features of this research are revealed, conditions, materials and research methods are given. The place of research is specified to the area (edge). The time, place, methodology and conditions of the experiments should be reflected.

The main section of the article is devoted to the presentation, analysis and discussion of the results. The results obtained should be highlighted from the point of view of their scientific novelty and compared with the corresponding known data.

Finally, conclusions and recommendations are presented.

Subheadings and headings are capitalized in bold type. The numbering of references to the bibliographic list in the text is arranged in the order in which the sources are mentioned. Literature references in the text are given in square brackets, for example: [1].

8. After the main text of the article, one line is skipped and the title "Literature" is printed in the center (without quotes). A numbered list of sources in the order of links in the text is placed in one line. The list of literature (at least ten sources, including at least three foreign) is drawn up in accordance with GOST R 7.0.5-2008 and the requirements of the journal, carefully checked by the authors and given at the end of the article. References are numbered in the list in accordance with the order in which they appear in the text. Only one source of information should be indicated in one item on the list. Abuse of self-citation is not allowed. The share of references to the authors' own publications should be no more than 25% of the list of references. Citation of the works of any one author who is not part of the author's collective of the manuscript should also not exceed 25%. It is recommended to refer to no more than 2 publications of each of the authors. The share of references to sources older than 10 years should not exceed 25% of the list of references, the share of references to publications in journals from the RSCI core over the past 8 years should be at least 50% of the list of references. Links to textbooks, teaching aids, dissertation abstracts are not accepted. Also, links to materials are not accepted. conferences over 2 years old. The number of sources in "serial" links should be no more than three.

All sources must have a link in the text of the article.

9. "Information about the authors" (in full), academic degree, academic title, position, indicate the department or department, contact address, e-mail and full name of the organization

One line is skipped.

10. In English, the title of the article is printed in the center.

The abstract is also printed in English on the left, then the keywords.

11. There is a bibliographic list in Latin (by transliteration) under the heading References. (Translate only the titles of articles, the rest - in Latin transliteration)

12. "Authors:" - information in English.

Illustrations for the article (if any) in JPEG, PNG, TIF format must be clearly executed, of good quality, clearly illustrating the text. The text of the article must contain links to the presented figures. Figures are numbered in the order of references in the text. The numbered heading is set by center alignment. Thematic heading in the same line, immediately after the numbering (for example: Fig. 1 -. The link to the figure in the main text is made out in brackets: (Fig. 1), if there is only one figure in the text, then it is not numbered.

Tables are presented in a WORD editor. Tables are numbered in the order of links in the text. The text of the article must contain references to all the tables presented. The numbered heading is set with center alignment (for example: Table 1.…). The link to the table in the main text is made in brackets, for example: (Table 1), if there is only one table in the text, then it is not numbered.

Simple formulas that do not contain special characters (absent on the keyboard) must be typed in characters from the keyboard without using special editors. Formulas containing special characters (absent on the keyboard), as well as complex and multi-line formulas must be typed entirely in the Microsoft Equation 2.0, 3.0 or Math-Type equation editor. It is not allowed to type a part of a formula with symbols, and a part in the formula editor. It is not recommended to insert formulas in the form of pictures into the text. References to formulas in the main text are made in brackets, for example: (1). The text must contain references to all presented formulas. If formulas are numbered in the text of the article, then this numbering should be performed by manually dialing numbers. Automatic numbering is not allowed.

The authors submit to the editor (at the same time):

- an electronic version of the article (by e-mail: vestnik@kazgau.com) (template below). The file with the article should be named by the name of the first author (Ivanov I.I. - Determination of force);
- information about the authors (in electronic form): full name (in full), academic degree, academic rank, position, indicate the department or department, contact address, telephone, e-mail and full name of the organization, the same information in English.

The asterisk marks the surname of the author with whom it is necessary to carry out the census

- a cover letter addressed to the editor-in-chief of the journal on the letterhead of the sending organization with a conclusion on the relevance of the work and recommendations for publication, signed by the head of the institution.
- graduate students provide a certificate confirming the place of study.

Articles received and accepted for publication will not be returned.

Subject to the fulfillment of the formal requirements for the materials for publication, the manuscript of the article provided by the author is reviewed in accordance with the established procedure for reviewing manuscripts submitted to the editorial office of the journal. The decision on the expediency of publication after reviewing is made by the editor-in-chief (deputy editor-in-chief), and, if necessary, by the editorial board as a whole.

The editors reserve the right not to register articles that do not meet these requirements, as well as the right to reproduce materials (publication, duplication) without limiting the circulation. Manuscripts of articles are subject to editorial processing. The editors reserve the right to make changes that are editorial in nature and do not affect the content of the article. All articles go through the institute of peer review (peer review), as a result of which the editorial board makes the final decision on the appropriateness of the publication. The authors are legally and otherwise responsible for the content of the articles. Articles sent to the editorial office without fulfilling the basic requirements for published articles are not considered. In case of rejection of the article, the editorial board sends a reasoned refusal to the author.

The publication of articles in the journal is paid, authors of the article pay according to the standard tariffication.

Articles should be sent to the email address: vestnik@kazgau.com

Ежеквартальный научный журнал

Вестник Казанского ГАУ

№ 1 (77), апрель 2025 г.

Редактор – Михайлова Л.В.
Технический редактор – Шумков Т.А.
Коррекция переводов – Галлямова Н.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.



Формат 60x84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 28.04.2025
Печать офсетная. Усл. п. л. 20,75 Заказ 10. Цена свободная.
Издательство Казанского ГАУ / 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Лицензия на издательскую деятельность код 221 ИД № 06342 от 28.11.2001.
Отпечатано в типографии Казанского ГАУ.
420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Казанский государственный аграрный университет