

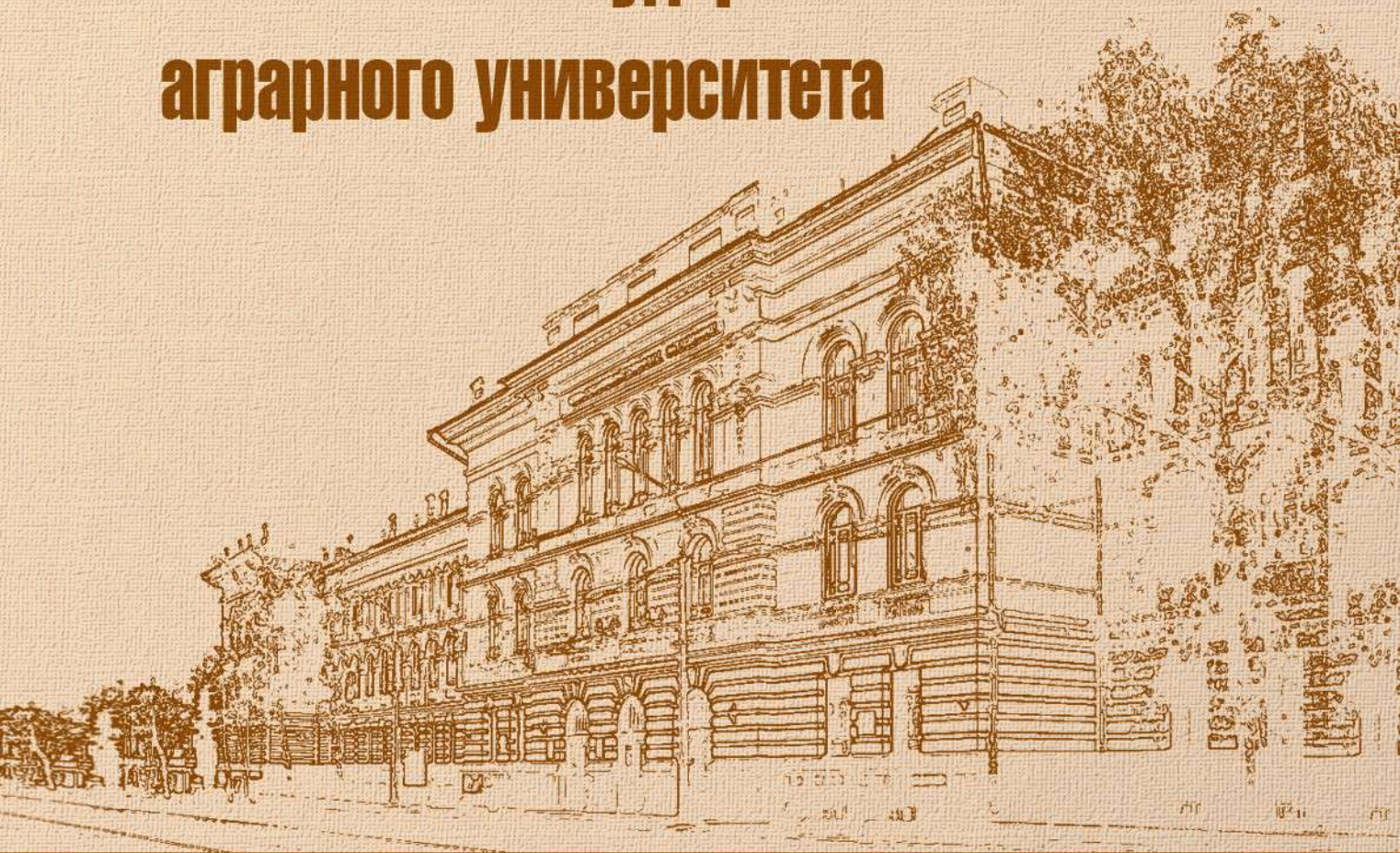


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (78) 2025 ГОД

ВЕСТНИК

**Казанского государственного
аграрного университета**



DOI 10.12737/issn.2073-0462

ISSN 2073-0462

ISSN 2073-0462
DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-2

ВЕСТНИК
КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

VESTNIK
OF KAZAN STATE
AGRARIAN UNIVERSITY

QUARTERLY SCIENTIFIC JOURNAL

№ 2 (78)

Казань, 2025



Научный журнал
Вестник Казанского ГАУ, 2025, № 2 (78), август
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 II полугодие 2025 года:
40977

Зарегистрирован
Федеральной службой по
надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор) -
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.П. – 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

Шоенов 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 Хунгэн – 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 Agriculture, member of the Russian Agricultural 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 Agricultural Academy of Sciences

Didmanidze O.N. – Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences

Dozorova T.A. – Doctor of Economic Sciences, Professor

Erohin M.N. – Doctor of Technical Sciences, Professor, member of the Russian Agricultural 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

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

стр.

Белов А. А., Князева И. В. Повторное использование гидропонных растворов после обработки искровыми разрядами	5
Бульмакова Д. С., Сокольникова Л. В., Сулейманова А. Д. Биотехнологический потенциал бактериальных штаммов <i>Pantoea brenneri</i> для повышения содержания биодоступных форм фосфора в почве.....	10
Исаева Л. М. Эффективность производства мини-клубней картофеля в условиях защищённого грунта Костромской области	17
Климова Л. Р., Кадырова Ф. З., Иматуллина Г. И. Влияние гидротермических условий вегетации на накопление сухого вещества растениями гречихи в условиях Среднего Поволжья.....	25
Пономарева М. Л., Маннапова Г. С., Пономарев С. Н., Сайфутдинова Д. Д. Динамика формирования пентозанов озимой ржи в процессе созревания зерна.....	32
Сахабиев И. А., Гаффарова Л. Г., Гиниятуллин К. Г., Смирнова Е. В. Закономерности изменения пространственной структуры агрохимических свойств пахотной светло-серой лесной почвы в течении многолетних наблюдений.....	41
Тойгильдин А. Л., Ермолаева Г. В., Никифорова С. А. Эффективность биологизированной технологии возделывания озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья	50
Шайхутдинов Ф. Ш., Сержанов И. М., Гараев Р. И., Давлетов К. Н. Оценка влияния видов удобрений при искусственном орошении на урожайность и качество картофеля в условиях Закамья Республики Татарстан.....	57

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Волхонов М. С., Мамаева И. А., Беляков М. М. Параметры ультразвуковой волны при предпосевной обработке зерна.....	64
Гайфуллин И. Х., Зиганшин Б. Г., Халиуллин Д. Т. Совершенствование режимов работы биогазовой установки.....	72
Гималтдинов И. Х., Садыков М. Р., Адигамов Н. Р., Гриценко А. В. Разработка технологии и установки для восстановления посадочных мест под подшипники в корпусных деталях электролитическим натиранием.....	79
Ибрайхан А. Т., Абуова А. Б., Рахматуллина А. Б., Диханбаева Ф. Т., Есембекова З. Т. Оптимальные режимы вакуум-сублимационной сушки.....	87
Нафиков М. М., Хузина Р. Р., Хисматуллин М. М. Устройство для обеззараживания семян низкотемпературной плазмой, апробация и результаты работы.....	96
Сафин Р. И., Валиев А. Р., Нуруллин Э. Г., Еров Ю. В., Хисматуллин М. М., Воробьев В. А., Зезин Н. Н., Захаров В. Г., Тагиров М. Ш., Блохин В. И. Техническое обеспечение системы управления генетическими ресурсами зерновых культур.....	104
Хафизов К. А., Хафизов Р. Н., Нурмиев А. А. Анализ влияния энергоёмкости технологической операции на оптимальные значения основных параметров трактора «Беларусь»	113

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Коновалова М. Е., Кузьмина О. Ю., Жиронкин С. А. Анализ и оценка развития агропромышленного комплекса России в условиях реализации политики импортозамещения.....	125
Королева Е. Н., Мустафина Л. А. Дифференциация развития сельских субрегионов в региональном экономическом пространстве.....	131
Сафиуллин И. Н. Трансформация отраслевой и территориальной структуры сельского хозяйства Республики Татарстан.....	139
Ситдикова Л. Ф. Оценка влияния санкций на сельское хозяйство и выявление направлений адаптации.....	146
Чимитдоржиева Е. Ц., Полозова Т. В., Шобдоева Н. В., Баниева М. А., Ванчикова Е. Н. Оценка устойчивости динамики поголовья мелкого рогатого скота по регионам Российской Федерации.....	156

AGRICULTURAL SCIENCES

Pages

Belov A.A., Knyazeva I.V. Reuse of hydroponic solutions after spark discharge treatment	5
Bulmakova D.S., Sokolnikova L.V., Suleymanova A.D. Biotechnological potential of bacterial strains of <i>Pantoea brenneri</i> to increase the content of bioavailable forms of phosphorus in soil	10
Isaeva L.M. Efficiency of potato mini-tubers production in protected soil conditions of Kostroma region.....	17
Klimova L.R., Kadyrova F.Z., Imatullina G.I. Influence of hydrothermal conditions of vegetation on dry matter accumulation by buckwheat plants in the Middle Volga region.....	25
Ponomareva M. L., Mannapova G. S., Ponomarev S. N., Sayfutdinova D. D. Dynamics of winter rye pentosan formation during grain maturation.....	32
Sakhbiev I. A., Gaffarova L. G., Giniyatullin K. G., Smirnova E. V. Patterns of changes in the spatial structure of agrochemical properties of arable light gray forest soil during long-term observations.....	41
Toygildin A. L., Ermolaeva G. V., Nikiforova S. A. Efficiency of biologized winter wheat cultivation technology in the forest-steppe zone of Middle Volga region.....	50
Shaykhutdinov F. Sh., Serzhanov I. M., Garaev R. I., Davletov K. N. Assessment of the fertilizers types impact under artificial irrigation on potato yield and quality in Zakama region of the Republic of Tatarstan...	57

TECHNICAL SCIENCES

Volkhonov M. S., Mamaeva I. A., Belyakov M. M. Ultrasonic wave parameters for pre-sowing treatment of grain.....	64
Gayfullin I. Kh., Ziganshin B. G., Khaliullin D. T. Improvement of biogas plant operation modes.....	72
Gimaltdinov I. Kh., Sadykov M. R., Adigamov N. R., Gritsenko A. V. Development of technology and installation for restoration of bearing seats in basic parts by electrolytic rubbing.....	79
Ibraikhan A. T., Abuova A. B., Rakhmatullina A. B., Dikhanbaeva F. T., Esembekova Z. T. Optimal modes of vacuum-sublimation drying.....	87
Nafikov M. M., Khuzina R. R., Khismatullin M. M. Device for disinfecting seeds with low-temperature plasma, testing and work results.....	96
Safin R. I., Valiev A. R., Nurullin E. G., Erova Yu. V., Khismatullin M. M., Vorobev V. A., Zezin N. N., Zakharov V. G., Tagirov M. Sh., Blokhin V. I. Technical support for the management system of genetic resources of crop plants.....	104
Khafizov K. A., Khafizov R. N., Nurmiev A. A. Analysis of the influence of the energy intensity of technological operation on optimal values of basic parameters of “Belarus” tractor.....	113

ECONOMIC SCIENCES

Konovalova M. E., Kuzmina O. Yu., Zhironkin S. A. Analysis and evaluation of Russian agro-industrial complex development in the context of import substitution policy.....	125
Koroleva E. N., Mustafina L. A. Differentiation of rural subregions development in the regional economic space.....	131
Safiullin I. N. Transformation of the industrial and territorial structure of agriculture in the Republic of Tatarstan.....	139
Sitdikova L.F. Assessment of the impact of sanctions on agriculture and identification of adaptation directions.....	146
Chimitdorzhieva E. Ts., Polozova T. V., Shobdoeva N. V., Banieva M. A., Vanchikova E. N. Assessment of the stability of small cattle population dynamics in the regions of the Russian Federation.....	156

**ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОПОННЫХ РАСТВОРОВ
ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИСКРОВЫМИ РАЗРЯДАМИ****А. А. Белов, И. В. Князева**

Реферат. Проблема гидропонных систем закрытого типа с рециркуляцией питательных веществ – отсутствие метода обработки, обеспечивающего как удаление вредных компонентов, так и активацию полезных для растений веществ. Цель исследования – оценка влияния на салат повторно используемых гидропонных растворов, обработанных искровыми разрядами. Экспериментальную работу выполняли в 2024 году в лабораторных условиях. Было проведено два опыта с кресс-салатом в «Smart экофермах». В первом эксперименте культуру выращивали на первичном гидропонном растворе без удобрений (контроль) и вторичном после однократного выращивания и обработки искровыми разрядами с добавлением удобрений (опытный вариант). Во втором эксперименте кресс-салат выращивали на вторичном гидропонном растворе с удобрениями без какой-либо предварительной обработки (контроль) и после обработки искровыми разрядами (опытный вариант). В первом эксперименте в опытном варианте масса кресс-салата увеличилась, по сравнению с контролем, в 2 раза, что объясняется отсутствием удобрений в последнем. Во втором эксперименте преимущество опытного варианта составило 8...12 %, что обусловлено положительным влиянием искровых разрядов на питательные вещества и их негативным воздействием на микрофлору гидропонного раствора. Это свидетельствует о потенциальной возможности применения искровых разрядов для обеззараживания повторно используемых гидропонных растворов вместо ультрафиолета, применяемого в последние годы при выращивании различного вида зеленных культур в тепличных хозяйствах. Преимуществом предлагаемого метода обработки служит стимулирование роста растений благодаря образованию активных форм кислорода и азота в дополнение к инактивации бактерий и грибов.

Ключевые слова: вода, искровые разряды, питательные растворы, повторное использование, салат (*Lepidium sativum*).

Введение. В последние годы современные тепличные хозяйства в основном используют гидропонные технологии выращивания салата [1]. Преимуществами, по сравнению с традиционными почвенными системами, выступают круглогодичное производство [2], отсутствие потребности в почве, ее подготовке, обработке, поливе, сниженный расход воды, энергосбережение [3] более четкая управляемость, контроль и обеспечение условий питания при выращивании салата [4].

Для оптимального использования воды и удобрений применяются повторные или возвратные технологии [5]. При этом обеззараживание питательных растворов либо отсутствует, либо осуществляется путем воздействия ультрафиолетом. В целом, это надежный, проверенный метод, однако он не оказывает влияние на минеральные элементы необходимо для питания растений [6]. Один из современных методов, которые находят все более широкое применение, в том числе в сельском хозяйстве – обработка воды плазмой [7, 8].

Обеззараживание питательных растворов с дополнительной активацией полезных веществ для минимизации вносимых удобрений при обработке искровыми разрядами для повторного использования в гидропонном выращивании салата, представляется актуальной темой исследования. Кроме того, отсутствуют российские и зарубежные исследования выращивания салата на повторно используемых питательных растворах в гидропонике.

Цель исследования – оценка влияния на салат повторно используемых гидропонных растворов, обработанных искровыми

разрядами.

Условия, материалы и методы. Экспериментальную работу выполняли в 2024 г. в лаборатории Электро-теплотехнологий и энергосбережения ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва).

В роли тест-культуры, вида салата был выбран кресс-салат крупнолистовой, причинами выбора которого послужили раннеспелость и холодостойкость. Кресс-салат выступает неприхотливым видом зелени с высоким содержанием полезных веществ. Готовый к употреблению урожай формируется спустя 2 недели после посева.

Для гидропонного выращивания использовали три «Smart экофермы» производства Xiaomi. Рабочая загрузка «Smart экофермы» составляет 5 л, габариты – 230 мм × 398 мм × 597 мм, количество светодиодов – 134, количество корзин с губками для посева семян – 14. Для обеспечения доступа кислорода к корням кресс-салата установлена насосная система, обеспечивающая циркуляцию воды, периодически включаемая и выключаемая посредством автоматики.

В роли исходной среды выращивания в исследованиях использовали водопроводную воду. Для питания использовали удобрения GroBro.

Первый эксперимент был выполнен по следующей схеме (рис. 1). На схеме показаны основные технологические операции, последовательность их выполнения, а также используемые материалы. Контрольный и два опытных урожая кресс-салата с одинаковой обработкой воды и идентичной дозой удобрений получили буквенно-цифровые коды соответственно

К, 5CO1 и 5CO2 (К – контрольный, 5 – доза удобрений, С – сточный, О – опытный, 1 или 2 – порядковый номер образца). Опытные образцы урожая сравнивали с контрольным.



Рис. 1 – Схема первого эксперимента

Опытные образцы повторно используемой воды получали следующим образом. Чистую водопроводную воду без какой-либо дополнительной подготовки и обработки заливали в емкости двух черных «Smart экоферм» объемом по 5 л в каждую. Производили посев 15-ти семян кресс-салата в каждую из 26-ти губок, которые помещали в индивидуальные корзины. Каждая «Smart экоферма» содержала по 13 укомплектованных корзин с губками, размещенными в воде под светодиодами. В течение двух недель выращивали кресс-салат, что соответствует одному или первичному циклу выращивания. Далее воду фильтровали от посторонних примесей, в том числе от остатков корней кресс-салата. Объем полученной воды после первичного выращивания кресс-салата и фильтрации составлял около 4,5 л. До рабочего объема «Smart экофермы» доливали около 0,5 л водопроводной воды. Кроме того, добавляли 5 мл удобрений на 5 л

воды в каждую из двух емкостей. Далее использованную воду с удобрениями, которую можно характеризовать как питательный раствор, обрабатывали искровыми разрядами. Затем проводили второй или вторичный цикл выращивания двух опытных образцов кресс-салата на повторно используемом питательном растворе в двух «Smart экофермах». Одновременно с этим проводили выращивание контрольного образца кресс-салата в третьей «Smart экоферме».

Для выращивания кресс-салата контрольного образца не использовали повторные питательные растворы. Была выбрана чистая водопроводная вода объемом 5 л без какой-либо электрофизической, химической или иной активации. Операции загрузки в емкость воды, посев семян и запуск оборудования были аналогичными.

Второй эксперимент был проведен по следующей схеме (рис.2).

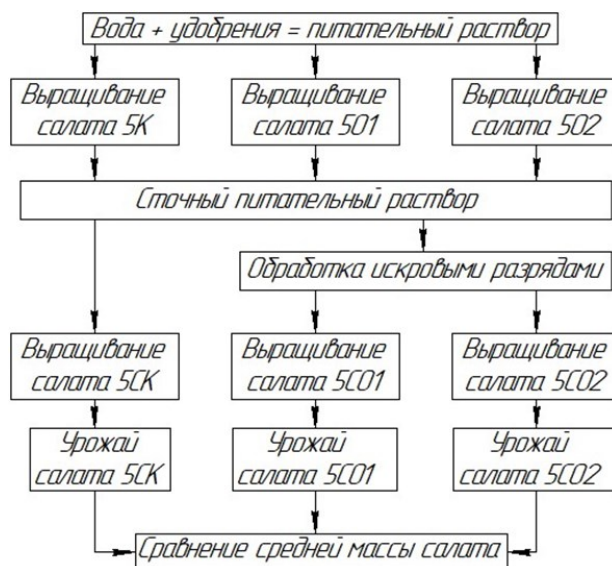


Рис.2 – Схема второго эксперимента

Опытные и контрольный образцы формировали по схожему принципу, как и в первом эксперименте, но с некоторыми отличиями. Удобрения вносили в воду на первом этапе, перед первичным циклом выращивания кресс-салата, получая при этом первичный питательный раствор. К тому же, особенности второго эксперимента заключались в контрольном образце. В роли контрольного образца был выбран повторный питательный раствор без обработки с добавлением удобрений (5СК). Посев семян кресс-салата осуществлялся

одновременно в три емкости как в первичном (5К, 5О1, 5О2), так и во вторичном (5СК, 5СО1, 5СО2) циклах выращивания.

Результаты и обсуждение. Всего на первичный и вторичный циклы выращивания первого эксперимента было затрачено 4 недели (апрель 2024 г.).

Общая масса кресс-салата контрольного образца К составляла 12 г (рис. 3), опытного образца 5СО1 – 23 г, 5СО2 – 24 г. Средняя масса кресс-салата опытных образцов была в 2 раза больше контрольного.



Рис.3 – Урожаи кресс-салата в «Smart экофермах»: слева направо К, 5СО1, 5СО2

Эффект повышения средней массы кресс-салата, в сравнении с контролем, был значительным. Причиной служит недостаточное питание растений контрольного варианта из-за отсутствия удобрений. Предположение о том, что кресс-салат при повторном выращивании на питательном растворе будет развиваться так же медленно, как и без удобрений в первичном цикле, вследствие нехватки питательных веществ, выдвинутое перед первым экспериментом, не подтвердилось.

Учитывая особенности результатов первого эксперимента, был проведен второй эксперимент. На выращивание кресс-салата в целом было затрачено 4 недели (май 2024 г.). Общая масса собранного урожая кресс-салата контрольного образца 5СК составляла 24 г, опытного образца 5СО1 – 27 г, 5СО2 – 26 г (рис. 4). Средняя масса одного растения всех трех образцов была около 0,13 г.

Был достигнут эффект повышения

средней массы кресс-салата на 8,3...12,5 %, в среднем по двум опытным экофермам – на 10,4 %.

Оба эксперимента были повторены еще по 2 раза. Общая повторность экспериментов была равна трехкратной. Результаты повторных экспериментов не отличались значимо от результатов ранее проведенных. Отклонения составляли не более 5 %.

Механизм роста массы салата можно обосновать синергетическим эффектом трех основных факторов [9]. Первый – это образование соединений нитратов в обработанных искровыми разрядами питательных растворах [10]. Второй – это формирование различных активных соединений кислорода, включая перекись водорода [11]. И третьим фактором можно считать дезинфицирующий эффект искровых разрядов, обработка которыми питательных растворов снижает концентрации бактерий и грибов [12].



Рис. 4 – Урожаи кресс-салата в «Smart экофермах»:слева направо 5СО1, 5СК, 5СО2

Относительно небольшой, но в пределах хорошей значимости, прирост урожая кресс-салата объясняется малым временем отстаивания повторного питательного раствора. В гидропонный повторный раствор вторичный посев семян кресс-салата был проведен в тот же день после окончания первичного цикла выращивания и уборки первого урожая. Бактерии и грибы не успевают появляться и размножаться в повторном гидропонном растворе. Поэтому контрольный образец необработанной воды обеспечивал хотя и не самые лучшие, как опытные образцы обработанной воды, но приемлемые условия для выращивания

кресс-салата.

Выводы. Тепличные зеленные культуры вполне можно выращивать на гидропонных питательных растворах, используемых повторно. Их обработка искровыми разрядами перед посевом кресс-салата повышает зеленую массу растений, в сравнении с необработанными, на 8...12 %. Улучшенный рост растений обусловлен синергетическим эффектом факторов активации питательных растворов, связанной с образованием полезных соединений нитратов и кислорода, и их дезинфекции при обработке искровыми разрядами.

Литература

- 1.Ценч Ю. С., Сидоров И. В. Этапы развития технологий и технических средств для внесения удобрений и защиты растений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18 (3). С. 14–22. doi:10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
- 2.Сравнительный анализ выращивания растения репы сорта Луна на гидропонике со светодиодным облучением и в открытом грунте / Д. А. Бурый, С. А. Качан, А. А. Смирнов и др. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 3 (52). С. 12–20.
- 3.Разработка энергосберегающих мероприятий для небольшого тепличного хозяйства / Р. Г. Большин, В. Ф. Сторчевой, Н. П. Кондратьева и др. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (72). С. 50–57. doi:10.48012/1817-5457-2022-4-50-57.
- 4.Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods / G. L. Barbosa, F. D. A. Gadelha, N. Kublik, et al. // International journal of environmental research and public health. 2015. Vol. 12. No. 6. P. 6879–6891. doi:10.3390/ijerph120606879.
- 5.Некоторые вопросы о теплообеспеченности в системе «почва – растение – воздух» / И. И. Максимов, А. Р. Валиев, Е. П. Алексеев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4 (76). С. 81–87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87.
- 6.Lee S., Lee J. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods // Scientia horticulturae. 2015. 195. P. 206–215. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.011.
- 7.Investigation of the yield of biologically active substances during the ultrasound and electro-discharge extraction of medicinal herbs of the foothills of the North Caucasus / A. Neftullayeva, S. Azimova, Yu. Maskurova, et al. // Potravinarstvo. 2023. Vol. 17. P. 217–230. doi: 10.5219/1843.
- 8.Влияние различных режимов обработки воды плазмой на прорастание семян *Raphanus sativus* L / Е. В. Морачевская, Е. С. Михалев, А. В. Камлер и др. // Проблемы агрохимии и экологии. 2024. № 3. С. 13–19. doi: 10.26178/AE.2024.86.44.002.
- 9.Plasma-activated water production and its application in agriculture / D. Guo, H. Liu, L. Zhou, et al. // Journal of the science of food and agriculture. 2021. Vol. 101. P. 4891–4899. doi: 10.1002/jsfa.11258.
- 10.Влияние электрогидравлической обработки на содержание нитратного азота в поливной воде/ А. А. Белов, А. Н. Васильев, Ю. А. Степанычев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3 (59). С. 54–57.
- 11.Белов А. А. Применение технологии холодной атмосферной плазмы для обработки атмосферных сточных вод с целью повторного использования в сельском хозяйстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2 (81). С. 107–116. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_107.
- 12.Белов А. А. Влияние обработки искровыми разрядами на обеззараживание атмосферных сточных вод // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 64–67. doi: 10.12737/2073-0462-2022-64-67.

Сведения об авторах:

Белов Александр Анатольевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории электро-теплотехнологий и энергосбережения, e-mail: belalexan85@gmail.com
Князева Инна Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов, e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

REUSE OF HYDROPONIC SOLUTIONS AFTER SPARK DISCHARGE TREATMENT

A. A. Belov, I. V. Knyazeva

Abstract. The problem of closed-type hydroponic systems with nutrient recirculation is the lack of a processing method that ensures both the removal of harmful components and the activation of substances useful for plants. The aim of the study is to assess the effect of reused hydroponic solutions treated with spark discharges on lettuce. The experimental work was carried out in 2024 under laboratory conditions. Two experiments with watercress were conducted in “Smart eco-farms”. In the first experiment, the crop was grown on a primary hydroponic solution without fertilizers (control) and a secondary one after a single cultivation and treatment with spark discharges with the addition of fertilizers (experimental version). In the second experiment, watercress was grown in a secondary hydroponic solution with fertilizers without any preliminary treatment (control) and after spark discharge treatment (test variant). In the first experiment, the weight of watercress in the test variant increased by 2 times compared to the control, which is explained by the absence of fertilizers in the latter. In the second experiment, the advantage of the test variant was 8...12%, which is due to the positive effect of

spark discharges on nutrients and their negative effect on the microflora of the hydroponic solution. This indicates the potential for using spark discharges to disinfect reusable hydroponic solutions instead of ultraviolet light, which has been used in recent years to grow various types of green crops in greenhouses. The advantage of the proposed treatment method is the stimulation of plant growth due to the formation of active forms of oxygen and nitrogen in addition to the inactivation of bacteria and fungi.

Key words: water, spark discharges, nutrient solutions, reuse, lettuce (*Lepidium sativum*).

References

1. Tsench YuS, Sidorov IV. [Development stages of technologies and technical means for applying fertilizers and protecting plants]. *Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2024; Vol.18 (3). 14-22 p. doi:10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
2. Burynin DA, Kachan SA, Smirnov AA. [Comparative analysis of turnip plants growing of Luna variety on hydroponics with LED irradiation and in open ground]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023; Vol.70. 3 (52). 12-20 p.
3. Bolshin RG, Storchevoy VF, Kondrateva NP. [Development of energy-saving measures for a small greenhouse farm]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 4 (72). 50-57 p. doi:10.48012/1817-5457-2022-4-50-57.
4. Barbosa GL, Gadelha FDA, Kublik N, Proctor A, Reichelm L, Weissinger E, Wohlleb GM, Halden RU. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International journal of environmental research and public health*. 2015; 12 (6). 6879-6891 p. doi: 10.3390/ijerph120606879
5. Maksimov II, Valiev AR, Alekseev EP. [Some issues on heat supply in the “soil-plant-air” system]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 4 (76). 81-87 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87.
6. Lee S, Lee J. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia horticultrae*. 2015; 195. 206-215 p. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.011.
7. Neftullayeva A, Azimova S, Maskurova Yu. Investigation of the yield of biologically active substances during the ultrasound and electro-discharge extraction of medicinal herbs of the foothills of the North Caucasus. *Potravinarstvo*. 2023; Vol.17. 217-230 p. doi: 10.5219/1843.
8. Morachevskaya EV, Mikhalev ES, Kamler AV. [The effect of different modes of water plasma treatment on the germination of *Raphanus sativus* L seeds]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2024; 3. 13-19 p. doi: 10.26178/AE.2024.86.44.002.
9. Guo D, Liu H, Zhou L. Plasma-activated water production and its application in agriculture. *Journal of the science of food and agriculture*. 2021; Vol.101. 4891-4899 p. doi: 10.1002/jsfa.11258.
10. Belov AA, Vasilev AN, Stepanychev YuA. [Effect of electrohydraulic treatment on the content of nitrate nitrogen in irrigation water]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.15. 3 (59). 54-57 p.
11. Belov AA. [Application of cold atmospheric plasma technology for the treatment of atmospheric wastewater for the purpose of reuse in agriculture]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.17. 2 (81). 107-116 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_107.
12. Belov AA. [Effect of spark discharge treatment on disinfection of atmospheric wastewater]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 3 (67). 64-67 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-64-67.

Authors:

Belov Aleksandr Anatolevich – Doctor of Technical Sciences, chief researcher of Laboratory of Electrical and Thermal Technologies and Energy Saving, e-mail: belalexan85@gmail.com
 Knyazeva Inna Valerevna – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of Laboratory of Research of Technological Properties of Agricultural Materials, e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru
 Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia.

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ БАКТЕРИАЛЬНЫХ
ШТАММОВ *PANTOEA BRENNERI* ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
СОДЕРЖАНИЯ БИОДОСТУПНЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ПОЧВЕ****Д. С. Бульмакова, Л. В. Сокольников, А. Д. Сулейманова**

Реферат. Исследования проводили с целью определения роли штаммов почвенных бактерий *Pantoea brenneri* в повышении биодоступности почвенного фосфора и оценки биотехнологического потенциала штаммов для использования в качестве биоудобрений. Почвенные микрокосмы создавали в четырех вариантах: инокулированная нестерильная почва (30 г + 5 мл суспензии *P. brenneri*, $1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл); контроль с нестерильной почвой (30 г + 5 мл 0,9% NaCl); инокулированная стерильная почва (30 г + 5 мл суспензии *P. brenneri*, $1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл); контроль со стерильной почвой (30 г + 5 мл 0,9% NaCl). Микрокосмы инкубировали в течение 15 суток, образцы отбирали в начале и конце инкубации. Фосфатмобилизацию штаммов *P. brenneri* в почве подтверждает повышение уровня экспрессии генов *gdh* (глюкозодегидрогеназа) и *pho* (фосфатаза), продукты которых участвуют в солюбилизации и минерализации труднодоступных соединений фосфора. Экспрессия целевых генов в стерильной почве была выше, чем в нестерильной, в зависимости от времени инкубации и используемого штамма: в отношении гена *gdh* – в среднем в 1,2...1,9 раз, гена *pho* – в среднем в 1,3...1,7 раз. Внесение суспензии штаммов в почву способствовало увеличению числа биодоступных форм фосфора в стерильной почве в среднем на 22...27%, в нестерильной – на 15...18%. Штаммы *P. brenneri* сохраняли выживаемость в почве на протяжении всего эксперимента, что характеризует их способность к конкуренции с нативной почвенной микрофлорой. На 5 сутки инкубации отмечали 6...8-кратное увеличение числа КОЕ/г почвы, по сравнению с начальной точкой (0 сутки), а на 15 сутки величина этого показателя превышала исходную величину в среднем в 3...4 раза.

Ключевые слова: фосфатмобилизация, минерализация, солюбилизация, биопрепараты, *Pantoea brenneri*.

Введение. Фосфор (P) – один из основных макроэлементов, необходимых для нормального функционирования растений на всех этапах роста и развития. Однако низкую биодоступность фосфора в почвах считают значительным препятствием для роста и продуктивности сельскохозяйственных культур во многих регионах мира [1].

Общепринятое решение этой проблемы – внесение минеральных фосфорных удобрений – характеризуется низкой эффективностью, поскольку лишь незначительная часть (не более 25%) внесенного фосфора усваивается растениями, в то время как остальная часть переходит в недоступные формы [2]. Ситуацию усугубляет негативное воздействие избыточного применения фосфорных удобрений на окружающую среду. В связи с этим возрастает интерес к разработке и применению экологически безопасных и эффективных стратегий улучшения фосфорного питания растений. Одним из перспективных направлений считают использование потенциала почвенных микроорганизмов, способных мобилизовать недоступные формы фосфора. Фосфатмобилизующие микроорганизмы преобразуют неорганические (Pi) и органические (Po) соединения фосфора в доступные для растений формы посредством механизмов солюбилизации и минерализации [3]. К ним отнесены представители различных родов, таких как *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Pantoea*, *Rhizobium*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter* и др. Использование фосфатмобилизующих микроорганизмов в качестве биоудобрений представляет собой экологически обоснованную альтернативу

минеральным фосфорным удобрениям [4]. Помимо участия в круговороте фосфора фосфатмобилизующие микроорганизмы способны синтезировать фитогормоны, сидерофоры, антибактериальные и противогрибковые метаболиты, индуцировать системную резистентность растений, способствуя их благоприятному росту и обеспечивая устойчивость к различным абиотическим и биотическим стрессам [1].

Одна из широкоизученных групп фосфатмобилизующих бактерий – представители рода *Pantoea* из семейства *Enterobacteriaceae*, обладающих множеством биотрансформационных свойств и характеризующихся широкой экологической адаптивностью [5, 6, 7]. В проведенных нами ранее исследованиях, объектами которых были почвенные изоляты *Pantoea brenneri*, показаны множественные положительные эффекты бактерий на рост и жизнедеятельность растений. Так, установлена способность к выделению ионов аммония и цианидов, секреции комплекса гидролитических ферментов, фиксации азота, синтезу фитогормонов и сидерофоров, определена ингибирующая активность в отношении широкого спектра фитопатогенных микроорганизмов [8, 9]. Для штаммов *P. brenneri* показана способность к разложению органических и неорганических труднорастворимых фосфоросодержащих соединений в условиях *in vitro*, а в их геноме идентифицированы гены, продукты которых вовлечены в метаболизм фосфора, включая 3-фитазу, глюкозо-1-фосфатазу, щелочную фосфатазу, глюкозодегидрогеназу и др. [10].

Несмотря на активное изучение фосфатмобилизирующих микроорганизмов как основы для создания биоудобрений, одним из основных препятствий для их широкого применения в агропроизводстве остаётся несоответствие результатов, полученных в лабораторных условиях, с эффективностью в полевых испытаниях. Большинство исследований проводится *in vitro* на искусственных питательных средах, что не всегда отражает метаболизм и физиологическую активность бактерий в естественной почвенной среде [11]. Таким образом, исследования, направленные на изучение функционирования фосфатмобилизирующих микроорганизмов в условиях, максимально приближенных к естественным, приобретают особую значимость.

Цель исследования – определение роли штаммов почвенных бактерий *P. brenneri* в повышении биодоступности почвенного фосфора и оценка биотехнологического потенциала штаммов для использования в качестве биоудобрений.

Условия, материалы и методы. Объектом исследований были бактериальные штаммы *P. brenneri* (3.2 и 3.5.2), выделенные ранее из образцов почв Республики Татарстан [12, 13].

Эксперименты проводили в условиях почвенных микрокосмов. Образцы почвы отбирали в конце сентября 2023 года с глубины 15 см на сельскохозяйственном поле культуры картофеля личного подсобного хозяйства (г. Казань, Республика Татарстан, 55.740608 широты и 49.269000 долготы). Отобранные образцы помещали в стерильные ёмкости и транспортировали в лабораторию. Для подготовки к эксперименту почву высушивали при температуре +20°C, просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм и выдерживали при +4°C в течение одной недели, после чего помещали в горшки по 30 г. Почвенные микрокосмы создавали в четырех вариантах с трехкратной повторностью: 1) инокулированная почва (живая) – к 30 г нестерильной почвы добавляли 5 мл суспензии бактериальных клеток *P. brenneri* ($1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл) в стерильном физиологическом растворе (0,9% NaCl); 2) контроль (живая почва) – к 30 г нестерильной почвы добавляли 5 мл стерильного физиологического раствора (0,9% NaCl); 3) инокулированная почва (стерильная) – к 30 г стерильной почвы добавляли 5 мл суспензии бактериальных клеток *P. brenneri* ($1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл) в стерильном физиологическом растворе (0,9% NaCl); 4) контроль (стерильная почва) – к 30 г стерильной почвы добавляли 5 мл стерильного физиологического раствора (0,9% NaCl). Стерилизацию почвы проводили путем автоклавирования при 121°C и 1 атм. в течение 30 минут, повторяя цикл пять раз. Подготовленные микрокосмы инкубировали в течение 15 суток при температуре +28...30°C с 16-часовым световым периодом и интенсивностью освещения 2000 люкс/м². Образцы почвы

отбирали в начале (T0) и в конце (T15) инкубации с помощью стерильных инструментов. Полученные образцы хранили при -20°C до проведения анализа.

Для анализа экспрессии генов, продукты которых участвуют в метаболизме фосфора, из образцов почвы выделяли суммарную РНК с помощью набора RNeasy PowerSoil Total RNA Kit (Qiagen, Германия) в соответствии с протоколом производителя. Экспрессию генов, кодирующих фосфатазы (*pho*) и глюкозодегидрогеназу (*gdh*), оценивали методом количественной ОТ-ПЦР (ПЦР с обратной транскрипцией) с помощью набора OneTub RT-PCR SYBR (Евроген, Россия) и амплификатора Real-Time CFX96 Touch (Bio-Rad, США). Для амплификации использовали следующие праймеры: *pho*: 5'-ATGCGCGACCGAAAGACC-3' (прямой) и 5'-TGCTGGCGACGAGACGAA-3' (обратный); *gdh*: 5'-CAGGTAAGTAAACCGGCATT-3' (прямой) и 5'-TACGCTGTTTCCACACCAC-3' (обратный). Программа проведения количественной ОТ-ПЦР включала следующие этапы: обратная транскрипция (55°C – 15 мин), инактивация ревертазы и активация полимеразы (95°C – 1 мин), 50 циклов (денатурация: 95°C – 15 сек, отжиг праймеров: 67,5°C – 20 сек, элонгация и измерение флуоресценции: 72°C – 20 сек), кривая плавления (55...95°C с шагом 0,5°C). Нормализацию уровней экспрессии целевых генов проводили по отношению к уровню экспрессии референтного гена *leuS* (ген лейцин-тРНК-лигазы). Для амплификации *leuS* использовали следующие праймеры: 5'-CCGGTCGATCAGTATGTGGG-3' (прямой) и 5'-TTGGAGTTAACCAGACCGGC-3' (обратный). Результаты ОТ-ПЦР анализировали методом $2^{-\Delta\Delta Ct}$ на основе значений порога цикла (Ct). Сначала рассчитывали ΔCt путем вычитания среднего значения Ct референтного гена из среднего значения Ct целевого гена, а затем рассчитывали значение $\Delta\Delta Ct$ вычитанием значений ΔCt контроля (без внесения в почву штаммов) из опыта (с внесением штаммов). Все образцы анализировали в трех повторностях, включая отрицательные контроли без матрицы и ревертазы.

В образцах почвы, отобранных из микрокосмов, определяли количество подвижных форм фосфора. Экстракцию фосфора проводили по методу Олсена [14], применимому для анализа как кислых, так и карбонатных почв. Для этого 1 г почвы инкубировали в 20 мл 0,5 М раствора гидрокарбоната натрия (рН 8,5) при комнатной температуре в течение 30 минут. Полученную суспензию обесцвечивали добавлением 0,5 г активированного угля и фильтровали через плотный фильтр. Фильтрат нейтрализовали 10%-ным раствором соляной кислоты. Количество свободных фосфатов в полученных образцах определяли колориметрически по методу Грейнера [15], основанному на способности неорганических фосфатов

в кислой среде образовывать с молибдатом аммония соединение желтого цвета – фосфорномолибденовокислый аммоний. Для проведения анализа в пробирки вносили 100 мкл фильтрата и добавляли 750 мкл свежеприготовленного реагента, состоящего из 10 мМ раствора гептамолибдата аммония, 5 М раствора серной кислоты и ацетона в соотношении 1:1:2. Затем в пробирки добавляли 50 мкл 1 М раствора лимонной кислоты. Оптическую плотность образцов измеряли на спектрофотометре xMark (Bio-Rad, США) при длине волны 355 нм. Для определения содержания свободных фосфатов строили градуировочный график на основе 9 мМ раствора дигидрофосфата калия различных концентраций. Уровень pH в образцах почвы, отобранных из микрокосмов, определяли следующим образом: к навеске почвы в стеклянной колбе добавляли воду в соотношении 1:2,5 и перемешивали в течение 10 минут. Измерение pH в полученной суспензии проводили с помощью pH-метра (Mettler Toledo, Швейцария).

Оценивали жизнеспособность штаммов *P. brenneri* в микрокосмах в динамике методом почвенных разведений. Для этого из микрокосмов на 0, 5, 10 и 15 суток инкубации отбирали 1 г почвы, которую разводили в 99 мл стерильной водопроводной воды. Полученную почвенную суспензию разводили серийно и высевали поверхностным методом на плотную питательную среду Лурия-Бертани (LB) (триптон – 10 г/л, хлорид натрия – 10 г/л, дрожжевой экстракт – 5 г/л, агар микробиологический – 15 г/л). Чашки Петри с посевами инкубировали при +30 °C в течение 24 ч. Для визуализации колоний использовали штаммы *P. brenneri*, экспрессирующие зеленый

флуоресцентный белок (GFP) под контролем плазмиды pFPV25.1_mut3. Среднее количество КОЕ (N) в 1 г почвенной суспензии рассчитывали по формуле:

$$N = c / ((n_1 + 0,1 \times n_2) \times d),$$

где c – сумма подсчитанных колоний на всех чашках, n_1 – количество чашек первого разведения, n_2 – количество чашек второго разведения, d – коэффициент первого разведения, 0,1 – коэффициент, учитывающий кратность первого и второго разведения.

Эксперименты проводили в трех биологических и трех аналитических повторах. Достоверную разницу между группами анализировали с использованием дисперсионного анализа (ANOVA) и критерия Тьюки. Уровень значимости составлял $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. На первом этапе исследований оценивали экспрессию вовлеченных в метаболизм фосфора генов *gdh* (глюкозодегидрогеназа) и *pho* (фосфатаза) у штаммов *P. brenneri* (3.2 и 3.5.2) в почвенных микрокосмах в динамике. Внесение суспензии исследуемых бактерий как в нестерильную, так и в стерильную почву приводило к увеличению экспрессии целевых генов. При этом к 15-м суткам инкубации наблюдали снижение уровня экспрессии, по сравнению с началом эксперимента, как гена *gdh* (в среднем в 1,3...2,1 раза), так и гена *pho* (в среднем в 1,3...1,6 раза), в зависимости от варианта почвы и используемого штамма (рис. 1). Такое снижение может быть обусловлено уменьшением количества внесенных бактериальных клеток или снижением их метаболической активности в ходе эксперимента, что согласуется с данными, представленными в ряде публикаций [11, 16].

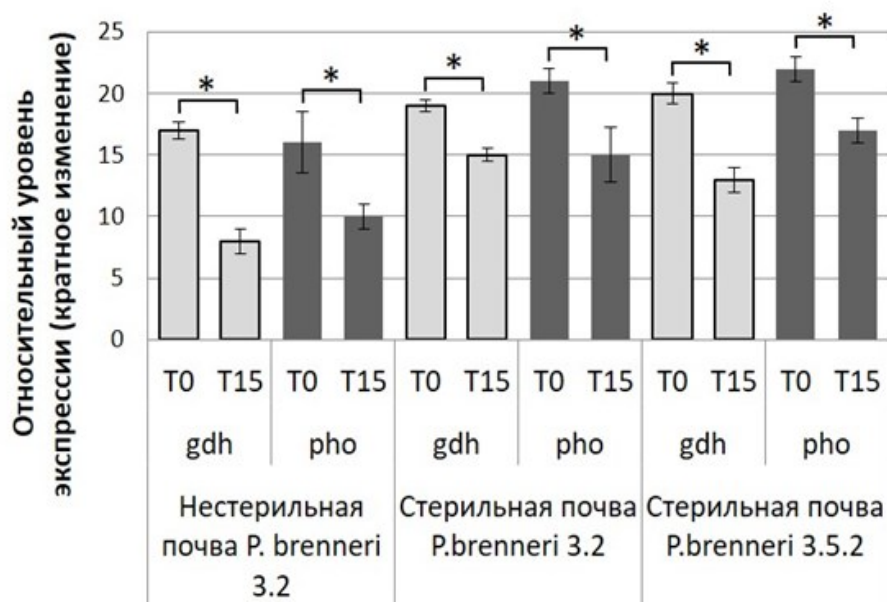


Рис. 1 – Изменение уровня экспрессии генов фосфатазы (*pho*) и глюкозодегидрогеназы (*gdh*) в нестерильной и стерильной почве, инокулированной штаммами *P. brenneri* 3.2 и *P. brenneri* 3.5.2, на начало (0 сут, T0) и конец (15 сут, T15) эксперимента (*различия внутри групп, обозначенных квадратной скобкой (экспрессия отдельных генов на 0 сут и 15 сут), достоверные при $p < 0,05$)

При этом на протяжении всего эксперимента экспрессия целевых генов в вариантах со стерильной почвой была выше, чем в вариантах с нестерильной почвой: в отношении гена *gdh* – в среднем в 1,2...1,9 раз, в отношении гена *pho* – в среднем в 1,3...1,7 раз в зависимости от времени инкубации и используемого штамма. Вероятно, в нестерильной почве процессы адаптации внесенных штаммов *P. brenneri* к новым условиям и конкуренция с нативной почвенной микрофлорой влияли на физиологические процессы в клетках, в том числе на мобилизацию фосфатов. Таким образом, результаты, полученные в ходе эксперимента со стерильной почвой, подтверждают, что наблюдаемое увеличение экспрессии генов *gdh* и *pho* напрямую связано с присутствием и активностью изучаемых штаммов *P. brenneri*

в почве.

Результаты измерения числа свободных фосфатов в образцах почвы показало, что на начальном этапе эксперимента существенных различий между вариантами с инокуляцией штаммами *P. brenneri* и контрольными образцами не наблюдали. Однако к концу эксперимента в вариантах с внесением штаммов *P. brenneri* наблюдали увеличение количества подвижного фосфора. Так, в стерильной почве концентрация биодоступного фосфора увеличилась на $27 \pm 1,4\%$ (штамм 3.2) и $22 \pm 1,2\%$ (штамм 3.5.2) по сравнению с контролем (без внесения штаммов). В нестерильной почве увеличение составило $15 \pm 0,8\%$ (штамм 3.2) и $18 \pm 0,7\%$ (штамм 3.5.2) по сравнению с контролем (рис. 2).

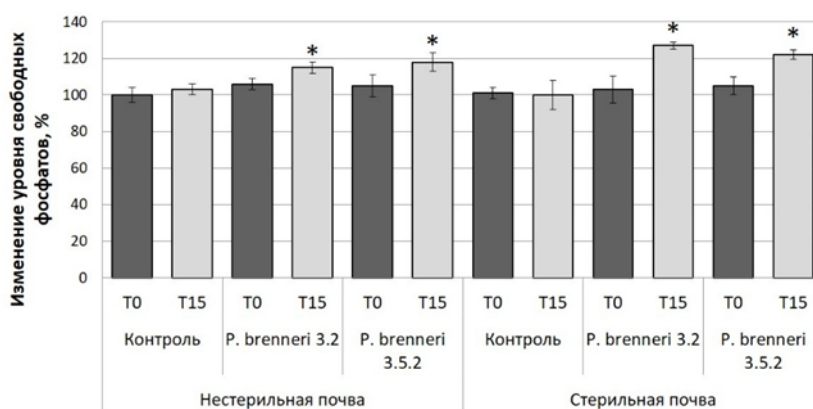


Рис. 2 – Изменение числа свободных фосфатов в нестерильной и стерильной почве, инокулированной штаммами *P. brenneri* 3.2 и *P. brenneri* 3.5.2, на начало (0 сут, T0) и конец (15 сут, T15) эксперимента. За 100% принимали число свободных фосфатов в контрольном (без внесения штаммов) варианте почвы на начало эксперимента (*различия с контролем достоверные при $p < 0,05$)

Все исследуемые штаммы *P. brenneri* обладали способностью подкислять почвенный раствор – уровень pH снижался со значений 6,6...6,7 ед. до pH 5,2...5,3 ед. Однако ранее в лабораторных условиях установлено, что изучаемые штаммы подкисляли среду культивирования с pH 7,0 до уровня pH 2,0...3,0, продуцируя при этом широкий спектр органических кислот [10]. Вероятно, снижение pH почвенного раствора представляет лишь один из механизмов процесса фосфатмобилизации у штаммов *P. brenneri* наряду с секрецией ферментов, в частности фосфатаз и фитаз.

Сохранение жизнеспособности микробных клеток – один из ключевых факторов в технологии разработки биопрепаратов. Штаммы *P. brenneri* сохраняли свою жизнеспособность в почвенных образцах в течение всего

эксперимента. При этом, на 5 сутки отмечали 6...8-кратное увеличение числа КОЕ/г почвы, по сравнению с начальной точкой (0 сутки), тогда как на 15 сутки число КОЕ/г почвы превышало исходную величину этого показателя в среднем в 3...4 раза (табл.). Способность бактериальных штаммов выживать в почве во многом зависит от их возможности конкурировать с адаптированной к условиям нативной микрофлорой почвы. Одной из стратегий для преодоления этих ограничений считают использование автохтонных микроорганизмов, адаптированных к климатическим условиям каждого региона [17, 18]. Поэтому, использование штаммов *P. brenneri*, ранее выделенных из почвы республики Татарстан, открывает перспективу их использования в регионе.

Таблица – Оценка жизнеспособности штаммов *P. brenneri* 3.2 и *P. brenneri* 3.5.2 в почве, КОЕ/г почвы

Штаммы	Время, сут			
	0	5	10	15
<i>P. brenneri</i> 3.2	$2,02 \times 10^6$	$1,22 \times 10^7$	$9,1 \times 10^6$	$7,1 \times 10^6$
<i>P. brenneri</i> 3.5.2	$1,7 \times 10^6$	$1,36 \times 10^7$	$9,3 \times 10^6$	$6,8 \times 10^6$

Выводы. Повышение штаммами почвенных бактерий *P. brenneri* биодоступности почвенного фосфора указывает на их биотехнологический потенциал для использования в качестве биоудобрений.

Внесение суспензии штаммов бактерий *P. brenneri* (3.2 и 3.5.2) в почву стимулировало экспрессию генов *gdh* и *pho*, участвующих в метаболизме фосфора. В зависимости от варианта почвы и штамма уровень экспрессии *gdh* к 15-м суткам инкубации снижался в среднем в 1,3...2,1 раза, *pho* – в 1,3...1,6 раза. В стерильной почве она была выше, чем в нестерильной, в среднем в 1,2...1,9 и 1,3...1,7 раза соответственно.

Внесение в почву суспензии штаммов *P. brenneri* увеличивало концентрацию биодоступного фосфора в почвенном растворе

к 15-м суткам эксперимента. В стерильной почве в варианте со штаммом 3.2 она возрастала, по сравнению с контролем, на $27 \pm 1,4\%$, со штаммом 3.5.2 – $22 \pm 1,2\%$, в нестерильной – соответственно на $15 \pm 0,8\%$ и $18 \pm 0,7\%$.

Одновременно штаммы *P. brenneri* подкисляли почвенный раствор, снижая pH с 6,6...6,7 ед. до 5,2...5,3 ед. и сохраняли жизнеспособность в почвенных образцах на протяжении всего эксперимента.

В связи с изложенным, изученные штаммы *P. brenneri* можно считать перспективными для создания биопрепаратов, повышающих содержание биодоступного фосфора в почве.

Сведение об источнике финансирования. Работа выполнена за счет средств гранта РНФ №23-76-01078.

Литература

1. Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake / P. Rawat, S. Das, D. Shankhdhar, et al. // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2020. Vol. 21. P. 49–68. doi: 10.1007/s42729-020-00342-7.
2. Timofeeva A., Galyamova M., Sedykh S. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture // Plants. 2022. Vol. 11. No. 16. Article 2119. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/16/2119> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.3390/plants11162119.
3. Roles of phosphate solubilizing microorganisms from managing soil phosphorus deficiency to mediating biogeochemical P cycle / J. Tian, F. Ge, D. Zhang, et al. // Biology. 2021. Vol. 10. No. 2. Article 158. URL: <https://www.mdpi.com/2079-7737/10/2/158> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.3390/biology10020158.
4. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils / S. B. Sharma, R. Sayyed, M. H. Trivedi, et al. // SpringerPlus. 2013. Vol. 2. No. 1. Article 587. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/2193-1801-2-587> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.1186/2193-1801-2-587.
5. Bhatia S., Sharma D. Biodesulfurization of dibenzothiophene, its alkylated derivatives and crude oil by a newly isolated strain *Pantoea agglomerans* D23W3 // Biochem. Eng. J. 2010. Vol. 50. No. 3. P. 104–109. doi: 10.1016/j.bej.2010.04.001.
6. Walteson A. M., Stavrinos J. *Pantoea*: insights into a highly versatile and diverse genus within the Enterobacteriaceae // FEMS Microbiol. Rev. 2015. Vol. 39. No. 6. P. 968–984. doi: 10.1093/femsre/fuv027.
7. Chen Q., Liu S. Identification and characterization of the phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea* sp. S32 in reclamation soil in Shanxi, China // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 10. Article 2171. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.02171/full> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.3389/fmicb.2019.02171.
8. Иткина Д. Л., Сулейманова А. Д., Шарипова М. Р. *Pantoea brenneri* AS3 и *Bacillus ginsengihumi* M2.11 как потенциальные агенты биоконтроля и стимуляторы роста растений // Микробиология. 2021. Т. 90. № 2. С. 204–214. doi: 10.31857/S0026365621020063.
9. Антагонистические штаммы *Pantoea brenneri* как средства защиты растений / Д. С. Бульмакова, Г. И. Шагиева, Д. Л. Иткина и др. // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 5. С. 352–361. doi: 10.31857/S0026364823050033.
10. Phosphate solubilization and plant growth promotion by *Pantoea brenneri* soil isolates / A. Suleimanova, D. Bulmakova, L. Sokolnikova, et al. // Microorganisms. 2023. Vol. 11. No. 5. Article 1136. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/5/1136> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.3390/microorganisms11051136.
11. The impact of the inoculation of phosphate-solubilizing bacteria *Pantoea agglomerans* on phosphorus availability and bacterial community dynamics of a semi-arid soil / I. Saadouli, A. Mosbah, R. Ferjani, et al. // Microorganisms. 2021. Vol. 9. No. 8. Article 1661. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/8/1661> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.3390/microorganisms9081661.
12. Novel glucose-1-phosphatase with high phytase activity and unusual metal ion activation from soil bacterium *Pantoea* sp. strain 3.5.1 / A. D. Suleimanova, A. Beinhauer, L. R. Valeeva, et al. // Appl. Environ. Microbiol. 2015. Vol. 81. No. 19. P. 6790–6799. doi: 10.1128/AEM.01384-15.
13. Идентификация фитат-гидролизующих ризобактерий рода *Pantoea* на основе фенотипических признаков и мультислоевого анализа / А. Д. Сулейманова, Д. Л. Иткина, Д. С. Пудова и др. // Микробиология. 2021. Т. 90. № 1. С. 87–95. doi: 10.1134/S0026261721010112.
14. Olsen S. R. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, 1954. 19 p.
15. Greiner R., Konietzny U., Jany K. D. Purification and characterization of two phytases from *Escherichia coli* // Arch. Biochem. Biophys. 1993. Vol. 303. No. 1. P. 107–113. doi: 10.1006/abbi.1993.1261.
16. Strigul N. S., Kravchenko L. V. Mathematical modeling of PGPR inoculation into the rhizosphere // Environ. Model. Softw. 2006. Vol. 21. No. 8. P. 1158–1171. doi: 10.1016/j.envsoft.2005.06.003.
17. Formulation of a highly effective inoculant for common bean based on an autochthonous elite strain of *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli, and genomic-based insights into its agronomic performance / R. Pastor-Bueis, C. Sanchez-Cañizares, E. K. James, et al. // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 10. Article 2724. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.02724/full> (дата обращения: 4.05.2025).

doi: 10.3389/fmicb.2019.02724.

18. Tina W., Walde-Meskel E., Wallet F. Symbiotic efficiency of native and exotic rhizobium strains nodulating lentil (*Lens culinaris* Medik.) in soils of southern Ethiopia // *Agronomy*. 2016. Vol. 6. No. 1. Article 11. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/6/1/11> (дата обращения: 4.05.2025). doi: 10.3390/agronomy6010011.

Сведения об авторах:

Булмакова Дарья Сергеевна – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры микробиологии, e-mail: daria_bulmakova@mail.ru

Сокольников Лидия Владиславовна – лаборант научно-исследовательской лаборатории агробиотехнологии, e-mail: idasok00@mail.ru

Сулейманова Алия Дамировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории агробиотехнологии, e-mail: aliya.kzn@gmail.com

Институт фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань, Россия

**BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF BACTERIAL STRAINS OF
PANTOEA BRENNERI TO INCREASE THE CONTENT OF
BIOAVAILABLE FORMS OF PHOSPHORUS IN SOIL
D. S. Bulmakova, L.V. Sokolnikova, A. D. Suleymanova**

Abstract. The studies were conducted to determine the role of strains of soil bacteria *Pantoea brenneri* in increasing the bioavailability of soil phosphorus and to assess the biotechnological potential of the strains for use as biofertilizers. Soil microcosms were created in four variants: inoculated non-sterile soil (30 g + 5 ml of *P. brenneri* suspension, 1.5×10^8 CFU/ml); control with non-sterile soil (30 g + 5 ml of 0.9% NaCl); inoculated sterile soil (30 g + 5 ml *P. brenneri* suspension, 1.5×10^8 CFU/ml); control with sterile soil (30 g + 5 ml 0.9% NaCl). Microcosms were incubated for 15 days, samples were taken at the beginning and end of incubation. Phosphate mobilization of *P. brenneri* strains in soil is confirmed by an increase in the expression level of *gdh* (glucose dehydrogenase) and *pho* (phosphatase) genes, the products of which are involved in the solubilization and mineralization of hard-to-reach phosphorus compounds. Expression of the target genes in sterile soil was higher than in non-sterile soil, depending on the incubation time and strain used: for the *gdh* gene - on average by 1.2...1.9 times, for the *pho* gene - on average by 1.3...1.7 times. The introduction of the strain suspension into the soil contributed to an increase in the number of bioavailable forms of phosphorus in sterile soil by an average of 22...27%, in non-sterile soil - by 15...18%. *P. brenneri* strains remained viable in the soil throughout the experiment, which characterizes their ability to compete with native soil microflora. On the 5th day of incubation, a 6-8-fold increase in the number of CFU/g of soil was noted, compared with the initial point (day 0), and on the 15th day, the value of this indicator exceeded the initial value by an average of 3...4 times.

Key words: phosphate mobilization, mineralization, solubilization, biopreparations, *Pantoea brenneri*.

References

1. Rawat P, Das S, Shankhdhar D. Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020; Vol.21. 49-68 p. doi: 10.1007/s42729-020-00342-7.
2. Timofeeva A, Galyamova M, Sedykh S. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. [Internet]. *Plants*. 2022; Vol.11. No.16. Article 2119. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/16/2119>. doi: 10.3390/plants11162119.
3. Tian J, Ge F, Zhang D. Roles of phosphate solubilizing microorganisms from managing soil phosphorus deficiency to mediating biogeochemical P cycle. [Internet]. *Biology*. 2021; Vol.10. No. 2. Article 158. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.mdpi.com/2079-7737/10/2/158>. doi: 10.3390/biology10020158.
4. Sharma SB, Sayyed R, Trivedi MH. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. [Internet]. *SpringerPlus*. 2013; Vol.2. No.1. Article 587. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1186/2193-1801-2-587>. doi: 10.1186/2193-1801-2-587.
5. Bhatia S, Sharma D. Bidesulfurization of dibenzothiophene, its alkylated derivatives and crude oil by a newly isolated strain *Pantoea agglomerans* D23W3. *Biochem. Eng. J.* 2010; Vol.50. No.3. 104-109 p. doi: 10.1016/j.bej.2010.04.001.
6. Walterson AM, Stavrinos J. *Pantoea*: insights into a highly versatile and diverse genus within the *Enterobacteriaceae*. *FEMS Microbiol. Rev.* 2015; Vol.39. No.6. 968-984 p. doi: 10.1093/femsre/fuv027.
7. Chen Q, Liu S. Identification and characterization of the phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea sp.* S32 in reclamation soil in Shanxi, China. [Internet]. *Frontiers in Microbiology*. 2019; Vol.10. Article 2171. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.02171/full>. doi: 10.3389/fmicb.2019.02171.
8. Itkina DL, Suleymanova AD, Sharipova MR. [*Pantoea brenneri* AS3 and *Bacillus ginsengihumi* M2.11 as potential biocontrol agents and plant growth promoters]. *Микробиология*. 2021; Vol.90. 2. 204-214 p. doi: 10.31857/S0026365621020063.
9. Bulmakova DS, Shagieva GI, Itkina DL. [Antagonistic strains of *Pantoea brenneri* as plant protection products]. *Микробиология и фитопатология*. 2023; Vol.57. 5. 352-361 p. doi: 10.31857/S0026364823050033.
10. Suleymanova A, Bulmakova D, Sokolnikova L. Phosphate solubilization and plant growth promotion by *Pantoea brenneri* soil isolates. [Internet]. *Microorganisms*. 2023; Vol.11. No.5. Article 1136. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/5/1136>. doi: 10.3390/microorganisms11051136.
11. Saadoui I, Mosbah A, Ferjani R. The impact of the inoculation of phosphate-solubilizing bacteria *Pantoea agglomerans* on phosphorus availability and bacterial community dynamics of a semi-arid soil. [Internet]. *Microorganisms*. 2021; Vol.9. No.8. Article 1661. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/8/1661>. doi: 10.3390/microorganisms9081661.

12. Suleymanova AD, Beinbauer A, Valeeva LR. Novel glucose-1-phosphatase with high phytase activity and unusual metal ion activation from soil bacterium *Pantoea* sp. strain 3.5.1/t al. Appl. Environ. Microbiol. 2015; Vol.81. No.19. 6790-6799 p. doi: 10.1128/AEM.01384-15.
13. Suleymanova AD, Itkina DL, Pudova DS. [Identification of phytate-hydrolyzing rhizobacteria of *Pantoea* genus based on phenotypic traits and multilocus analysis]. Mikrobiologiya. 2021; Vol.90. 1. 87-95 p. doi: 10.1134/S0026261721010112.
14. Olsen SR. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture. 1954; 19 p.
15. Greiner R, Konietzny U, Jany KD. Purification and characterization of two phytases from *Escherichia coli*. Arch. Biochem. Biophys. 1993; Vol.303. No.1. 107-113 p. doi: 10.1006/abbi.1993.1261.
16. Strigul NS, Kravchenko LV. Mathematical modeling of PGPR inoculation into the rhizosphere. Environ. Model. Softw. 2006; Vol.21. No.8. 1158-1171 p. doi: 10.1016/j.envsoft.2005.06.003.
17. Pastor-Bueis R, Sanchez-Canizares C, James EK. Formulation of a highly effective inoculant for common bean based on an autochthonous elite strain of *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli, and genomic-based insights into its agronomic performance. [Internet]. Frontiers in Microbiology. 2019; Vol.10. Article 2724. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.02724/full>. doi: 10.3389/fmicb.2019.02724.
18. Tina W, Walde-Meskel E, Wallet F. Symbiotic efficiency of native and exotic rhizobium strains nodulating lentil (*Lens culinaris* Medik.) in soils of southern Ethiopia. [Internet]. Agronomy. 2016; Vol.6. No.1. Article 11. [cited 2025, May 04]. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/6/1/11>. doi: 10.3390/agronomy6010011.

Authors:

Bulmakova Darya Sergeevna – Ph.D. of Biological Sciences, senior lecturer of Microbiology Department, e-mail: daria_bulmakova@mail.ru
 Sokolnikova Lidiya Vladislavovna – laboratory assistant of Research laboratory of Agrobioengineering, e-mail: lidasok00@mail.ru
 Suleymanova Aliya Damirovna – Ph.D. Of Biological Sciences, senior researcher of Research laboratory of Agrobioengineering, e-mail: aliya.kzn@gmail.com
 Institute of Fundamental Medicine and Biology of Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МИНИ-КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ГРУНТА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ**Л. М. Исаева**

Реферат. В 2023 году по сравнению с 2019 годом в Костромской области площади для выращивания картофеля в производственном секторе увеличились на 535 га или 40%, достигнув 1870 га. Урожайность картофеля в регионе демонстрировала устойчивую тенденцию к отставанию от среднероссийского уровня на 5,3-15,3%, что составляет 15,0-48,5 ц/га. По данным мониторинга Российского сельскохозяйственного центра, доля несортного посадочного материала картофеля в 2019-2023 годах варьировалась от 17,5% до 36,8%, доля семенного материала массовых репродукций составляла от 4,6% до 11,1%. Биологический потенциал такого посадочного материала имеет определённый предел клубневой продуктивности и не позволяет получить максимальный урожай картофеля. Для обеспечения высоких показателей урожайности необходимо использовать посевной материал высокого качества. Производство семенного материала высокого качества сопряжено с рядом трудностей, обусловленных биологическими особенностями культуры: низким коэффициентом размножения, разнообразием специфических патогенов, ограниченным сроком жизнеспособности клубней и повышенной чувствительностью к факторам окружающей среды на этапах культивирования и хранения. Таким образом, внедрение инновационных приёмов в технологию производства безвирусных мини-клубней картофеля стандартизированного размера, обеспечивающих максимальный коэффициент размножения за счёт повышения продуктивности каждого растения, представляет собой насущную задачу. Исследования, проведенные в Костромском НИИСХ-филиале ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г.Лорха», показали, что наибольшую эффективность в производстве исходного материала картофеля в условиях защищённого грунта демонстрирует применение микоризного препарата. Использование данного препарата позволило существенно увеличить количество собираемых кондиционных клубней с одного микрорастения. По сравнению с контрольным вариантом для сорта Ариэль увеличение составило 32 мини-клубня картофеля на квадратный метр, или 39,2%, а для сорта Садон – 25,6 мини-клубней на квадратный метр, или 39%. В зависимости от сорта, увеличение выручки составило от 768,00 до 960,00 рублей на квадратный метр, а прирост прибыли – от 732,24 до 924,52 рублей на квадратный метр. Эффективность применения микоризного препарата превосходит контрольный вариант для сорта Садон на 39 процентных пунктов, а для сорта Ариэль – на 42,7 процентных пунктов.

Ключевые слова: мини-клубни, семенной картофель, урожайность, себестоимость, эффективность, Костромская область.

Введение. В современных реалиях ключевой задачей развития аграрного сектора выступает достижение стабильного производства и наращивание объёмов сельскохозяйственной продукции. Реализация данной цели предполагает внедрение инновационных технологий, базирующихся на достижениях науки, техники и передовых методиках. Костромская область, расположенная в Северо-Западном регионе Российской Федерации, признана одним из наиболее благоприятных регионов для выращивания высококачественного семенного картофеля [1]. Среди приоритетных направлений развития картофелеводства особое значение имеет повышение эффективности использования сортовых ресурсов, в первую очередь отечественных селекционных достижений, а также внедрение современных технологических схем производства оригинального и элитного семенного картофеля [2, 3]. В настоящее время производство оригинального семенного картофеля основывается на традиционном методе клонального размножения *in vitro* оздоровленных растений в пробирках с последующим получением мини-клубней в контролируемых условиях, исключающих повторное заражение среды [4, 5, 6]. Требования к сортовым и посевным качествам закреплены в стандартах, а соответствие конкретных партий

этим требованиям подтверждается в ходе независимой сертификации [7]. Здоровый исходный материал должен производиться в условиях закрытого грунта – лабораториях, теплицах – в объёмах, достаточных для постепенной (поэтапной) замены местного семенного материала. Основной задачей технологий производства исходного материала является максимальный выход здоровых мини-клубней с одного растения и с единицы площади теплицы. Многие методы растениеводства можно использовать для манипулирования параметрами урожайности [8, 9, 10].

Цель исследований – анализ эффективности применения водорастворимых удобрений и биологических препаратов на формирование урожайности картофеля сортов Ариэль и Садон в условиях защищённого грунта.

Условия, материалы и методы. Предметом исследования является состояние и динамика развития подотрасли картофелеводства в Костромской области. В качестве основы для анализа использовались официальные статистические данные, предоставляемые Федеральной службой государственной статистики, Департаментом агропромышленного комплекса Костромской области и филиалом ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Костромской области. Проведён

анализ производственной и экономической эффективности выращивания исходного материала (мини-клубни) картофеля отечественных сортов Ариэль и Садон в условиях Костромской области, включенные в Госреестр в 2021 и 2020 годах соответственно [11]. Оба сорта среднераннего срока созревания и столового назначения. Материалом для оценки являются данные Костромского НИИСХ-филиала ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г.Лорха». В ходе исследований применялись следующие методы: анализ, обобщение, сравнение, а также экономико-статистический анализ. Исследования по отработке эффективного метода получения мини-клубней картофеля проводились на производственных площадях Костромского НИИСХ – филиала ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г.Лорха». Для предотвращения заражения растений вирусными инфекциями посредством переносчиков, выращивание мини-клубней проводилось в условиях защищенного грунта. В качестве защитных сооружений использовались весенне-летние деревянные каркасные теплицы, оснащенные светопроницаемой крышей из белого спанбонда и полиэтиленовой плёнки, а также боковыми проёмами, закрытыми москитной сеткой.

В ходе исследования ценные безвирусные микрорастения двух сортов Ариэль и Садон, полученные методом *in vitro* в лаборатории биотехнологии картофеля, были высажены в стандартные литьевые пятилитровые горшки круглой формы (размер горшка 22*18 см). В качестве субстрата использовался готовый к применению грунт торфяной универсальный марки Агробалт С, произведенный компанией ООО «ПИНДСТРУП» (Псковская область). Данный субстрат на основе слабо разложённого сфагнового торфа имеет фракцию от 0-20 мм и характеризуется рН солевой вытяжки в диапазоне 5,5-6,0. Теплицы оснащены системой дождевания для обеспечения оптимальных условий увлажнения. Полив растений осуществляли один раз в два дня до предельной полевой влагоёмкости грунта.

Уборка урожая была единовременной. Оценка урожайности проводили по основным показателям: количество клубней с 1 растения (шт.), наибольший диаметр (мм). Интегрирующим показателем являлась урожайность с 1 м² (шт.). Также проводили визуальную

оценку клубней на наличие повреждений и болезней.

В ходе исследований нами была рассчитана сравнительная экономическая оценка производства мини-клубней картофеля в разных вариантах опыта. Расчёт экономической эффективности определялся по результатам исследований за 2022-2024 годы на основании фактических прямых расходов на субстрат грунта торфяного, электроэнергию, водоснабжение, фунгицидные и инсектицидные обработки растений, на водорастворимые удобрения и биологические препараты для каждого варианта опыта, сертификацию исходного материала, а также затрат, связанных с обустройством весенне-летних теплиц и оплатой труда персонала. Все эти затраты были включены в себестоимость продукции.

В наших исследованиях стоимость средств защиты и удобрений рассчитывалась как произведение цены препаратов на количество вносимого, с учётом кратности обработки. В расчётах использовалась цена реализации мини-клубней картофеля в Костромской области в годы проведения исследований – 30,00 руб./шт.

Оценка экономической эффективности рассчитывалась по следующим показателям: выход клубней с 1 растения, выход товарной фракции кондиционных клубней, производственные затраты, себестоимость, выручка, прибыль, рентабельность. В соответствии со схемой опытов корневую обработку исследуемыми препаратами проводили в расчёте 0,5 л рабочего раствора под растение, некорневую обработку растений – до полного смачивания листьев.

Результаты и обсуждение. За 2019-2023 годы в Костромской области в производственном секторе наблюдается тенденция к росту площадей, отведённых под картофель. В 2023 году площади картофельного клина увеличились на 535 га или 40%, достигнув 1870 га (табл. 1). Это обусловлено увеличением числа сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств, занимающихся выращиванием картофеля. По сравнению с 2019 годом их количество выросло на 23 единицы и составило 81. В результате валовой сбор картофеля в регионе увеличился на 14,1 тысяч тонн, или на 39,3%.

Таблица 1 – Показатели производства картофеля в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах в Костромской области (2019-2023 годы)*

Показатель	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023
Количество организаций, ед.	58	62	65	76	81
Посевная площадь, га	1335	1442	1364	1615	1870
Валовой сбор, тыс. т	35,9	33,8	32,7	37,5	50,0

*по данным Федеральной службы государственной статистики [12]

Однако стоит отметить, что в течение анализируемого периода урожайность картофеля в Костромской области была ниже

среднего российского показателя на 5,3-15,3%, что составляет 15,0-48,5 центнеров с гектара (рис. 1).



Рис. 1 - Урожайность картофеля в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах, ц/га (2019-2023 годы)

Текущая ситуация обусловлена тем, что в Костромской области более 43% площадей, отведенных под выращивание картофеля, используются для производства семенного материала. Производители семян, в регионе 9 семеноводческих хозяйств, ставят своей целью получение максимального количества клубней семенной фракции с одного растения, соответствующих установленным техническим требованиям, включая ограничение размера клубней по наибольшему поперечному диаметру до 60 мм [13]. В то же время, для картофеля продовольственного назначения действуют иные технические условия, предписывающие

большой размер клубней, достигающий калибра до 80 мм.

Обеспечение высоких показателей урожайности картофеля во многом зависит от применения семенного материала высокого качества. По данным мониторинга Костромского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский сельскохозяйственный центр», доля несортного посадочного материала картофеля в период 2019-2023 годов варьировалась от 17,5% до 36,8%, доля семенного материала третьей и последующих репродукций составляла от 4,6% до 11,1% (табл. 2).

Таблица 2 – Информация по количеству и качеству семенного картофеля, высаженного в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах в Костромской области (2019-2023 годы)*

Показатель		Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
Высажено семян всего	т	4592,8	3852,5	3510,4	4214,1	4697,4
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Сортовые семена	т	3786,7	3160,2	2806,0	2662,1	3868,9
	%	82,5	82,0	80,0	63,2	82,4
ПП1-первое полевое поколение	т	35,3	176,2	89,8	96,6	107,9
	%	0,8	4,6	2,6	2,3	2,3
ССЭ-супер-суперэлита	т	211,5	175,4	355,6	185,0	297,6
	%	4,6	4,5	10,1	4,4	6,3
СЭ-суперэлита	т	726,3	521,4	793,5	626,3	993,7
	%	15,8	13,5	22,6	14,9	21,2
ЭС-элитные семена	т	1477,1	988,3	465,9	631,9	715,7
	%	32,2	25,7	13,3	15,0	15,2
РС ₁₋₂ – первая и вторая репродукции	т	828,3	929,6	855,2	928,6	1324,3
	%	18,0	24,1	24,4	22,0	28,2
РС ₃ – третья и последующие репродукции	т	508,2	369,3	246,0	193,8	429,7
	%	11,1	9,6	7,0	4,6	9,2
Несортные семена	т	806,0	692,3	704,4	1552,0	828,5
	%	17,5	18,0	20,0	36,8	17,6

*по данным филиала ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Костромской области

Анализ представленных данных указывает на то, что из-за высокой цены сертифицированного посадочного материала и ограниченности финансовых ресурсов у крестьянско-фермерских хозяйств, специализирующихся на выращивании продовольственного картофеля, часто используется посевной материал несортных и массовых репродукций. Биологический потенциал такого посадочного материала достигает определённого предела клубневой продуктивности и не может обеспечить получение максимального урожая картофеля.

Оценка финансово-экономических показателей товаропроизводителей агропромышленного комплекса Костромской области за 2023 год демонстрирует существенную разницу в производственных затратах на единицу

площади при выращивании семенного и продовольственного картофеля. Затраты на производство семенного картофеля (451 тыс. руб./га) превышают аналогичные затраты на производство продовольственного картофеля на 184 тыс. руб./га, что составляет 68,9%. Данная разница обусловлена значительно более высокими расходами на отдельные статьи затрат при выращивании семенного картофеля. В частности, затраты на приобретение семян и посадочного материала в 2,4 раза, средства защиты растений в 2,6 раза, а также минеральных удобрений, бактериальных и других препаратов в 2,1 раза превышают аналогичные затраты при выращивании продовольственного картофеля (рис. 2).

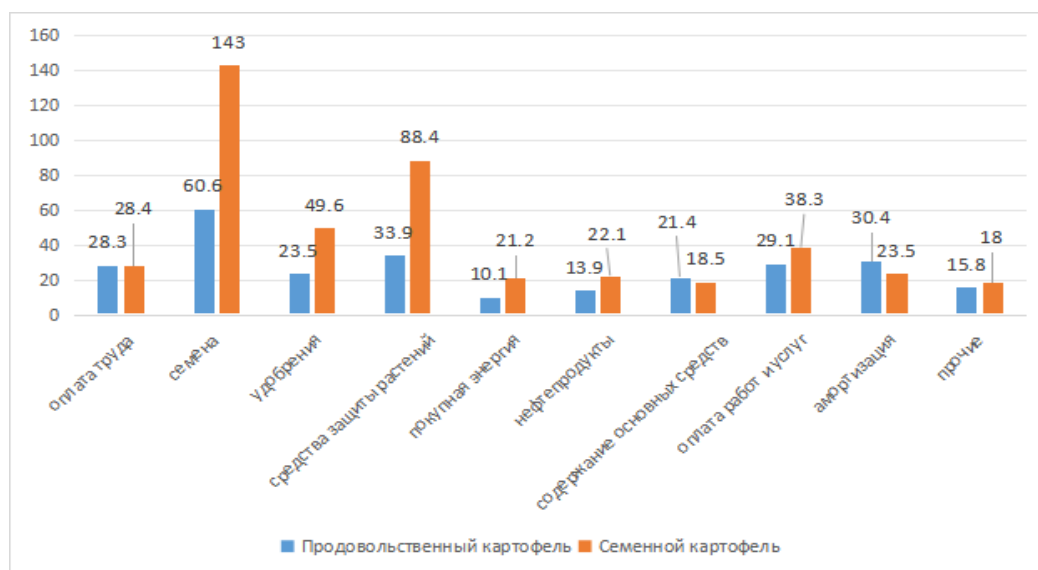


Рис. 2 – Затраты на производство картофеля в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах в 2023 году, тыс. руб./га

Ввиду значительного потребления ресурсов при выращивании картофеля, минимизация расходов на его производство выступает как приоритетная задача. В связи с низкой репродуктивной способностью картофеля, получение достаточного количества высококачественного посадочного материала требует длительного многоступенчатого размножения. Данный процесс повышает вероятность заражения посевного материала вирусными и другими заболеваниями, что негативно сказывается на качестве клубней [14]. Поэтому в сельском хозяйстве активно внедряются методы ускоренного размножения. Это обуславливает необходимость совершенствования технологий семеноводства. Обеспечение хозяйств всех форм собственности высококачественным посевным материалом является одним из приоритетных направлений повышения урожайности картофеля в Костромской области. В настоящее время реализация этой задачи осуществляется путём развития и усовершенствования системы семеноводства здорового картофеля, первым этапом которой является производство исходного материала

(in vitro микрорастения и микроклубни, мини-клубни) свободного от вирусных и других инфекций.

Разработка инновационных технологий и методов получения безвирусных микроклубней картофеля заданного размера, обеспечивающих максимальный коэффициент размножения за счёт повышения продуктивности каждого растения, является актуальной задачей. Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества» допускается размер микроклубней по наибольшему поперечному диаметру в диапазоне от 9 до 60 мм. Однако, с точки зрения практической реализации микроклубней и осуществления механизированной посадки, необходим посадочный материал диаметром 25-60 мм. Такой размер позволит автоматизировать процесс посева на этапе выращивания первой полевой репродукции. Основным критерием оценки эффективности выращивания микроклубней является их количественный выход с одного растения (табл. 3).

Таблица 3 – Эффективность применения водорастворимых удобрений при производстве мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон (2022-2024 годы)

Показатель	Вариант опыта						
	Без обработки (контроль)	БисолбиСан + Акварин 13	БисолбиСан + Монокалийфосфат	БисолбиСан + Акварин 13 + Монокалийфосфат	Альбит + Акварин 13	Альбит + Монокалийфосфат	Альбит + Акварин 13 + Монокалийфосфат
Затраты на производство, руб./м ²	2117,0	2151,18	2153,78	2156,76	2210,02	2212,62	2215,60
- в том числе на удобрения	3,67	37,85	40,45	43,43	96,69	99,29	102,27
Количество клубней, шт./растение	10,4	11,0	8,9	11,3	10,2	10,3	10,0
	6,7	7,1	7,0	7,2	6,5	7,0	6,7
Производство клубней, шт./м ²	166,4	176,0	142,4	180,8	163,2	164,8	160,0
	107,2	113,6	112,0	115,2	104,0	112,0	107,2
Себестоимость клубня, руб./шт.	12,72	12,22	15,12	11,93	13,54	13,43	13,85
	19,75	18,94	19,23	19,26	21,25	19,75	20,67
Выход товарных клубней, шт./м ²	81,6	91,2	70,4	100,8	97,6	88,0	91,2
	65,6	81,6	68,8	75,2	80,0	76,8	81,6
Денежная выручка, руб./м ²	2448,0	2736,00	2112,00	3024,00	2928,00	2640,00	2736,00
	1968,0	2448,00	2064,00	2256,00	2400,00	2304,00	448,00
Прибыль(+), убыток(-), руб./м ²	+331,0	+583,82	-41,78	+867,24	+717,98	+427,38	+520,40
	-149,00	+296,82	-89,78	+99,24	+189,98	+91,38	+232,40
Уровень рентабельности производства, %	15,6	27,2	-1,9	40,2	32,5	19,3	23,5
	-7,0	13,8	-4,2	4,6	8,6	4,1	10,5

 - сорт Ариэль

 - сорт Садон

Согласно нашим расчётам, затраты на производство мини-клубней за одну ротацию выращивания составили от 2117,00 до 2215,60 рублей на квадратный метр в зависимости от применения различных водорастворимых удобрений в вариантах опыта.

Среднее количество клубней, получаемых с одного растения, зависело от сорта картофеля и колебалось в пределах от 6,5 штук (сорт Садон) до 11,3 штук (сорт Ариэль). Количество кондиционных клубней товарной фракции 25-60 мм с одного растения варьировалось от 4,1 штуки (сорт Садон) до 6,3 штуки (сорт Ариэль) или выход с квадратного метра 65,6 и 100,8 штук соответственно.

Анализ данных, представленных в таблице, демонстрирует положительное влияние использования различных форм и комбинаций водорастворимых удобрений на повышение урожайности мини-клубней картофеля, включая товарную фракцию во всех вариантах опыта, за исключением варианта БисолбиСан+Монокалийфосфат. Увеличение выхода кондиционных клубней товарной фракции составило у сорта Садон

на 3,2 - 16 шт./м² или 4,9-24,4%, у сорта Ариэль на 6,4 - 19,2 шт./м² или 7,9-23,5%.

Получению максимального количества мини-клубней сорта Ариэль способствовало применение водорастворимых удобрений БисолбиСан+Акварин 13+Монокалийфосфат, достигнув показателя 180,8 шт. с одного квадратного метра. Данный результат превосходит показатели контрольного варианта на 14,4 шт./м² или 8,7%. В результате применения указанных препаратов наблюдается снижение себестоимости производства одного клубня на 0,79 руб./шт. или 6,2% от контроля. Кроме того, в этом же варианте опыта был достигнут наивысший выход товарной фракции мини-клубней, превышающий контрольный вариант на 19,2 шт./м² или 23,5%. Такая тенденция привела к увеличению денежной выручки и прибыли на 576,00 руб./м² и 536,24 руб./м² соответственно. В результате, рентабельность производства возросла на 24,6 процентных пункта по сравнению с контролем.

Исследования показали, что для сорта Садон наилучшие результаты

достигнуты при использовании водорастворимых удобрений Бисолби-Сан+Акварин 13. Эффективность применения этих препаратов превышает контрольный вариант на 20,8 процентных пунктов. Применение указанных удобрений позволило получить максимальный выход товарной продукции, превосходящий контрольный

показатель на 16 единиц мини-клубней картофеля на квадратный метр, или 24,4%. В итоге наблюдается существенное увеличение денежной выручки и прибыли – на 480,00 руб./м² и 445,82 руб./м² соответственно.

Результаты применения биологических препаратов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Эффективность применения биологических препаратов при производстве мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон (2022-2024 годы)

Показатель	Вариант опыта					
	Без обработки (контроль)	Аминофол Плюс	Максифол Динамикс	Гипер-старт	Прорастин+Полистин	Микоризный препарат (Rhizophagus irregularis)
Затраты на производство, руб./м ²	2117,00	2126,94	2126,85	2245,56	2146,42	2152,76
- в том числе на удобрения	3,67	13,61	13,52	132,23	33,09	39,43
Количество клубней, шт./растение	10,4	10,9	11,5	12,2	10,2	10,9
	6,7	6,5	6,5	6,7	7,3	7,6
Производство клубней, шт./м ²	166,4	174,4	184,0	195,2	163,2	174,4
	107,2	104,0	104,0	107,2	116,8	121,6
Себестоимость клубня, руб./шт.	12,72	12,20	11,56	11,50	13,15	12,34
	19,75	20,45	20,45	20,95	18,38	17,70
Выход товарных клубней, шт./м ²	81,6	96,0	99,2	96,0	102,4	113,6
	65,6	75,2	75,2	70,4	88,0	91,2
Денежная выручка, руб./м ²	2448,00	2880,00	2976,00	2880,00	3072,00	3408,00
	1968,00	2256,00	2256,00	2112,00	2640,00	2736,00
Прибыль(+), убыток(-), руб./м ²	+331,00	+753,06	+849,15	+634,44	+925,58	+1255,52
	-149,00	+129,06	+129,15	-133,56	+493,58	+583,24
Уровень рентабельности производства, %	15,6	35,4	39,9	28,3	43,1	58,3
	-7,0	6,1	6,1	-6,0	23,0	27,1

■ - сорт Ариэль

■ - сорт Садон

Согласно проведённым расчётам в таблице 4, затраты на производство мини-клубней за одну ротацию выращивания варьируются от 2117,00 до 2245,85 рублей на квадратный метр в зависимости от используемых биологических препаратов.

Анализ данных демонстрирует положительное влияние использования различных форм и комбинаций препаратов на повышение урожайности исходного материала картофеля, включая товарную фракцию во всех вариантах опыта. Увеличение выхода кондиционных клубней товарной фракции 25-60 мм составило у сорта Садон на 4,8-25,6 шт./м² или 7,3-39%, а у сорта Ариэль на 14,4-32 шт./м² или 17,7-39,2%. Данная тенденция привела к росту денежной выручки у сорта Ариэль на 432,00-960,00 руб./м² или 17,7-39,2%, увеличению прибыли на 442,06-924,52 руб./м² или 191,0-379,3% в зависимости от варианта опыта по сравнению с контрольным. В результате, рентабельность производства возросла

на 12,7-42,7 процентных пункта по сравнению с контрольным вариантом.

Проведённые исследования по оценке эффективности применения водорастворимых удобрений и биологических препаратов в производстве исходного материала картофеля, выявили, что наилучшие результаты демонстрирует вариант с использованием микоризного препарата. Применение данного препарата позволило увеличить количество собираемых кондиционных клубней с одного микро-растения. По сравнению с контрольным вариантом для сорта Ариэль увеличение составило 32 мини-клубня картофеля на квадратный метр, или 39,2%, а для сорта Садон – 25,6 мини-клубней на квадратный метр, или 39%. В зависимости от сорта, увеличение выручки составило от 768,00 до 960,00 рублей на квадратный метр, а прирост прибыли – от 732,24 до 924,52 рублей на квадратный метр. Эффективность применения микоризного препарата превосходит контрольный вариант для сорта

Садон на 39 процентных пунктов, а для сорта Ариэль – на 42,7 процентных пунктов.

Выводы. В ходе исследований по выращиванию мини-клубней картофеля отечественных среднеранних сортов Ариэль и Садон в условиях защищённого грунта было установлено, что наиболее высокая урожайность мини-клубней кондиционных размеров у обоих сортов наблюдалась при предварительной обработке корневой системы микрорастений микоризным биопрепаратом перед посадкой. В условиях высоких рисков вырождения картофеля, требующей ежегодного обновления посадочного материала и стабильного спроса

на высококачественный семенной картофель, оптимизация получения мини-клубней заданного размера приобретает первостепенное значение для отрасли семеноводства. Это связано с тем, что увеличение выхода мини-клубней позволяет повысить коэффициент размножения за счёт повышения продуктивности каждого растения, что, в свою очередь, существенно снижает затраты на производство исходного материала. В конечном итоге это приводит к снижению себестоимости производства и обеспечению конкурентоспособных цен на продовольственный картофель.

Литература

1. Хомутова Л.А., Исаева Л.М. Обеспечение населения сельскохозяйственной продукцией собственного производства в Костромской области // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 9. С. 67-72.
2. Хомутова Л.А., Исаева Л.М. Использование преимущественных условий Костромской области для производства семенного картофеля // Вестник Казанского ГАУ. 2022. № 3(67). С. 57-63.
3. Шанина Е. П., Устьянцев А. В., Оберюхтин Д. А., Лиходеевский Г. А. Влияние спектрального состава света светодиодных ламп на развитие растений картофеля *in vitro* // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 10. С. 34-40.
4. Коршунов А.В., Симяков Е.А., Лысенко Ю.В., Анисимов Б.В., Митюшкин А.В., Гаитов М.Ю. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12-20.
5. Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Карданова И.С., Етдзаева К.Т. Специальные защищенные территории для ведения семеноводства картофеля (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 7. С. 62-68.
6. Павлов М. Н., Кулагина П. В., Смирнова Т. И. Применение различных форм йода, селена и бора для оптимизации клонального микроразмножения антоцианосодержащих сортов картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 2. С. 31-37.
7. Региональный стандарт по фитосанитарным мерам ЕОКЗР РМ 3/61 Свободные зоны и системы производства и распространения материала, свободного от карантинных вредных для картофеля организмов. – URL: <https://flatik.ru/evropejskaya-i-sredizemnomorskaya-organizaciya-po-karantinu-i-v6> (дата обращения: 11.08.2024).
8. Dimante I., Mežaka I., Gaile Z. The effect of minituber weight on their field performance under a northern European environment. *Agronomy Research*. 2019. № 17 (2). С. 396-407 (дата обращения: 11.08.2024).
9. Ozturk G., Yildirim Z. Tuber characteristics of disease free meristem clones of some potato genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*. 2020. № 25(2). С. 174-180.
10. Ozkaynak E. Tuber size effects on yield and number of potato minitubers of commercial varieties in a greenhouse production system. *Turkish Journal of Field Crops*. 2021. № 26 (1). С. 123-128 (дата обращения: 11.08.2024).
11. Малкова Т.С., Демьянова-Рой Г.Б. Влияние препаратов различного спектра действия на урожайность мини-клубней картофеля сортов Ариэль и Садон в условиях защищенного грунта // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 228—238.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2024/ (дата обращения 18.02.2025).
13. ГОСТ 33996-2016 Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. М.: Стандартинформ, 2017. 33 с.
14. Некоторые ретроспективные и современные фитопатологические вызовы для картофелеводства / А. Н. Смирнов, Е. С. Приходько, О. Г. Смирнова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 20-26.

Сведения об авторе:

Исаева Любовь Михайловна - старший научный сотрудник отдела экономики и бухгалтерского учёта, e-mail: kniish.dir@mail.ru

Костромской научно - исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г.Лорха», Кострома, Россия

EFFICIENCY OF POTATO MINI-TUBERS PRODUCTION IN PROTECTED SOIL CONDITIONS OF KOSTROMA REGION L. M. Isaeva

Abstract. In 2023, compared to 2019, the area for growing potatoes in the production sector of Kostroma region increased by 535 hectares or 40%, reaching 1870 hectares. Potato yields in the region demonstrated a steady tendency to lag behind the Russian average by 5.3-15.3%, which is 15.0-48.5 c/ha. According to monitoring data from the Russian Agricultural Center, the share of non-varietal potato planting material in 2019-2023 varied from 17.5% to 36.8%, the share of seed material of mass reproductions was from 4.6% to 11.1%. The biological potential of such planting material has a certain limit of tuber productivity and does not allow obtaining the maximum potato yield. To ensure high yields, it is necessary to use high-quality seed material. The production of high-quality seed material is associated with a number of difficulties due to the biological characteristics of the crop: low reproduction rate, a variety of specific pathogens, a limited viability of tubers and increased sensitivity to environmental factors at the stages of cultivation and storage. Thus, the

introduction of innovative techniques in the technology of producing virus-free mini-tubers of standardized size potatoes, ensuring the maximum reproduction rate by increasing the productivity of each plant, is an urgent task. Research conducted at Kostroma Research Institute of Agriculture, a branch of A.G. Lorch Federal Research Center of Potato, showed that the greatest efficiency in the production of potato source material in protected soil conditions is demonstrated by the use of a mycorrhizal preparation. The use of this preparation made it possible to significantly increase the number of harvested quality tubers from one micro plant. Compared with the control variant, for Ariel variety, the increase was 32 potato mini-tubers per square meter, or 39.2%, and for Sadon variety - 25.6 mini-tubers per square meter, or 39%. Depending on the variety, the increase in revenue was from 768.00 to 960.00 rubles per square meter, and the increase in profit was from 732.24 to 924.52 rubles per square meter. The efficiency of the mycorrhizal preparation exceeds the control variant for Sadon variety by 39 percentage points, and for Ariel variety by 42.7 percentage points.

Key words: mini-tubers, seed potatoes, yield, cost, efficiency, Kostroma region.

References

1. Khomutova LA, Isaeva LM. [Providing population with agricultural products of own production in Kostroma region]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2020; 9. 67-72 p.
2. Khomutova LA, Isaeva LM. [Using the advantageous conditions of Kostroma region for the production of seed potatoes]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2022; 3(67). 57-63 p.
3. Shanina EP, Ustyantsev AV, Oberyukhtin DA, Likhodeevskiy GA. [The influence of spectral composition of LED lamps on the development of potato plants in vitro]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 10. 34-40 p.
4. Korshunov AV, Simakov EA, Lysenko YuV, Anisimov BV, Mityushkin AV, Gaitov MYu. [Actual problems and priority directions for the development of potato growing]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018; Vol.32. 3. 12-20 p.
5. Oves EV, Gaitova NA, Kardanova IS, Etdzaeva KT. [Special protected areas for potato seed production (review)]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 7. 62-68 p.
6. Pavlov MN, Kulagina PV, Smirnova TI. [Application of various forms of iodine, selenium and boron to optimize clonal micropropagation of anthocyanin-containing potato varieties]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2025; Vol.39. 2. 31-37 p.
7. Regional'nyi standart po fitosanitarnym meram EOKZR RM 3/61 Svobodnye zony i sistemy proizvodstva i rasprostraneniya materiala, svobodnogo ot karantinnykh vrednykh dlya kartofelya organizmov. Regional standard for phytosanitary measures EPPO RM 3/61. Free zones and systems for the production and distribution of material free from quarantine pests of potatoes. [Internet]. Flatik. [cited 2024, August 11]. Available from: <https://flatik.ru/evropejskaya-i-sredizemnomorskaya-organizaciya-po-karantinu-i-v6>.
8. Dimante I, Mezaka I, Gaile Z. The effect of minituber weight on their field performance under a northern European environment. [Internet]. *Agronomy Research*. 2019; 17 (2). 396-407 p. [cited 2024, August 11].
9. Ozturk G, Yildirim Z. Tuber characteristics of disease free meristem clones of some potato genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*. 2020; 25(2). 174-180 p.
10. Ozkaynak E. Tuber size effects on yield and number of potato minitubers of commercial varieties in a greenhouse production system. [Internet]. *Turkish Journal of Field Crops*. 2021; 26 (1). 123-128 p. [cited 2024, August 11].
11. Malkova TS, Demyanova-Roy GB. [Effect of preparations with different spectrum of action on the yield of mini-tubers of Ariel and Sadon potato varieties in protected ground conditions]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2024; Vol.19. 2. 228-238 p.
12. Regions of Russia. Social and economic indicators. [Internet]. Russian statistic service. [cited 2025, February 18]. Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2024/.
13. GOST 33996-2016 Kartofel semennoy. Tekhnicheskie usloviya i metody opredeleniya kachestva [Seed potatoes. Specifications and methods for determining quality]. Moscow: Standartinform. 2017; 33 p.
14. Smirnov AN, Prihodko ES, Smirnova OG. [Some retrospective and modern phytopathological challenges for potato growing]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022; Vol.36. 2. 20-26 p.

Author:

Isaeva Lyubov Mikhaylovna - senior researcher, Department of Economics and Accounting, e-mail: kniish.dir@mail.ru
Kostroma Research Institute of Agriculture - Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorch", Kostroma, Russia.

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИИ НА НАКОПЛЕНИЕ
СУХОГО ВЕЩЕСТВА РАСТЕНИЯМИ ГРЕЧИХИ
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ****Л. Р. Климова, Ф. З. Кадырова, Г. И. Иматуллина**

Реферат. Исследования проводили в 2018–2023 годах в Республике Татарстан с целью определения закономерностей синтетических процессов у генотипов гречихи, созданных на основе фасциированных форм (К-990) и сорта Батыр, в критические периоды формирования урожая (цветение и плодообразование) в условиях различной гидротермической обеспеченности, для выявления перспективного селекционного материала. Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая с содержанием гумуса (по Тюрину) 3,2...4,4%, калия и фосфора (по Кирсанову) 110...123 и 145...377 мг/кг соответственно, pH солевой вытяжки 5,3...6,6. Оценку сухой биомассы органов растений проводили в фазы цветения и плодообразования. Массив данных был разделён по годам на два блока: засушливые (гидротермический коэффициент (ГТК) периодов цветения и плодообразования $\leq 0,8$) и благоприятные ($\text{ГТК} \geq 0,9$). В фазе цветения биомасса стебля фасциированного генотипа была меньше, чем у сорта Батыр, на 36 %, а в фазе плодообразования – выше на 31,6%, преимущественно из-за утолщения и развития стебля, а не его длины. В засушливые годы прирост массы плодоземелетов с фазы цветения до фазы плодообразования у фасциированного генотипа был в 2 раза больше, чем у сорта Батыр. В благоприятных условиях складывалась обратная ситуация у сорта Батыр прирост был в 1,5 раза выше, чем у К-990. Отмечена тесная корреляция накопления сухой биомассы плодоземелетов со среднесуточной температурой воздуха в фазе бутонизации ($r = +0,75$) и с суммой осадков в фазе плодообразования (у К-990 $r = +0,98$, у Батыр $r = +0,94$). Особенности биосинтеза в органах фасциированной формы К-990 в разные по гидротермическим условиям годы свидетельствуют о ее теплолюбивости и засухоустойчивости.

Ключевые слова: гречиха (*Fagopyrum esculentum* M.), сорт, гидротермические условия, динамика накопления сухого вещества, корреляция.

Введение. В связи с растущим спросом на гречиху как источника полноценного питания в последние годы активно изучаются особенности роста и развития гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* M.) – культуры, наиболее требовательной к режиму водоснабжения в различных агроклиматических условиях [1, 2, 3].

В условиях абиотического стресса, вызванного высокими среднесуточными температурами, гречиха демонстрирует более эффективное использование водных ресурсов, что обеспечивает выживание растений в условиях засухи [4, 5]. Дневные температуры выше 27°C оказывают негативное воздействие на репродуктивные органы растения гречихи, вызывая остановку эмбрионального развития плодов [6, 7]. Исследования, проведенные на Балканах, показали зависимость высоты растений и урожайности культуры от количества осадков в вегетационный период [8]. Чешские исследователи отметили влияние гидротермических условий в фазе цветения и завязывания семян на формирование эндосперма и околоплодника; экстремально высокие температуры и дефицит влаги могут привести к прекращению развития плодов [9]. В Японии выявлена положительная корреляция вегетативного роста и количества цветков с температурой воздуха и отрицательная – количества оплодотворённых цветков с регулярностью осадков [10]. Также приводят данные о снижении вариабельности морфологических признаков гречихи при увеличении влажности в период вегетации [11].

Республика Татарстан характеризуется

как нестабильная зона для возделывания гречихи из-за частых весенних и весенне-летних засух и резких перепадов температур в критические для формирования урожая периоды. В связи с этим, в Татарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства уделялось внимание повышению адаптивного потенциала популяций диплоидной гречихи [12, 13]. Формирование нового генофонда, особенно в условиях меняющегося климата, требует детального изучения адаптивного потенциала по наиболее критическим периодам роста и развития растений.

Цель исследования – установление закономерностей синтетических процессов у генотипов гречихи в критические периоды формирования урожая (цветение и плодообразование) в условиях различной гидротермической обеспеченности для выявления перспективного селекционного материала.

Условия, материалы и методы. Работу проводили в Лаишевском муниципальном районе Республики Татарстан в 2018–2023 годах. Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая. Содержание в пахотном слое гумуса (по Тюрину) составляло 3,2...4,4 %, подвижных форм калия и фосфора (по Кирсанову) – 110...123 мг/кг и 145...377 мг/кг соответственно. Кислотность почвенного раствора в солевой вытяжке – 5,3...6,6 ед. pH. Предшественник – озимая рожь, озимая пшеница.

Посев проводили селекционной сеялкой рядовым способом с нормой высева 2,0 млн всхожих семян на 1 га при наступлении теплой антициклональной погоды и прогревании

почвы на глубину заделки семян до 10°C. Технология обработки почвы и ухода за посевами соответствовала общепринятой для Республики Татарстан [14].

Объектами исследования служили сорт Батыр (сортотип «Краснострелецкий») и гибридная популяция К-990, сформированная на основе форм с фасциями стебля и генеративной зоны.

В течении всего периода вегетации гречихи обыкновенной оптимальный диапазон для роста и развития растений среднесуточных температур для Республики Татарстан лежит в пределах +18...+20°C (рис. 1) [15]. В фазе бутонизации, когда происходит формирование вегетативных узлов и побегов среднесуточная температура находилась в оптимальном диапазоне в 2018 году (+18,2°C) и в 2020 году (+18,3°C). В остальные годы среднесуточная температура в фазе бутонизации была вне оптимального диапазона среднесуточных температур. Так, в 2019 год среднесуточная температура в фазе бутонизации достигала +20,5°C,

что на 0,5°C выше верхней границы оптимального значения. В 2021, 2022 и 2023 годах среднесуточная температура воздуха в фазе бутонизации была ниже нижнего значения оптимального значения на 1,4°C, 1,2°C и 2,7°C соответственно.

Наиболее важен температурный режим в фазе цветения и плодообразования. В фазе цветения среднесуточная температура была в оптимальных пределах в 2019 году (+19,3°C), в 2021 году (+19,4°C) и 2023 году (+18,7°C). Среднесуточная температура была выше верхней границы оптимального значения в 2018 году на 1,3°C и в 2022 году на 3,5°C.

В фазе плодообразования среднесуточная температура ни в одном из анализируемых годов не находилась в оптимальном диапазоне. Так наиболее неблагоприятными были 2021 и 2022 года, когда превышение критического значения дневных температур для генеративных органов гречихи + 25°C составило +5,3°C и +3,2°C соответственно.

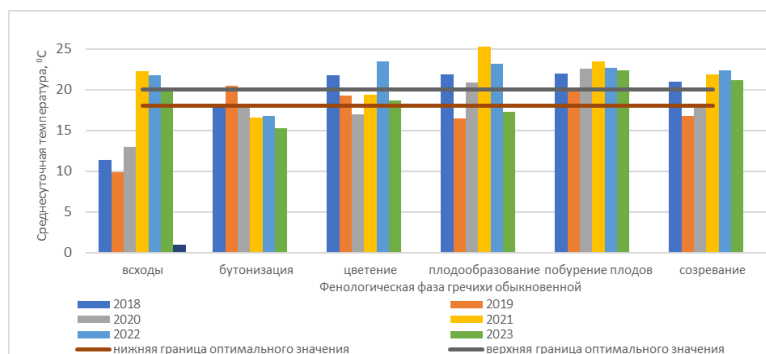


Рис. 1 – Среднесуточная температура за годы проведения исследования, °C

В критически важные для формирования продуктивности периоды (бутонизация, цветение и плодообразование)

количество выпавших осадков было ниже оптимального значения во все годы исследования (рис. 2).

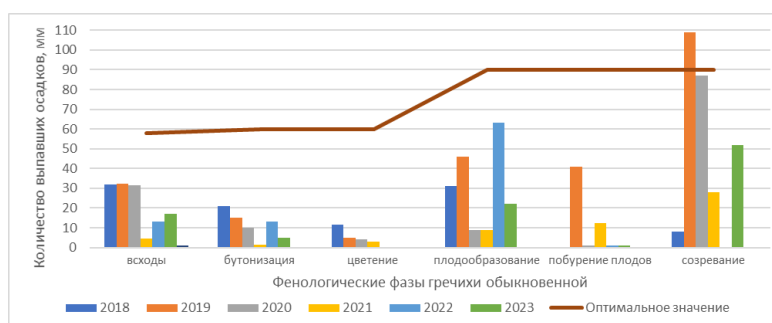


Рис. 2 – Количество выпавших осадков за годы проведения исследования, мм

В фазе бутонизации количество осадков в процентах от средней многолетней нормы (60 мм) составило: в 2018 году – 35%, в 2019 году – 25%, в 2020 году – 16,7%, в 2021 году – 2,5%, в 2022 году – 2,7%, в 2023 году – 8,3%. В фазе цветения доля выпавших осадков от нормы составила: в 2018 году – 19,2%, в 2019 году – 8%, в 2020 году – 6,7%, в 2021 году – 5%. В 2022 и 2023 годах осадки в фазе цветения не отмечали. В фазе плодоношения

наибольшее количество осадков выпало в 2022 году – 63 мм, что на 27 мм ниже оптимального значения.

Анализ гидротермических условий в годы исследования свидетельствует о том, что за прошедшие шесть лет рост и развитие растений гречихи обыкновенной в условиях Среднего Поволжья проходили в условиях высоких среднесуточных температур и при дефиците осадков. По совокупности

гидротермических условий годы исследований были условно дифференцированы на благоприятные (2019, 2020 и 2022 года) со значениями гидротермических коэффициентов 1,46; 0,92; и 1,26 соответственно. К числу засушливых, не благоприятных для роста и развития гречихи, мы отнесли 2018, 2021, 2023 годы с ГТК 0,62; 0,29; 0,79.

Для определения сухой биомассы растений отбирали по 10 типичных растений в трехкратной повторности в период завершения вегетативного роста (массовое цветение) и массового плодообразования. Накопление сухого вещества определяли отдельно, для стеблей, листьев и плодоеlementов путем высушивания в сушильном шкафу образцов до абсолютно сухой массы при температуре 105°C.

Полученные в ходе исследований данные были обработаны с помощью пакета программ, входящих в состав Microsoft Excel (дисперсионный анализ, корреляционный анализ по Пирсону).

Результаты и обсуждение. В годы с неблагоприятными гидротермическими условиями в фазе цветения сорт Батыр интенсивнее накапливал органическую массу стебля, листьев и плодоеlementов, по сравнению с популяцией К-990. У популяции К-990, состоящей в основном из фасцированных растений, накопление сухой органической массы в тот же период в стеблях, листьях и плодах было на 26,6%, 29,6% и 38,1% меньше соответственно, по сравнению с сортом Батыр (рис. 3).

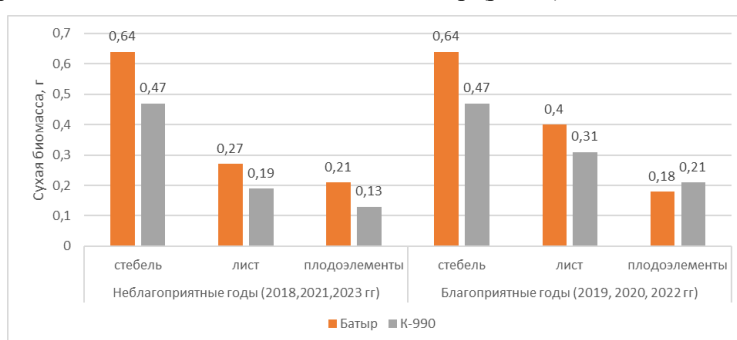


Рис. 3 – Сухая биомасса органов растений гречихи в фазе цветения, г (для сорта Батыр НСР₀₅ (листья)=0,02 г, НСР₀₅ (плодоеlementы)=0,02 г; для сортообразца К-990 НСР₀₅ (листья)=0,06 г, НСР₀₅ (плодоеlementы)=0,04 г)

Масса стеблей обоих сортов в этой фазе в среднем находилась на одном уровне как в благоприятные, так и в неблагоприятные годы, не подвергаясь действию негативных факторов. Так средняя масса стебля сорта Батыр в фазе цветения в благоприятные и неблагоприятные годы составила 0,64 г, а масса стебля растений популяции К-990 соответственно – 0,47 г.

В благоприятные по гидротермическому режиму годы у сорта Батыр в фазе цветения наблюдали увеличение массы листьев относительно того же периода в засушливые годы на 42%, но массы плодоеlementов при обилии тепла и влаги накапливалось меньше на 9,5%.

У фасцированного сортотипа в аналогичных условиях зафиксировано увеличение массы листьев по сравнению с периодом цветения в неблагоприятные годы на 40,0% и массы плодоеlementов на 38,1%. Таким образом, доля плодоеlementов в общей биомассе растения в фазе цветения в благоприятные годы у фасцированного сортотипа превышала аналогичный показатель сорта Батыр на 6,4%, что свидетельствует о преобладании у фасцированной формы накопления массы генеративных органов в общей массе растения, в то время как у сорта Батыр доминировала доля вегетативных органов (табл. 1).

Таблица 1 – Распределение элементов пластики в растениях сортов гречихи по периодам вегетации

Вариант	Цветение				Плодообразование			
	средняя сухая мас- са расте- ния, г	доля сухой массы органа в целом растении,%			средняя сухая мас- са расте- ния, г	доля сухой массы органа в целом растении,%		
		стебель	лист	плоды		стебель	лист	плоды
В среднем по неблагоприятным годам (2018,2021,2023 года)								
Батыр	1,12	57,1	24,1	18,8	1,63	41,1	17,2	41,7
К-990	0,79	59,5	24,1	16,5	2,05	47,8	12,2	40,0
В среднем по благоприятным годам (2019, 2020, 2022 года)								
Батыр	1,22	52,5	32,8	14,8	2,57	26,1	22,2	51,8
К-990	0,99	47,5	31,3	21,2	2,44	40,2	16,4	43,4
НСР ₀₅	0.08	-	-	-	0.25	-	-	-

В благоприятных условиях фазы цветения у сорта Батыр формирование соцветий сопровождалось продолжением вегетативного роста и образованием новых метамеров, что способствовало перераспределению питательных элементов в пользу вегетативных органов. В то же время у генотипа К-990, характеризующегося генетической детерминированностью роста и ветвления, отмечали интенсификацию накопления сухого вещества в генеративных органах.

В фазе плодообразования рост стеблей у сорта Батыр отставал от сортотипа К-990 на 31,6% как в засушливые, так и в умеренные по гидротермическому режиму годы (рис. 4). Накопление органической массы в стеблях, очевидно, генетически детерминировано, и этот процесс протекает более интенсивно у сортов с проявлением стеблевых фасциаций. При этом доля массы стебля оставалась стабильной у обоих сортов в различных гидротермических условиях как во время цветения,

так и во время плодоношения.

У популяции К-990 отмечали увеличение синтеза органической массы стебля в обеих группах лет на 47,9% с периода цветения до массового плодообразования. Таким образом, у фасцированного генотипа до цветения в связи с редукцией роста и ветвления отмечали замедленное накопление сухого вещества в стеблях, а к фазе плодообразования происходило усиление прироста органической массы в стеблях, причем не из-за увеличения высоты растений и закладки новых метамеров, а главным образом благодаря утолщению и выполненности стебля, согласно полученным нами ранее данным [12]. В засушливые годы доля стебля в общей биомассе фасцированного генотипа составляла 47,8%, в то время как у сорта Батыр этот показатель был равен 41,1%. В благоприятные по гидротермическому режиму годы доля стебля у фасцированного генотипа снижалась до 40,2% от общей биомассы, у сортотипа К-990 до 26,1%.

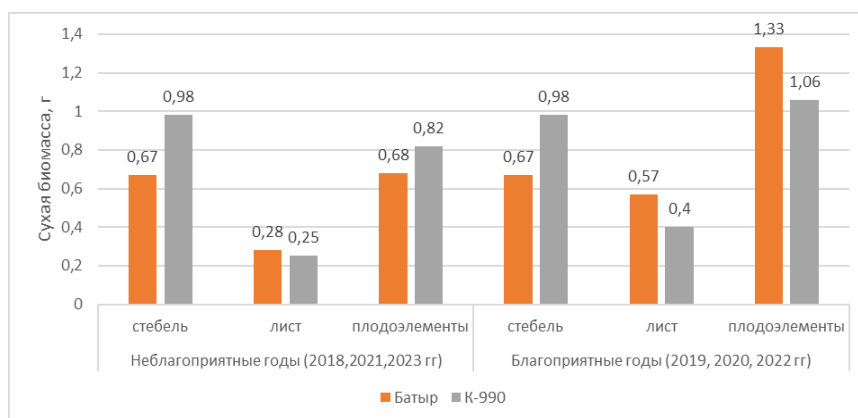


Рис. 4 – Сухая биомасса органов растений сортов гречихи в фазе плодообразования, г (для сорта Батыр HCP_{05} (листья)=0,15 г, HCP_{05} (плодоэлементы)=0,34 г; для сортотипа К-990 HCP_{05} (листья)=0,09 г, HCP_{05} (плодоэлементы)=0,13 г)

У сорта Батыр в неблагоприятные годы прирост листьев с момента цветения до фазы плодообразования составил лишь 0,01 г, а в благоприятных условиях накопление листовых массы за тот же промежуток времени составил 0,17 г/растение. Генотип К-990 сохранял темпы прироста массы листьев, как в засушливые годы (+24%), так и в благоприятные годы (+22,5%).

У изучаемых сортов в фазе цветения в листьях накапливалась равная доля от общей биомассы растений. С переходом к фазе плодообразования у сортов количество биомассы листьев от общей доли снизилось. При этом у популяции К-990 доля листьев относительно общей массы растений уступало сорту Батыр на 5% в засушливые, и на 6% в годы с обилием тепла и влаги.

В этой фазе основная доля ассимилятов накапливалась уже в плодах. Так, в неблагоприятные годы у сорта Батыр в фазе цветения доля плодах в общей массе растения составила 18,8%, в благоприятные –

14,8%. У генотипа К-990 в засушливые годы доля плодах, наоборот, была выше и достигала 21,2%, а в неблагоприятные составляла только 16,5%. В благоприятные годы отток ассимилятов в репродуктивную сферу растений был активнее, причем у сорта Батыр сильнее, чем у фасцированного генотипа, на 8,4%, или 0,27 г.

Прирост массы плодах с момента цветения до фазы плодообразования в засушливые годы у сорта Батыр составил 3,2 раза, у популяции К-990 – 6,3 раза. В годы с благоприятным гидротермическим режимом интенсивность накопления сухого вещества в репродуктивной зоне растений сорта Батыр была выше и составила 7,3 раза, по сравнению с фазой цветения. Нередуцированное ветвление, сочетающееся с закладкой большого количества побегов и соцветий, способствовало увеличению массы плодах. У фасцированного сортотипа К-990 с ограниченным побегообразованием количество соцветий с бутонами, цветками и молодой завязью

увеличилось с момента начала цветения всего в 5,0 раз.

В связи с проведенным анализом представляет интерес изучения взаимосвязи синтетических процессов в органах растений сортов с гидротермическими условиями периодов вегетации. С этой целью нами проведен корреляционный анализ сухой биомассы в органах растений со среднесуточной температурой и количеством

осадков (табл. 2).

По нашим данным признак «масса плодозлементов» высоко и отрицательно коррелирует со среднесуточной температурой воздуха в фазе плодобразования у сорта Батыр ($r=-0,92$) и популяции К-990 ($r=-0,82$). Также, высока зависимость массы плодозлементов от количества выпавших осадков в фазе плодобразования как у сорта Батыр ($r=+0,94$), так и популяции К-990 ($r=+0,98$).

Таблица 2 – Влияние гидротермических факторов на формирование массы органов растений сортов гречихи (2018–2023 года)¹

Гидротермический фактор	Период развития растений	Коэффициент корреляции с признаками*		
		масса стебля	масса ли- стьев	масса плодэле- ментов
Батыр				
Среднесуточная тем- пература воздуха	бутонизация	-	-	+0,75*
	плодообразование	-	-	-0,92*
Количество осадков	плодообразование	-	-	+0,94**
К-990				
Среднесуточная тем- пература воздуха	бутонизация	+0,89**	+0,96**	0,76**
	цветение	-0,86*	-	-0,71 *
	плодообразование	-0,92**	-0,93**	-0,82*
Количество осадков	плодообразование	+0,94**	-	+0,98*

¹ в таблице приведены только значимые корреляции; *коэффициент корреляции значим на 5% уровне; **коэффициент корреляции значим на 1% уровне

Влияние гидротермических условий на накопление сухого вещества в стебле и листьях сорта Батыр было незначительным. Однако у популяции К-990 была выявлена сильная корреляция между массой стебля и среднесуточной температурой воздуха в фазе бутонизации (+0,89), в фазе цветения (-0,86) и в фазе плодобразования (-0,92). Также была выявлена сильная взаимосвязь между массой листьев и среднесуточной температурой в фазе бутонизации (+0,96) и в фазе плодобразования (-0,93). Сухая биомасса стебля у популяции К-990 имела сильную положительную взаимосвязь с количеством осадков в фазе плодобразования (+0,94). Совокупность полученных данных о синтетических процессах и корреляционных связях с гидротермическими факторами характеризует популяцию К-990 как теплолюбивый на ранних этапах развития, не жаростойкий, но засухоустойчивый генотип в период генеративного развития, что указывает на перспективность использования фасцированных форм в селекции сортов этого направления.

Выводы. Накопление органической массы стебля генетически детерминировано и более

интенсивно протекает у сортов с проявлением стеблевых фасциаций. В фазе цветения биомасса стебля фасцированного генотипа на 36% меньше, чем у не фасцированного. Однако к фазе плодобразования ситуация меняется на противоположную и его превосходство достигает 31,6%, преимущественно благодаря утолщению и развитию стебля.

В засушливые годы прирост массы плодозлементов с фазы цветения до фазы плодобразования у фасцированного генотипа был в 2 раза больше, чем у сорта Батыр. В благоприятных условиях складывалась обратная ситуация у сорта Батыр прирост был в 1,5 раза выше, чем у К-990.

Установлена тесная корреляция накопления сухой биомассы плодозлементов со среднесуточной температурой воздуха в фазе бутонизации ($r = +0,75$) и с суммой осадков в фазе плодобразования ($r = +0,98$ у К-990, $r = +0,94$ у Батыра).

Особенности биосинтеза в органах растений популяции К-990 в годы с различным гидротермическим режимом характеризуют ее как теплолюбивый и засухоустойчивый генотип.

Литература

1. Cheng A. Shaping a sustainable food future by rediscovering long-forgotten ancient grains // Plant Science. 2018. Vol. 269. P. 136–142.
2. Ainsworth E. A., Long S. P. 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? // Global change biology. 2021. Vol. 27. No 1. P. 27–49.
3. Martínez-Goñi X. S., Miranda-Apodaca J., Pérez-López U. Could buckwheat and spelt be alternatives to wheat under future environmental conditions? Study of their physiological response to drought // Agricultural Water Management. 2023. Vol. 278. Article 108176. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423000410> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.agwat.2023.108176.
4. Generating plants with improved water use efficiency / Blankenagel S., Yang, Z., Avramova, V. et al. //

Agronomy. 2018. Vol. 8. No. 9. Article 194. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/194> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.3390/agronomy8090194.

5. Martínez-Goñi X. S., Miranda-Apodaca J., Pérez-López U. Enhanced photosynthesis, transpiration regulation, water use-efficiency and growth in buckwheat outperforms wheat response to high [CO₂], high temperature and drought // *Environmental and Experimental Botany*. 2024. Vol. 222. Article 105756. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009884722400114X> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.envexpbot.2024.105756.

6. Effects of High Temperature on Embryological Development and Hormone Profile in Flowers and Leaves of Common Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) / A. Plažek, A. Slomka, P. Kopeć, et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20. No. 7. Article 1705. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/7/1705> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.3390/ijms20071705.

7. Comparison of high temperature resistance in two buckwheat species *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum* / L. Aubert, D. Konrádová, S. Kebbas, et al. // *Journal of Plant Physiology*. 2020. No. 251. Article 153222. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161720301127> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.jplph.2020.153222.

8. Maletić R., Jevdjović R. The influence of meteorological conditions on major quantitative and qualitative traits of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) // *Journal of Agricultural Sciences*. 2003. Vol. 48. No. 1. P. 11–19.

9. Kalinová J., Moudrý J., Čurn V. Technological quality of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) // *Rostlinna výroba*. 2002. Vol. 48. No. 6. P. 279–284.

10. Preliminary study for modeling seed production in common buckwheat / N. Inoue, M. Hagiwara, H. Y. Kim, et al. // *Fagopyrum*. 1998. No. 15. P. 35–41.

11. Romanovskaja D., Razukas A., Asakaviciute R. Impact of hydrothermal conditions on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) productivity // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2016. Vol. 14. No. 2. P. 137–150.

12. Эффективность использования новых морфобиотипов гречихи в селекции для засушливых условий среднего Поволжья / Ф. З. Кадырова, Л. Р. Климова, Г. И. Иматуллина и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 12–17. doi: 10.12737/2073-0462-2024-12-17.

13. Климова Л. Р., Кадырова Ф. З. Продуктивность и адаптивная способность генотипов гречихи обыкновенной в условиях Предкамья Республики Татарстан // *Достижения и перспективы развития АПК России: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной памяти Р.Г. Гареева*, Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. С. 68–71. doi: 10.37071/conferencearticle_658173349173d4.55466049.

14. Агротехнологии полевых кормовых культур / М. Ф. Амиров, И. Р. Валеев, А. Р. Валиев и др. // Система земледелия Республики Татарстан: В 3-х частях. Том Часть 2. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2014. С. 251–280.

15. Петелина, Савинова Г. В., Шакурова Ф. З. К вопросу о влиянии максимальной температуры воздуха на плодоношение гречихи / Орел: НТБ ВНИИЗБК, 1972. Вып. III. С. 7–13.

Сведения об авторах:

Климова Лилия Рафкатовна – младший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции крупяных культур, e-mail: li21@mail.ru

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение «Федерального исследовательского центра «Казанского научного центра Российской академии наук», Казань, Россия

Кадырова Фануся Загитовна - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: fanusa51@rambler.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Иматуллина Гульназ Илфатовна – младший научный сотрудник лаборатории селекции крупяных культур, e-mail: morozisummer@gmail.com

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение «Федерального исследовательского центра «Казанского научного центра Российской академии наук», Казань, Россия

INFLUENCE OF HYDROTHERMAL CONDITIONS OF VEGETATION ON DRY MATTER ACCUMULATION BY BUCKWHEAT PLANTS IN THE MIDDLE VOLGA REGION

L. R. Klimova, F. Z. Kadyrova, G. I. Imatullina

Abstract. The studies were conducted in 2018–2023 in the Republic of Tatarstan to determine the patterns of synthetic processes in buckwheat genotypes created on the basis of fasciated forms (K-990) and Batyr variety, during critical periods of crop formation (flowering and fruiting) under conditions of varying hydrothermal availability, to identify promising breeding material. The soil of the experimental plot was grey forest medium loamy with a humus content (according to Tyurin) of 3.2...4.4%, potassium and phosphorus (according to Kirsanov) of 110...123 and 145...377 mg/kg, respectively, and a salt extract pH of 5.3...6.6. The dry biomass of plant organs was assessed during the flowering and fruiting phases. The data set was divided by year into two blocks: dry (hydrothermal coefficient (HTC) of the flowering and fruiting periods ≤ 0.8) and favorable (HTC ≥ 0.9). In the flowering phase, the stem biomass of the fasciated genotype was 36% less than that of Batyr variety, and in the fruiting phase, it was 31.6% higher, mainly due to the thickening and development of the stem, rather than its length. In dry years, the increase in the mass of fruit elements from the flowering phase to the fruit formation phase in the fasciated genotype was 2 times greater than in Batyr variety. In favorable conditions, the opposite situation developed: in Batyr variety, the increase was 1.5 times higher than in K-990. A close correlation was noted between the accumulation of dry biomass of fruit elements with the average daily air temperature in the budding phase ($r = +0.75$) and with the amount of precipitation in the fruit formation phase (in K-990, $r = +0.98$, in Batyr, $r = +0.94$). The features of biosynthesis in the organs of the fasciated form of K-990 in years with different hydrothermal conditions indicate its thermophilicity and drought resistance.

Key words: buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.), variety, hydrothermal conditions, dynamics of dry matter

accumulation, correlation.

References

1. Cheng A. Shaping a sustainable food future by rediscovering long-forgotten ancient grains. *Plant Science*. 2018; Vol.269. 136-142 p.
2. Ainsworth EA, Long SP. 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? *Global change biology*. 2021; Vol.27. No.1. 27-49 p.
3. Martinez-Goni XS, Miranda-Apodaca J, Perez-Lopez U. Could buckwheat and spelt be alternatives to wheat under future environmental conditions? Study of their physiological response to drought. [Internet]. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 278. Article 108176. [cited 2025, April 01]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423000410>. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108176.
4. Blankenagel S, Yang Z, Avramova V. Generating plants with improved water use efficiency. [Internet]. *Agronomy*. 2018; Vol.8. No.9. Article 194. [cited 2025, April 01]. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/194>. doi: 10.3390/agronomy8090194.
5. Martinez-Goni XS, Miranda-Apodaca J, Perez-Lopez U. Enhanced photosynthesis, transpiration regulation, water use-efficiency and growth in buckwheat outperforms wheat response to high [CO₂], high temperature and drought. [Internet]. *Environmental and Experimental Botany*. 2024; Vol.222. Article 105756. [cited 2025, April 01]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009884722400114X>. doi: 10.1016/j.envexpbot.2024.105756.
6. Plazek A, Słomka A, Kopec P. Effects of high temperature on embryological development and hormone profile in flowers and leaves of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*). [Internet]. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; Vol.20. No.7. Article 1705. [cited 2025, April 01]. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/7/1705>. doi: 10.3390/ijms20071705.
7. Aubert L, Konradova D, Kebbas S. Comparison of high temperature resistance in two buckwheat species *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum*. [Internet]. *Journal of Plant Physiology*. 2020; No.251. Article 153222. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161720301127>. doi: 10.1016/j.jplph.2020.153222.
8. Maletic R, Jevdjovic R. The influence of meteorological conditions on major quantitative and qualitative traits of buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*). *Journal of Agricultural Sciences*. 2003; Vol.48. No.1. 11-19 p.
9. Kalinova J, Moudry J, Curn V. Technological quality of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*). *Rostlinna vyroba*. 2002; Vol.48. No.6. 279-284 p.
10. Inoue N, Hagiwara M, Kim HY. Preliminary study for modeling seed production in common buckwheat. *Fagopyrum*. 1998; No.15. 35-41 p.
11. Romanovskaja D, Razukas A, Asakaviciute R. Impact of hydrothermal conditions on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*.) productivity. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2016; Vol.14. No.2. 137-150 p.
12. Kadyrova FZ, Klimova LR, Imatullina GI. [Efficiency of using new buckwheat morphobiotypes in breeding for arid conditions of middle Volga region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 2 (74). 12-17 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-12-17.
13. Klimova LR, Kadyrova FZ. [Productivity and adaptive capacity of common buckwheat genotypes in the conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan. Achievements and prospects for the development of the agro-industrial complex of Russia]. *Dostizheniya i perspektivy razvitiya APK Rossii: Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati R.G.Gareeva*, Kazan: Akademiya nauk Respubliki Tatarstan. 2023; 68-71 p. doi: 10.37071/conferencearticle_658173349173d4.55466049.
14. Amirov MF, Valeev IR, Valiev AR. Agrotekhnologii polevykh kormovykh kultur. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan*. [Agrotechnologies of field forage crops. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan*]. V 3-kh chastyakh. Tom Chast 2. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2014; 251-280 p.
15. Petelina, Savinova GV, Shakurova FZ. K voprosu o vliyaniy maksimalnoy temperatury vozdukh na plodonoshenie grechikhi. [On the influence of maximum air temperature on buckwheat fruiting]. *Orel: NTB VNIIZBK*. 1972; Issue III. 7-13 p.

Authors:

Klimova Liliya Rafkatovna – Junior Researcher, Head of Cereal Crops Selection Laboratory, e-mail: li21@mail.ru
 Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural division of Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia
 Kadyrova Fanusya Zagitovna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of General Agriculture, Plant Protection and Selection Department, e-mail: fanusa51@rambler.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
 Imatullina Gulnaz Ilfatovna – Junior Researcher of Cereal Crops Selection Laboratory, e-mail: morozisummer@gmail.com
 Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural division of Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕНТОЗАНОВ ОЗИМОЙ РЖИ
В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ ЗЕРНА

М. Л. Пономарева, Г. С. Маннапова, С. Н. Пономарев, Д. Д. Сайфутдинова

Реферат. Исследование проводили в 2018–2019 годах в Республике Татарстан с целью оценки динамики накопления общих и водорастворимых пентозанов (ВРП) на разных этапах формирования зерна для разработки методов селекции ржи с заданным уровнем этих полисахаридов. Материалом для исследования служили шесть сортов озимой ржи (Татарская 1, Радонь, Памяти Кунакбаева, Подарок, Огонек, Марусенька). Пробы зерна отбирали в фазы молочной, восковой, полной и физиологической (через 10 дней после уборки) зрелости. Из средней части колоса каждого сорта выделяли по 600 зерен, разделяя морфолого-гистологическим методом на зародыш, эндосперм и оболочки для последующего анализа пентозанов. Моносахаридный состав определяли методом высокоэффективной ионнообменной хроматографии, содержание общих и водорастворимых пентозанов — орцин-хлоридным методом, вязкость водного экстракта — на синусоидальном вискозиметре. Содержание олиго- и полисахаридов в водных экстрактах ржаного шрота составляло 52...74% от общего количества экстрагированных углеводов. Количество ксилоры у сортов Татарская 1, Радонь и Памяти Кунакбаева находилось на уровне 14...16 мг/мл, Огонек, Подарок и Марусенька — 9...11 мг/мл. Вязкость экстрактов коррелировала с уровнем ВРП ($r=0,972$ и $r=0,615$ в 2018 и 2019 годах). Доля арабиноксиланов в оболочках зерна возрастала с молочной (34,3%) до физиологической спелости (39,8%). Исследование выявило значимые сортовые различия в накоплении пентозанов и их пространственно-временную динамику в зерне. Уровень общих пентозанов в эндосперме снижался с 7% (молочная спелость) до 4,3% (физиологическая спелость), в зародыше — с 14,5% (восковая спелость) до 13,5% (физиологическая спелость). В оболочках содержание ВРП уменьшалось с молочной до полной спелости (с 5,04% до 3,15%), но возрастало до 3,9% к физиологической зрелости. Пик концентрации ВРП в эндосперме и зародыше наблюдали в полную спелость (соответственно 4,8% и 2,6%), после чего снижался к физиологической зрелости.

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), водорастворимые пентозаны, арабиноксиланы, вязкость водного экстракта, фаза развития зерновки.

Введение. Арабиноксиланы (АК) — главные нецеллюлозные полисахариды, относящиеся к структурным компонентам клеточных стенок крахмального эндосперма и алейронового слоя злаковых культур [1]. Их часто называют пентозанами, поскольку они состоят из пентоз — арабинозы и ксилоры [2, 3]. В то же время, некоторые ученые рассматривают пентозаны как более широкий термин для обозначения полисахаридов, состоящих преимущественно из пятиуглеродных сахаров, а арабиноксиланы — специфический тип пентозанов [4, 5], состоящий преимущественно из арабинозы и ксилоры, или даже отождествляют водорастворимые пентозаны с арабиноксиланами [6, 7].

В российской научной литературе используют оба термина [8]. Независимо от терминологии, арабиноксиланы (или пентозаны) считают ключевым компонентом зерна, определяющим его технологические характеристики и ценность как сырья, а также служат важным источником пищевых волокон, особенно в ржаной муке.

В рамках проекта HEALTHGRAIN [9] была установлена более высокая концентрация АК в озимой ржи (*Secale cereale* L.), по сравнению с пшеницей, которая варьирует от 3,11% до 4,31% сухого вещества в ржаной муке. Эти полисахариды определяют технологические свойства зерна, его ценность как сырья и служат важным источником пищевых волокон [10].

Растущий интерес к арабиноксиланам обусловлен их ролью в модуляции иммунной системы. Они нормализуют уровень глюкозы и снижают концентрацию триглицеридов и холестерина в крови, улучшают кишечную микробиоту [11].

В связи с этим разработка селекционных программ для озимой ржи ориентирована на создание сортов, соответствующих современным требованиям к качеству и функциональности. Повышение эффективности производства ржаного хлеба предполагает выведение высокоурожайных сортов с высоким содержанием арабиноксиланов и сбалансированной структурой зерна. Использование ржи в качестве корма для животных предполагает снижение содержания пентозанов, особенно их водорастворимой фракции. Таким образом, углубленное изучение процессов накопления этих биополимеров в зерне озимой ржи приобретает особую актуальность в контексте разностороннего назначения сортов.

Арабиноксиланы характеризуются структурной неоднородностью, определяющей их способность связывать воду и формировать гелеподобные структуры [12, 13]. Гетерогенность молекул АК обусловлена наличием замещающих молекул арабинозы, а также боковыми олигомерными цепями [14].

Для зерна пшеницы арабиноксиланы играют ключевую роль в регуляции процессов гидратации как в процессе развития, так и после десикации. Увеличение толщины

клеточных стенок наружных слоев эндосперма коррелирует с повышением содержания арабиноксиланов, что снижает внутреннее поглощение и внешнюю диффузию воды [14, 15]. Исследования выявили наличие арабиноксиланов на ранних этапах дифференциации клеток эндосперма в созревающем зерне пшеницы, их количество увеличивалось по мере развития [16]. Активный синтез арабиноксиланов в зерне пшеницы происходил до 28-го дня развития и завершался к 42-му дню роста [17]. Для озимой ржи анализ содержания пентозанов в различные фазы созревания зерна не проводили, что делает эти исследования актуальными.

Цель исследования – оценка динамики накопления пентозанов в процессе формирования зерна для разработки методов селекции ржи с заданным уровнем этих полисахаридов.

Условия, материалы и методы. Исследование проводили в 2018–2019 годах в питомнике конкурсного сортоиспытания озимой ржи Татарского научно-исследовательского института сельского хозяйства Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук» (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН) (Республика Татарстан). Образцы зерна отбирали в 4 фенологические фазы по мере созревания зерна: на 19...21 сутки после

цветения (молочная спелость), на 39...40 сутки после цветения (восковая спелость), на 44...46 сутки после цветения (полная спелость) и на 59...60 сутки после цветения (физиологическая спелость, через 10 дней после уборки урожая). Пробы зерна в фазе физиологической зрелости использовали также для оценки моносахаридного состава. Эти фенологические фазы соответствовали стадиям 77, 87 и 91, 99 шкалы ВВСН, принятой для развития зерновых культур [18].

Продолжительность исследуемых фенологических фаз и метеорологические условия во время роста озимой ржи (в частности, температура и осадки) отличались в разные годы (табл. 1). Эти различия влияли на развитие зерновки на разных стадиях. В 2018 году фазы восковой и полной спелости проходили в условиях крайнего дефицита влаги или полного отсутствия осадков. В 2019 году период молочной спелости совпал с избытком влаги (56 мм) и был на шесть суток продолжительнее, но последующий период формирования зерна проходил в условиях засухи (ГТК=0,49) и был аналогичен по продолжительности 2018 году. Кроме того, температурный режим всех фаз налива и созревания зерна во второй год исследований оказался ниже на 2,1...6,0°C, по сравнению с показателями первого года эксперимента.

Таблица 1 – Характеристика метеопараметров по фазам налива и созревания зерна

Фаза налива и созревания зерна	Продолжительность фазы, сут.		Среднесуточная температура за период, °C		Осадки за период, мм		ГТК за период	
	2018 год	2019 год	2018 год	2019 год	2018 год	2019 год	2018 год	2019 год
Молочная	11...12	17...18	22,7	16,7	10	56	0,40	1,96
Молочно-восковая	7	7	22,3	19,9	28	17	1,79	1,21
Восковая	9...10	8...10	22,3	20,2	0	8	0	0,49
Полная	4	4	20,6	16,4	0	11	0	1,68

Объектом исследования послужили шесть сортов озимой ржи – Татарская 1, Радонь, Подарок и Огонёк (селекции ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН), Марусенька (селекции Научно-исследовательского института сельского хозяйства Юго-Востока) и Памяти Кунакбаева (селекции Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства Уфимского Федерального исследовательского центра РАН). Для получения ржаного шрота (степень извлечения 96...98%) среднюю пробу зерна каждого сорта (300 г) размалывали на лабораторной мельнице Laboratory mill 3100 (Perten Instruments, Швеция).

Определение моносахаридного состава проводили методом высокоэффективной ионообменной хроматографии с использованием системы DX-500 (Dionex, США) и электрохимического детектора (модель ED 40, Dionex, США) в режиме пульс-амперометрии.

Для анализа состава мономерных углеводов в водорастворимой фракции проводили хроматографический анализ супернатанта без предварительного этапа гидролиза. Гликозидные связи полимерных углеводов разрушали часовым гидролизом в 2М трифторуксусной кислоте при 120°C. Полученные моносахариды анализировали с помощью хроматографии. Содержание отдельных моносахаридов определяли по предварительно построенным калибровочным кривым с помощью программного обеспечения PeakNet.

Для оценки динамики содержания пентозанов отбирали по 600 зёрен одинакового размера из средней части колоса каждого сорта на каждой фазе формирования и развития зерна. Зерна разделялись на зародыш, эндосперм и оболочки анатомо-гистологическим методом, после чего фиксировали в пробирках эппендорф в жидком азоте и хранили при -80 °C.

Методики отбора проб, разделения зерен и анализа содержания общего количества и экстрагируемой водой фракции арабиноксиланов (микрометод Hashimoto et al. (1987) [19] в модификации Delcour et al. (1995) [20]) подробно изложены в предыдущей публикации [21]. Метод предполагает кислотный гидролиз водного экстракта ржи с последующим колориметрическим определением продуктов реакции с орцином моногидратом. Длительность замачивания, необходимого для последующей разделения оболочек и эндосперма, варьировала в зависимости от стадии зрелости зерна: 4...5 ч для стадии восковой спелости и 34...36 ч для стадий полной и физиологической спелости. Зерно в стадии молочной спелости не требовало предварительного замачивания ввиду его высокой влажности. При этом доля зародыша в зерновке на данной стадии составляет около 1%, что препятствует его выделению морфолого-гистологическими методами. Перед определением общего содержания пентозанов (ОП) и водорастворимой фракции пентозанов (ВРП) морфологические части зерновки высушивали до постоянной влажности.

Анализ вязкости водного экстракта (ВВЭ) проводили на образцах, приготовленных по методике Boros с соавторами [22] при температуре 30°C. Водно-мучную суспензию получали путём смешивания ржаного шрота с дистиллированной водой в соотношении 1:5 с последующим встряхиванием в течение 1 ч и центрифугированием при $10\,000 \times g$ в течение 10 мин. Динамическую вязкость супернатанта измеряли с помощью синусоидального вибрационного вискозиметра Vibro Viscometer SV-1A (A&D, Япония). Анализ проводили в автоматизированном режиме при температуре 30°C в трехкратной повторности

для повышения точности измерений. Значения динамической вязкости регистрировали в миллипаскалях на секунду (мПа×с).

Для проведения статистического анализа результатов применяли программное обеспечение AGROS версии 2.13 и пакет Excel 7.0. Для определения значимости различий между сортами по анализируемым признакам использовали однофакторный дисперсионный анализ, дополненный попарными межгрупповыми сравнениями с использованием теста Дункана ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение. В водных экстрактах ржаного шрота были идентифицированы олиго- и полисахариды (23...40 мг/мл), представленные ксилозой, глюкозой, арабинозой и галактозой, доля которых составила 52...74% от общего количества экстрагированных углеводов. Водная экстракция приводила к высвобождению крахмала, смешанно-связанных глюканов и арабиноксиланов. При гидролизе поли- и олигосахаридов разрушаются гликозидные связи с отщеплением моносахаридов, которые могут также образовываться благодаря ферментативной активности экзоферментов зерна ржи.

В водных экстрактах сортов ржи Огонек, Подарок и Марусенька содержалось 9...11 мг ксилозы на 1 мл экстракта, в то время как у сортов Татарская 1, Радонь и Памяти Кунакбаева 14...16 мг ксилозы на мл экстракта (рис. 1). У сорта Татарская 1 отмечено наибольшее содержание арабинозы (4,7 мг/мл пробы), что на 45% выше, чем у сорта Марусенька. Содержание галактозы варьировало от 0,9 мг/мл (Подарок, Марусенька) до 1,4 мг/мл (Памяти Кунакбаева). Содержание глюкозы в водном экстракте сорта Татарская 1 достигало 18,3 мг/мл, что в 2 раза выше, чем у сорта Подарок.

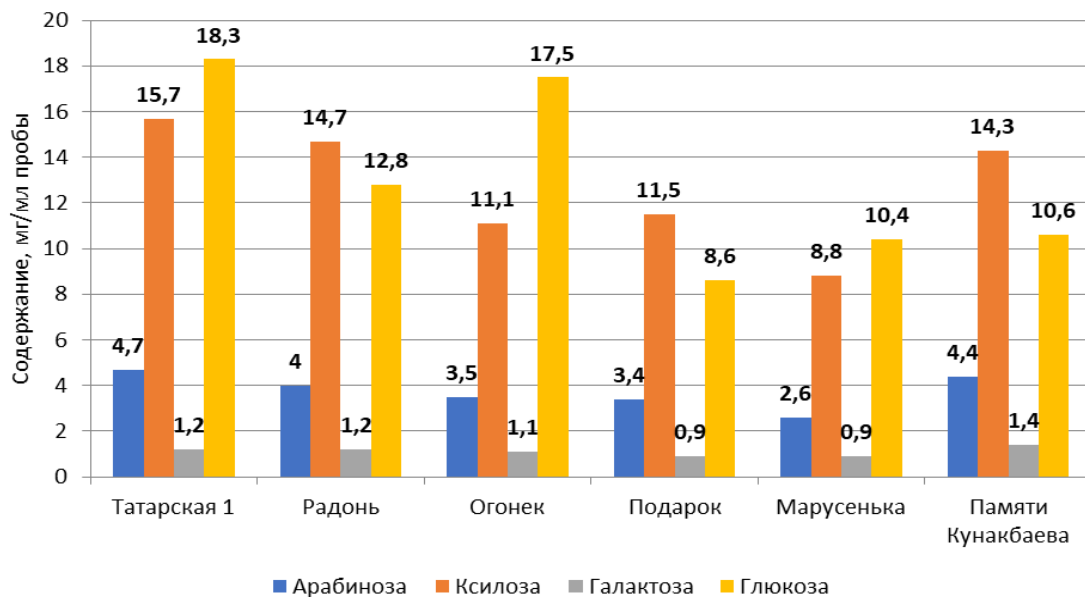


Рис. 1 – Состав олиго- и полисахаридных фрагментов углеводов водных экстрактов шрота различных сортов ржи (среднее за 2018–2019 годы; $НСП_{05}$ для арабинозы – 0,4 мг/мл пробы, ксилозы – 2,1 мг/мл пробы, галактозы – 0,2 мг/мл пробы, глюкоза – 1,8 мг/мл пробы)

Соотношение арабинозы к ксилозе, традиционно применяемое для оценки степени замещения в молекулах арабиноксиланов, для водных экстрактов ржаного шрота находилось на уровне 0,3. Таким образом, из каждых 10 остатков ксилозы в молекулярной структуре лишь 3 могут быть замещены арабинозой. Наличие заместителей, таких как галактоза и глюкоза, а также разветвленная пространственная структура молекулы углеводов способствует увеличению гидрофильности и способности арабиноксиланов связывать воду. На микроуровне данное явление можно объяснить включением воды в микроструктуру зерновки. Эта структура формируется биополимерами, представленными белками и крахмалом, что обеспечивает функциональные свойства и повышает водосвязывающую способность пентозанов.

Сорта Татарская 1 и Памяти Кунакбаева

продемонстрировали наивысшие показатели вязкости водного экстракта (ВВЭ) в 2018 и 2019 годах соответственно (39,2 и 44,9 мПа×с). Сорт Марусенька, напротив, характеризовался самой низкой вязкостью в оба года (9,6 и 11,0 мПа×с). В среднем, Татарская 1 показала самую высокую вязкость за годы исследования (36,4 мПа×с), значительно превосходя Марусеньку (в 3,5 раза). Подобную картину наблюдали и с водорастворимой фракцией пентозанов: наибольшее содержание ВРП отмечено у Татарской 1 в 2018 году (2,10%) и у Памяти Кунакбаева в 2019 году (3,95%, среднее 2,88%). Сорта Память Кунакбаева и Марусенька показали значительные колебания ВРП между годами (разница в 2,2 и 2,4 раза соответственно). Наименьшие величины ВРП были зафиксированы у сорта Марусенька в 2018 году (1,22%) и у сорта Подарок в 2019 году (2,01%) (табл. 2).

Таблица 2 – Динамическая вязкость водного экстракта ржаного шрота (ВВЭ, мПа×с) и содержание водорастворимой фракции пентозанов (ВРП, %) в физиологической спелости у сортов озимой ржи*

Сорт	2018 год		2019 год		Среднее	
	ВВЭ	ВРП	ВВЭ	ВРП	ВВЭ	ВРП
Татарская 1	39,2 ^e	2,10 ^d	33,7 ^d	3,47 ^b	36,4	2,78
Радонь	34,9 ^d	2,03 ^{cd}	24,9 ^c	3,23 ^{ab}	29,9	2,63
Памяти Кунакбаева	23,7 ^c	1,82 ^b	44,9 ^e	3,95 ^{cd}	34,3	2,88
Подарок	18,0 ^b	1,63 ^b	23,3 ^{bc}	2,71 ^a	20,6	2,17
Огонек	17,5 ^b	1,57 ^b	20,8 ^b	2,90 ^a	19,1	2,23
Марусенька	9,6 ^a	1,22 ^a	11,0 ^a	3,07 ^{ab}	10,3	2,14
F _{факт} (F _{теор.} =4,39)	635,35	38,83	267,69	57,96		
Коэффициент корреляции Пирсона между ВВЭ и ВРП (r _{крит.} =0,811)	0,972		0,615			

*в каждом столбце средние значения, отмеченные одинаковыми буквами, статистически значимо не различаются согласно тесту Дункана при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Наблюдали сортовую специфику в стабильности показателей вязкости водного экстракта (ВВЭ). Так, сорт Марусенька демонстрирует низкое значение ВВЭ в 2018 и 2019 годах, тогда как другие исследуемые сорта отличаются более выраженной изменчивостью. Например, вязкость экстракта у сорта Памяти Кунакбаева значительно колебалась в течение двух лет, увеличившись почти вдвое: от 23,7 мПа×с в 2018 году до 44,9 мПа×с в 2019 году.

В 2018 году была установлена высокая положительная корреляция между вязкостью водного экстракта (ВВЭ) и содержанием водорастворимой фракции пентозанов (ВРП) ($r=0,972^*$, $r_{крит.}=0,811$, $p<0,05$), что указывает на значимую взаимосвязь между этими характеристиками в условиях засушливого периода формирования зерна. Снижение коэффициента корреляции в 2019 году ($r=0,615 < r_{крит.}=0,811$, $p<0,05$.) позволяет предположить, что повышенная влажность в период налива зерна повлияла на взаимосвязь этих показателей. Работа [20] польских авторов стала первым

упоминанием о корреляции между концентрацией водорастворимых пентозанов и вязкостью водного экстракта зернового шрота.

Результаты дисперсионного анализа, проведенного с использованием теста Дункана ($p<0,05$), указывают на наличие статистически значимых различий между сортами по показателю вязкости в оба года исследований. Так, в 2018 году практически все сорта, за исключением Огонька и Подарка, демонстрировали существенные различия по ВВЭ (табл. 2). Наиболее контрастной парой стали сорта Татарская 1 и Марусенька, имеющие достоверные различия в содержании водорастворимых пентозанов (2,1 и 1,22% соответственно). В 2019 году наблюдали схожую картину с различиями по вязкости водного экстракта. Также были выявлены значимые различия по содержанию ВРП у сортов Татарская 1 и Огонек (3,47 и 2,90% соответственно).

Таким образом, три сорта (Татарская 1, Радонь и Памяти Кунакбаева) характеризуются высоким содержанием пентозанов (2,63...2,88%) и высокой вязкостью водных

экстрактов (29,9...36,4 мПа×с) (табл. 2). Зерно этих высокопентозановых сортов представляет практическую ценность, поскольку может использоваться как водоудерживающий агент, текстуратор и связующий компонент при разработке хлебобулочных изделий. В отличие от них, сорта Огонёк, Подарок и Марусенька отличались низким содержанием водозэкстрагируемых пентозанов (1,82...2,23%) и формировали экстракты с меньшей вязкостью (10,3...20,6 мПа×с). Хотя ВВЭ и ВРП тесно связаны, вязкость водных экстрактов демонстрировала более высокую вариабельность, по сравнению с содержанием водорастворимых пентозанов, определенным с использованием орцинол-хлоридного метода. В связи с этим, при селекционной оценке сортов, содержание ВВЭ представляется более информативным критерием, обеспечивающим лучшую дифференциацию генотипов.

Зерно озимой ржи, подобно другим злакам, морфологически делится на оболочки, крахмалистый эндосперм и зародыш, включающий алейроновый слой и щиток. Наши исследования показали, что в начале фазы налива зерна максимальное содержание общих пентозанов наблюдали в зародыше (14,5%) в восковую спелость и в эндосперме (7,0%) в молочную спелость. В фазе полной спелости их количество снижалось до 12,9% и 4,0% соответственно. В работе Кобылянского с соавторами [15] выявлено, что в алейроновом слое сконцентрированы пентозаны, играющие ключевую роль в процессе прорастания. В ходе набухания зерна происходит их гидролиз с образованием моносахаридов, которые затем участвуют в развитии зародыша.

В процессе созревания зерна, от молочной

до физиологической спелости, наблюдается увеличение концентрации общих пентозанов в его оболочках (с 34,3% до 39,8%) (рис. 2). Это объясняется тем, что пентозаны служат строительным материалом для формирования клеточных стенок и поддержания жизнеспособности зерновки. Тем не менее, существует мнение, что функциональность общих пентозанов выходит за пределы простого участия в строительстве клеточных стенок. Эти пентозаны, согласно литературным данным, играют ключевую роль в адаптации зерна к засушливым условиям, их содержание возрастает при дефиците влаги [23]. Однако исследования, касающиеся связи между пентозанами и динамикой движения воды внутри зерновки озимой ржи, на данный момент отсутствуют [10]. Следовательно, для селекции засухоустойчивых сортов озимой ржи с низким содержанием пентозанов отбор следует вести в направлении увеличения количества пентозанов в оболочках зерновки.

Анализ данных с использованием критерия Дункана выявил статистически значимые различия между сортами в фазы молочной и полной спелости ($p < 0,05$). В фазы восковой и физиологической спелости статистически значимых различий не установлено. Оболочки зерна содержат наибольшее количество общих арабиноксиланов (34,30...39,8%), тогда как в эндосперме их уровень был наименьшим (4,0...5,7%). Арабиноксиланы клеточной стенки ржи выполняют важные биологические функции, возможно, их большое содержание именно в оболочках ржи объясняет высокую устойчивость этой культуры к стрессовым факторам абиотической и биотической природы.

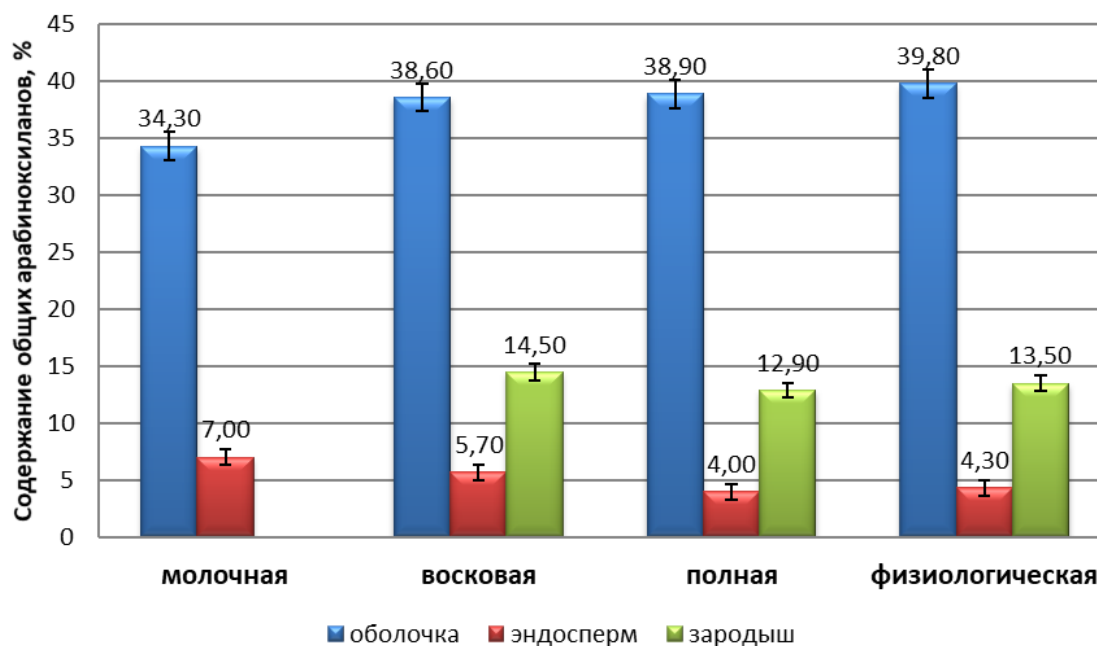


Рис. 2 – Содержание общих пентозанов в 6 сортах озимой ржи по фазам развития зерновки (среднее значение за 2018–2019 годы; $НСП_{05}$ для различий между фазами развития зерновки в оболочке – 3,5%, в эндосперме – 1,3%, в зародыше различия не достоверны), %

В периферийных частях зерновки в молочную спелость накопилось 5,04% ВРП (рис. 3). Затем их количество снижалось за счет диффундирования в другие части зерна и биохимических преобразований до стадии полной спелости и немного увеличивается при достижении физиологического созревания (3,99%). Содержание водорастворимых пентозанов в эндосперме на стадии молочной спелости было на 1,58% ниже, чем в оболочках зерна

на той же стадии развития. В процессе созревания наблюдали увеличение концентрации этих пентозанов в эндосперме: от 4,16% в восковой спелости до максимального значения 4,80% в фазе полной зрелости, с последующим незначительным снижением до 4,73% в физиологическую спелость. В зародыше изменения ВРП шли иначе: 1,26%→2,64%→1,36% в восковую, полную и физиологическую спелость, соответственно.

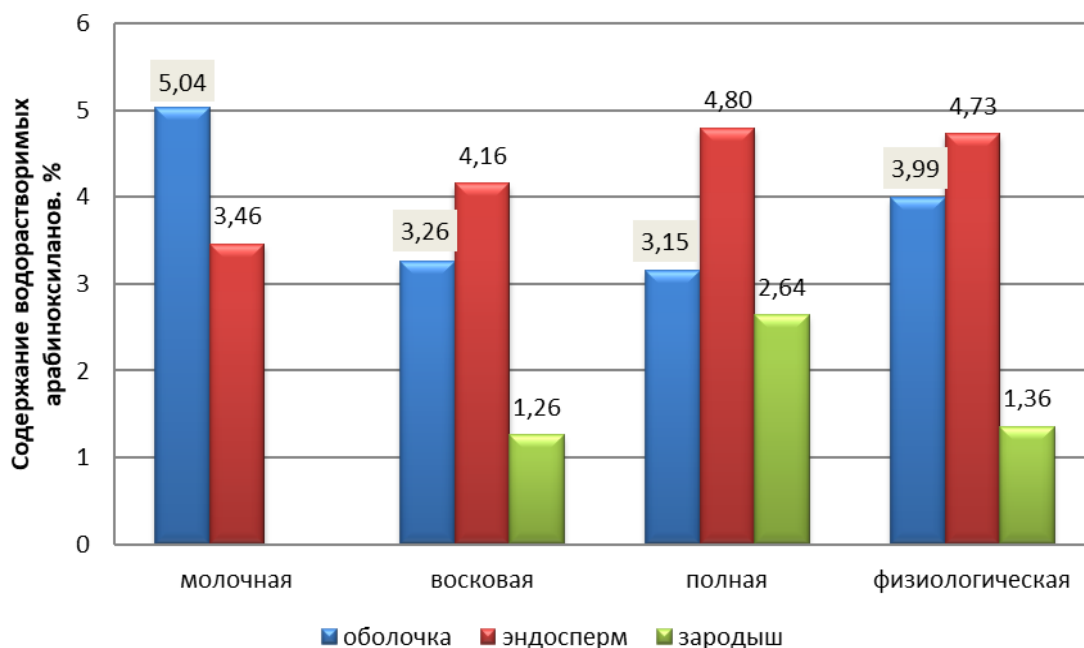


Рис. 3 – Содержание водорастворимых арабиноксиланов в 6 сортах озимой ржи по фазам развития зерновки (среднее значение за 2018–2019 годы; $HSP_{0,5}$ для различий между фазами развития зерновки в оболочке зерна – 1,04%, в эндосперме – 0,58%, в зародыше – 0,47%), %

В сухом зерне (влажность менее 14%) ферменты, присутствующие в эндосперме и зародыше, находясь в связанном или неактивном состоянии [24]. Благодаря этому, содержание ВРП остается стабильным при длительном хранении.

Согласно литературным данным снижение уровня арабиноксиланов в зерне озимой ржи может быть обусловлено несколькими факторами: поздним началом синтеза арабиноксиланов в эндосперме и оболочках зерна, меньшей степенью замещения арабиноксиланов (что снижает их растворимость), а также более низким содержанием крупных углеводов, что может быть связано с особенностями их синтеза или активностью ферментов, участвующих в мобилизации запасных веществ зерна [25]. Уменьшение же содержания пентозанов в зерне ржи может быть связано с мутациями в генах гликозилтрансфераз семейств GT8, GT43, GT47 и GT75 [7]. В связи с этим, секвенирование этих генов у сортов ржи с контрастным содержанием пентозанов, таких как Татарская 1 и Марусенька, представляет значительный научный интерес.

Выводы. В водных экстрактах ржаного шрота идентифицированы олиго- и

полимерные углеводы (ксилоза, глюкоза, арабиноза, галактоза), доля которых составляет 52...74% от общего количества экстрагируемых углеводов. Сорта ржи различаются по содержанию ксилозы. У Татарской 1, Радони и Памяти Кунакбаева оно выше (14...16 мг/мл), чем у сортов Огонёк, Подарок и Марусенька (9...11 мг/мл).

Вязкость экстрактов варьирует в зависимости от сорта и года, при этом между величиной этого показателя и содержанием водорастворимых пентозанов существует высокая корреляция (в 2018 году – $r=0,972$, в 2019 году – $r=0,615$). Наибольшая вязкость отмечена у экстракта шрота сорта Татарская 1 (39,2 мПа×с в 2018 году), наименьшая (9,6 мПа×с) – сорта Марусенька.

Установлены различия в содержании общих и водорастворимых пентозанов в процессе налива и созревания зерна, а также пространственная неоднородность их распределения в зерне. Наибольшей долей арабиноксиланов характеризуются оболочки зерна, при этом она возрастала с молочной спелости (34,3%) до физиологической (39,8%). Содержание общих пентозанов в эндосперме снижалось с 7% (молочная спелость) до 4,3%

(физиологическая спелость), в зародыше – с 14,5% (восковая спелость) до 13,5% (физиологическая спелость). Количество водорастворимых пентозанов в оболочках уменьшалось с 5,04% в молочную спелость до 3,15% к полной спелости, а затем в физиологическую спелость увеличивалось до 3,9%. Максимум в эндосперме и зародыше (4,8% и 2,6%) концентрация водорастворимых пентозанов достигает в фазе полной спелости, после чего незначительно снижается ко времени достижения физиологической

зрелости на 0,07% и 1,28% соответственно.

В процессе созревания у озимой ржи происходит перераспределение пентозанов в клеточные стенки и межклеточное пространство оболочек и алейронового слоя, что обеспечивает защиту зерна от неблагоприятных факторов окружающей среды.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР №125031003428-9 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Литература

1. Izydorczyk M. S. Arabinoxylans / Handbook of hydrocolloids. Cambridge: Woodhead Publishing, 2021. P. 399–461. doi: 10.1016/B978-0-12-820104-6.00016-4.
2. Arabinoxylans / A. Shah, F. A. Masoodi, A. Gani, et al. // Food biopolymers: Structural, functional and nutraceutical properties. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2021. P. 173–186. doi: 10.1007/978-3-303-27061-2.
3. Адаптивность сортов озимой ржи по реологическим свойствам суспензии шрота / Т. Я. Ермолаева, Н. Н. Нуждина, Д. В. Говердов, и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 27–32. doi: 10.31857/S2500262721040062.
4. Анализ нуклеотидных последовательностей гена гликозилтрансферазы GT47 у сортов ржи, различающихся по содержанию водорастворимых пентозанов в зерне / Е. А. Заикина, Р. Р. Каюмова, А. Р. Кулуев и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184. № 2. С. 112–119. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-112-119.
5. Arabinoxylans as functional food ingredients: A review / E. Zannini, A. Bravo Nunez, A. W. Sahin, et al. Foods // 2022. Vol. 11. No. 7. Article 1026. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/7/1026>. (дата обращения: 7.04.2025). doi: 10.3390/foods11071026.
6. Tse T., Schendel R. R. Cereal grain arabinoxylans: Processing effects and structural changes during food and beverage fermentations // Fermentation. 2023. Vol. 9. No. 10. Article 914. URL: <https://www.mdpi.com/2311-5637/9/10/914>. (дата обращения: 7.04.2025) doi: 10.3390/fermentation9100914.
7. Ибрагимов З. А., Кулуев Б. Р. Молекулярные основы пищевых и кормовых качеств зерна ржи (*Secale cereale*) // Биомик. 2020. Т. 12 (1). С. 8–26. doi: 10.31301/2221-6197.bmc.2020-2.
8. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Никонорова И. М. Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 2. С. 123–130. doi: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
9. The HEALTHGRAIN cereal diversity screen: concept, results, and prospects / J. L. Ward, K. Poutanen, K. Gebruers, et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56. No. 21. P. 9699–9709.
10. Piro M. C., Muylle H., Haesaert G. Exploiting Rye in Wheat Quality Breeding: The Case of Arabinoxylan Content // Plants. 2023. Vol. 12. Article 737. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/4/737>. (дата обращения: 7.04.2025). doi: 10.3390/plants12040737.
11. Research techniques for the quality of wholemeal rye flour/ M. L. Ponomareva, S. N. Ponomarev, G. S. Manparova, et al. // Russian Agricultural Sciences. 2022. Т. 48. № 5. P. 334–343. doi:10.3103/S106836742205007X.
12. Влияние водорастворимых пентозанов на хлебопекарные свойства озимой ржи / Е. Н. Шаболкина, А. А. Бишарев, Н. В. Анисимкина и др. // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1. С. 49–51. doi: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-49-51.
13. Cereal-derived water-unextractable arabinoxylans: Structure feature, effects on baking products and human health/ M. Huang, J. Bai, D. G. Buccato et al. // Foods. 2024. Vol. 13. No. 15. Article 2369. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/15/2369/notes> (дата обращения: 30.07.2024). doi: 10.3390/foods13152369.
14. Role of Aleurone Cell Walls in Water Diffusion and Distribution within Cereal Grains / R. Ying, T. Li, C. Wu, et al. // J. Cereal Sci. 2020. Vol. 93. Article 102952. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521019308197>. (дата обращения: 7.04.2025). doi: 10.1016/j.jcs.2020.102952.
15. Prospects of Using Low-Pentosan Grain Fodder Rye for Baking Purposes/ V. D. Kobylansky, L. I. Kuznetsova, O. V. Solodukhina, et al. // Russian Agricultural Sciences. 2019. Vol. 45. P. 1–4. URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068367419010063#citeas> (дата обращения: 7.04.2025). doi: 10.3103/S1068367419010063.
16. Saulnier L. Types and Functionality of Polysaccharides in Cereal Grains / Cereal Grain-based Functional Foods. Special Collection: 2018 ebook collection 2018. P. 54–84. URL: <https://books.rsc.org/books/edited-volume/750/chapter-abstract/467680/Types-and-Functionality-of-Polysaccharides-in?redirectedFrom=fulltext>. (дата обращения: 7.04.2025). doi: 10.1039/9781788012799-00054.
17. Developing new types of wheat with enhanced health benefits / P. R. Shewry, G. Charmet, G. Branlard, et al. // Trends in Food Science & Technology. 2012. Vol. 25. No. 2. P. 70–77. doi: 10.1016/j.tifs.2012.01.003.
18. Ефремова Т. Т., Чуманова Е. В. Стадии роста и развития пшеницы и их значение в формировании элементов продуктивности // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 9 № 2. С. 54–80. doi: 10.18699/LettersVJ-2023-9-09.
19. Hashimoto S., Shogren M. D., Pomeranz Y. Cereal pentosans: their estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products // Cereal Chem. 1987. Vol. 64. No 1. P. 30–34.
20. Enzymes in production of functional food ingredients – the arabinoxylan case / J. A. Delcour, W. F. Broekaert, C. M. Courtin, et al. // The Science of Gluten-Free Foods and Beverages / ed. by E. K. Arendt, F. dal Bello. Grand Rapids: AACC Int. Inc, 2009. P. 129–140.

21. Вариабельность содержания арабиноксиланов в анатомических частях зерновки озимой ржи в период созревания зерна / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Л. Ф. Гильмуллина и др. // Аграрный научный журнал. 2024. №. 9. С. 49–57. doi: 10.28983/asj.y2024i9pp49-57.
22. D. Boros, R. R. Marquardt, B. A. Slominski, et al. Extract viscosity as an indirect assay for water-soluble pentosans content in rye // Cereal Chem. 1993. Vol. 70. P. 575–580.
23. Фенотипическая оценка содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Л. Ф. Гильмуллина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т.29. № 11. С. 32–35.
24. Гамзаева Р. С. Влияние фиторегуляторов эпин и циркон на амилолитическую активность и содержание редуцирующих сахаров в прорастающих зёрнах пивоваренного ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. №. 44. С. 27–32.
25. Identification of genes involved in the formation of soluble dietary fiber in winter rye grain and their expression in cultivars with different viscosities of whole meal water extract / L. V. Kozlova, A. R. Nazipova, O. V. Gorshkov, et al. // The Crop Journal. 2022. Vol. 10. No. 2. P. 532–549. doi: 10.1016/j.cj.2021.05.008.

Сведения об авторах:

Пономарева Мира Леонидовна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: smponomarev@yandex.ru
 Маннапова Гульназ Сулеймановна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: mgs1980@mail.ru
 Пономарев Сергей Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, e-mail: s.ponomarev2020@yandex.ru
 Сайфутдинова Дия Данисовна – научный сотрудник, e-mail: sayfut2009@gmail.com
 Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение «Федерального исследовательского центра «Казанского научного центра Российской академии наук», Казань, Россия

DYNAMICS OF WINTER RYE PENTOSAN FORMATION DURING GRAIN MATURATION

M. L. Ponomareva, G. S. Mannapova, S. N. Ponomarev, D. D. Sayfutdinova

Abstract. The study was conducted in 2018-2019 in the Republic of Tatarstan to assess the dynamics of total and water-soluble pentosans accumulation at different stages of grain formation to develop methods for breeding rye with a given level of these polysaccharides. The material for the study was six varieties of winter rye (Tatarskaya 1, Radon, Pamyati Kunakbaeva, Podarok, Ogonek, Marusenka). Grain samples were collected at the milk, wax, full and physiological (10 days after harvesting) maturity phases. From the middle part of the ear of each variety, 600 grains were isolated, separated by the morphological and histological method into the embryo, endosperm and shells for subsequent analysis of pentosans. The monosaccharide composition was determined by the method of high-performance anion exchange chromatography, the content of total and water-soluble pentosans - by the orcinol chloride method, the viscosity of the aqueous extract - on a sinusoidal viscometer. The content of oligo- and polysaccharides in aqueous extracts of rye meal was 52 ... 74% of the total amount of extracted carbohydrates. The amount of xylose in the varieties Tatarskaya 1, Radon and Pamyati Kunakbaeva was at the level of 14 ... 16 mg/ml, Ogonek, Podarok and Marusenka - 9 ... 11 mg/ml. The viscosity of the extracts correlated with the level of water-soluble pentosans ($r = 0.972$ and $r = 0.615$ in 2018 and 2019). The share of arabinoxylans in grain hulls increased from milk (34.3%) to physiological maturity (39.8%). The study revealed significant varietal differences in the accumulation of pentosans and their spatiotemporal dynamics in grain. The level of total pentosans in the endosperm decreased from 7% (milk ripeness) to 4.3% (physiological maturity), in the embryo - from 14.5% (wax ripeness) to 13.5% (physiological maturity). In the hulls, the water-soluble pentosans content decreased from milk to full maturity (from 5.04% to 3.15%), but increased to 3.9% by physiological maturity. The peak concentration of water-soluble pentosans in the endosperm and embryo was observed at full ripeness (4.8% and 2.6%, respectively), after which it decreased towards physiological maturity.

Key words: winter rye (*Secale cereale* L.), water-soluble pentosans, arabinoxylans, viscosity of aqueous extract, phase of grain development.

References

1. Izydorczyk MS. Arabinoxylans. Handbook of hydrocolloids. Cambridge: Woodhead Publishing. 2021; 399-461 p. doi: 10.1016/B978-0-12-820104-6.00016-4.
2. Shah A, Masoodi FA, Gani A. Arabinoxylans. Food biopolymers: structural, functional and nutraceutical properties. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2021; 173-186 p. doi: 10.1007/978-3-303-27061-2.
3. Ermolaeva TYa, Nuzhdina NN, Goverdov DV. [Adaptability of winter rye varieties by rheological properties of meal suspension]. Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. 2021; 4. 27-32 p. doi: 10.31857/S2500262721040062.
4. Zaikina EA, Kayumova RR, Kuluev AR. [Analysis of nucleotide sequences of GT47 glycosyltransferase gene in rye varieties differing in the content of water-soluble pentosans in grain]. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2023; Vol.184. 2. 112-119 p. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-112-119.
5. Zannini E, Bravo Nunez A, Sahin AW. Arabinoxylans as functional food ingredients: a review. [Internet]. Foods. 2022; Vol.11. No.7. Article 1026. [cited 2025, April 7]. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/7/1026>. doi: 10.3390/foods11071026.
6. Tse T, Schendel RR. Cereal grain arabinoxylans: Processing effects and structural changes during food and beverage fermentations. [Internet]. Fermentation. 2023; Vol.9. No.10. Article 914. [cited 2025, April 7]. Available from: <https://www.mdpi.com/2311-5637/9/10/914>. doi: 10.3390/fermentation9100914.
7. Ibragimova ZA, Kuluev BR. [Molecular basis of food and feed qualities of rye grain (*Secale cereale*)]. Biomika. 2020; Vol.12 (1). 8-26 p. doi: 10.31301/2221-6197.bmc.2020-2.
8. Kobylanskiy VD, Solodukhina OV, Nikonorova IM. [Morphological features of low-pentosan rye grain]. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2021; Vol.182. 2. 123-130 p. doi: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
9. Ward JL, Poutanen K, Gebruers K. The HEALTHGRAIN cereal diversity screen: concept, results, and prospects. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008; Vol.56. No.21. 9699-9709 p.
10. Piro MC, Muylle H, Haesaert G. Exploiting rye in wheat quality breeding: the case of arabinoxylan content. [Internet]. Plants. 2023; Vol.12. Article 737. [cited 2025, April 7]. Available from: <https://www.mdpi.com/2223->

7747/12/4/737. doi: 10.3390/plants12040737.

11. Ponomareva ML, Ponomarev SN, Mannapova GS. Research techniques for the quality of wholemeal rye flour. *Russian Agricultural Sciences*. 2022; Vol.48. 5. 334-343 p. doi:10.3103/S106836742205007X.

12. Shabolkina EN, Bisharev AA, Anisimkina NV. [The effect of water-soluble pentosans on the baking properties of winter rye]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2019; 1. 49-51 p. doi: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-49-51.

13. Huang M, Bai J, Buccato DG. Cereal-derived water-unextractable arabinoxylans: Structure feature, effects on baking products and human health. [Internet]. *Foods*. 2024; Vol.13. No.15. Article 2369. [cited 2024, July 30]. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/15/2369/notes>. doi: 10.3390/foods13152369.

14. Ying R, Li T, Wu C. Role of aleurone cell walls in water diffusion and distribution within cereal grains. [Internet]. *J. Cereal Sci*. 2020; Vol.93. Article 102952. [cited 2025, April 7]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521019308197>. doi: 10.1016/j.jcs.2020.102952.

15. Kobylyansky VD, Kuznetsova LI, Solodukhina OV. Prospects of using low-pentosan grain fodder rye for baking purposes. [Internet]. *Russian Agricultural Sciences*. 2019; Vol.45. 1-4 p. [cited 2025, April 7]. Available from: <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068367419010063#citeas>. doi: 10.3103/S1068367419010063.

16. Saulnier L. Types and functionality of polysaccharides in cereal grains. *Cereal grain-based functional foods*. [Internet]. Special collection: 2018 ebook collection 2018; 54-84 p. [cited 2025, April 7]. Available from: <https://books.rsc.org/books/edited-volume/750/chapter-abstract/467680/Types-and-Functionality-of-Polysaccharides-in?redirectedFrom=fulltext>. doi: 10.1039/9781788012799-00054.

17. Shewry PR, Charmet G, Branlard G. Developing new types of wheat with enhanced health benefits. *Trends in Food Science & Technology*. 2012; Vol.25. No.2. 70-77 p. doi: 10.1016/j.tifs.2012.01.003.

18. Efremova TT, Chumanova EV. [Stages of wheat growth and development and their importance in the formation of productivity elements]. *Pisma v Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2023; Vol.9. 2. 54-80 p. doi: 10.18699/LettersVJ-2023-9-09.

19. Hashimoto S, Shogren MD, Pomeranz Y. Cereal pentosans: their estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chem*. 1987; Vol.64. No.1. 30-34 p.

20. Delcour JA, Broekaert WF, Courtin CM. Enzymes in production of functional food ingredients – the arabinoxylan case. *The Science of Gluten-Free Foods and Beverages*. Edited by E.K. Arendt, F. dal Bello. Grand Rapids: AACC Int. Inc. 2009; 129-140 p.

21. Ponomareva ML, Ponomarev SN, Gilmullina LF. [Variability of arabinoxylan content in anatomical parts of winter rye grain during grain ripening]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2024; 9. 49-57 p. doi: 10.28983/asj.y2024i9pp49-57.

22. Boros D, Marquardt RR, Slominski BA. Extract viscosity as an indirect assay for water-soluble pentosans content in rye. *Cereal Chem*. 1993; Vol.70. 575-580 p.

23. Ponomareva ML, Ponomarev SN, Gilmullina LF. [Phenotypic assessment of pentosan content in rye meal by determining the viscosity of aqueous extract]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2015; Vol.29. 11. 32-35 p.

24. Gamzaeva RS. [Effect of phyto regulators epin and zircon on amylolytic activity and content of reducing sugars in germinating grains of malting barley]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; 44. 27-32 p.

25. Kozlova LV, Nazipova AR, Gorshkov OV. Identification of genes involved in the formation of soluble dietary fiber in winter rye grain and their expression in cultivars with different viscosities of whole meal water extract. *The Crop Journal*. 2022; Vol.10. No.2. 532-549 p. doi: 10.1016/j.cj.2021.05.008.

Authors:

Ponomareva Mira Leonidovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Research fellow, e-mail: smponomarev@yandex.ru

Mannapova Gulnaz Suleymanovna – PhD in Agricultural Sciences, leading research fellow, e-mail: mgs1980@mail.ru.

Ponomarev Sergey Nikolaevich – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Research fellow, e-mail: s.ponomarev2020@yandex.ru

Sayfutdinova Dilya Danisovna – Research fellow, e-mail: sayfut2009@gmail.com

Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural division of Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАХОТНОЙ СВЕТО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В ТЕЧЕНИИ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ**И. А. Сахабиев, Л. Г. Гаффарова, К. Г. Гиниятуллин, Е. В. Смирнова**

Реферат. Исследования проводили с целью оценки изменения пространственной структуры подвижных форм азота, фосфора и калия в пахотном слое светло-серой лесной почвы в Республике Татарстан с 1965 по 2021 годы. Многолетние данные агрохимических обследований обрабатывали методом геостатистического вариограммного анализа, отражающего изменение дисперсии показателей с расстоянием. В течение почти 60 лет происходит заметное изменение не только содержания подвижных форм элементов питания, но и их пространственной структуры. Диапазоны автокорреляции (расстояние максимальной схожести показателя в пространстве) подвижного фосфора в 1965 и 1975 годах составляли 185 и 205 м соответственно. К 1980 году величина этого показателя возросла до 459 м, а в 2011 году достигла максимума (778 м). Диапазон автокорреляции подвижного калия увеличился с 213 м (1965 год) до 439 м (2021 год), гидролизуемого азота – с 266 м (1975 год) до 550 м (2021 год). Вариограммы гидролизуемого азота в 1987 и 2011 годах свидетельствуют о закономерном изменении в пространстве (пространственный тренд). Соотношение элементов вариограмм (нагет/порог), по которому оценивают пространственную зависимость показателя (взаимовлияние показателя, исходя из его расположения в пространстве), позволило провести сравнительный анализ пространственной структуры исследуемых свойств со временем. Для гидролизуемого азота с 1975 по 1980 годы пространственная зависимость была умеренной (нагет/порог в пределах 25...75 %), с 1987 по 2011 годы – сильной (нагет/порог < 25 %). Для подвижного фосфора она была преимущественно сильной, за исключением 1975 года (умеренная), а для подвижного калия – в 1975 году слабой (> 75 %), в 1965, 1980 и 1987 годах – умеренной. По сравнению с гидролизуемым азотом, подвижные формы фосфора и калия характеризуются более стабильной пространственной структурой, но отмечена тенденция увеличения диапазона автокорреляции.

Ключевые слова: агрохимические свойства почв, пространственно-временная неоднородность, вариограммный анализ, геостатистический анализ, многолетние данные, плодородие почв.

Введение. Для эффективного управления почвенными ресурсами в целях обеспечения продовольственной безопасности и рационального природопользования требуется точная информация о пространственных изменениях свойств почвенного покрова. За последние десятилетия изучение пространственной вариабельности почвенных свойств получило бурное развитие, благодаря, прежде всего, широкой доступности компьютерных и информационных технологий [1, 2, 3]. Теоретическая значимость подобных исследований сводится к оценке закономерностей пространственного распределения исследуемых показателей. Практическое преимущество исследования пространственной неоднородности почвенных свойств заключается в разработке точных карт агрохимических свойств почв для целей дифференцированного применения удобрений и мелиорантов [4, 5].

Геостатистические модели эффективны для моделирования геопространственных данных, что позволяет определять пространственную структуру почвенных показателей [6, 7, 8]. Модели машинного обучения, которые все больше применяются в исследовании пространственного распределения почвенных показателей, не всегда эффективны, поскольку могут не учитывать пространственную автокорреляцию исследуемых показателей [9]. В целом геостатистические методы остаются популярными для оценки пространственного распределения показателей почвенного

плодородия [10, 11].

Исследование пространственной неоднородности почвенных показателей, как правило, относится к одномоментному описанию, приходящемуся на период отбора почвенных проб или позже. Более ранние обследования почв тех же самых угодий при оценке пространственной структуры почвенных показателей принимаются во внимание не достаточным образом. Между тем, наблюдения за динамикой показателей агрохимических показателей почвенного плодородия выступают неотъемлемой частью мониторинга почвенного плодородия [12, 13].

Цель исследований – оценка изменения пространственной структуры агрохимических свойств почв пахотной серой лесной почвы за многолетний период (1965–2021 годы) для совершенствования методологии мониторинга их плодородия.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли на пахотной серой лесной почве Арского государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) Республики Татарстан (РТ), который находится в северо-западной части Предкамья РТ и занимает площадь около 83 га (~1340 м×620 м). Участок имеет прямоугольную форму и вытянут в северо-восточном направлении. Рельеф сортоиспытательного участка представлен слабопологим склоном. На участке распространены следующие почвы: дерново-слабоподзолистая слабосмытая тяжелосуглинистая (13,03 га),

дерново-слабоподзолистая слабосмытая слабо-размываемая тяжелосуглинистая (1,26 га), светло-серая лесная тяжелосуглинистая (67,34 га), светло-серая лесная слабо-размываемая тяжелосуглинистая (0,28 га), светло-серая лесная пестроцветная тяжелосуглинистая (0,97 га). В литологическом отношении зона сорто-испытательного участка расположена на отложениях казанского и татарского ярусов пермской системы.

Оценку изменения пространственной структуры содержания в почве гидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия проводили на основе многолетних данных агрохимических обследований, которые были проведены в 1965, 1975, 1980, 1987, 2011 и 2021 годах. Содержание гидролизуемого азота не определяли лишь в 1965 году. Данные 1965–1987 годов получены в ходе почвенно-агрохимических обследований участка, выполненных сотрудниками кафедры почвоведения Казанского государственного университета, данные 2011 и 2021 годов получены лично авторами.

Отбор образцов почв во все годы проводили по традиционной схеме составления объединенной пробы при агрохимическом обследовании пахотных угодий, однако площадь элементарного участка, из которого отбирали пробы, уменьшили до 1,0...1,5 га. В пределах элементарных участков на глубину пахотного слоя с использованием ручного пробоотборника отбирали 20...40 единичных проб почв, из которых составляли объединенную пробу. В 1965, 1975 и 1980 годах количество объединенных проб составляло 48 ед., а в последующие годы их было 52 ед. В объединенных почвенных образцах проводили определение содержания гидролизуемого азота, подвижного фосфора и подвижного калия. Методы определения агрохимических свойств почв различались по годам. Так, в 1965 году содержание подвижного фосфора определяли по методу Труога, в последующие годы – по методу Кирсанова. Подвижный калий до 1987 года включительно определяли по методу Масловой, в последующие годы – по методу Кирсанова. Гидролизуемый азот в 1975–1987 годах определяли по методу Тюрина и Кононовой, в последующие годы – по методу Корнфилда.

Для приведения к единой шкале значений почвенных показателей, полученных разными методами, проводили их предварительную стандартизацию по следующей формуле:

$$z = \frac{x - \bar{X}}{S_x} \quad (1)$$

где:

x – выборочное значение почвенного показателя;

$\bar{X}$ – среднее значение;

S_x – стандартное отклонение.

Оценку пространственной структуры агрохимических показателей проводили на основе геостатистического анализа (анализа вариограмм). Вариограмма выступает методом геостатистики и позволяет определить изменение пространственной автокорреляции исследуемых показателей путем количественной оценки полудисперсии на заданном расстоянии между точками. Пространственная автокорреляция переменных в геостатистике выражается через значение полудисперсии (полувариации):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} Z(x_i + h) - Z(x_i)^2 \quad (2)$$

где:

$\gamma(h)$ – экспериментальное значение полудисперсии на интервале расстояний h ;

$N(h)$ – количество пар значений выборки в интервале расстояний h ;

$Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ – выборочные значения в двух точках, разделенных интервалом расстояний h [14].

Для оценки пространственной зависимости почвенных свойств использовали соотношение параметров вариограммы «нагетт/порог». Отношение наггета к порогу меньше 25% указывает на сильную пространственную зависимость, 25...75% и более 75%, соответственно, на умеренную и слабую пространственную зависимость [15].

Геостатистические методы основаны на использовании пространственных координат исследуемого показателя. Поскольку в случае агрохимического отбора проб не представляется возможным определить конкретное расположение точек опробования в пределах элементарного участка, то за пространственные координаты объединенной пробы принимали центральное положение каждого элементарного участка.

Статистическая обработка данных была проведена при использовании статистической среды R. Вариограммный анализ проводили посредством пакета gstat языка R.

Результаты и обсуждение. В 1975 году среднее содержание гидролизуемого азота на участке составляло 119 мг/кг, к 1980 г. – 109 мг/кг, а к 1987 году оно снижается до 85 мг/кг. То есть, в период 1975–1980 годов гидролизуемый азот на участке характеризуется очень высоким содержанием (согласно градации, принятой для использованного метода), в 1987 году содержание гидролизуемого азота относится к высокой градации. В 2011 году гидролизуемый азот имел низкое содержание (111 мг/кг), а через десять лет его содержание снизилось до 88 мг/кг, что относится к очень низкому содержанию (табл. 1). Разница в уровнях градаций содержания гидролизуемого азота объясняется разными методами, которые использовали для определения этого показателя.

Таблица 1 – Статистические параметры агрохимических показателей по годам, мг/кг

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее	Размах	Коэффициент вариации, %
1965 год					
Азот гидролизующий	-	-	-	-	-
Фосфор подвижный	170	401	265	231	19
Калий подвижный	145	255	191	110	16
1975 год					
Азот гидролизующий	51	187	119	136	19
Фосфор подвижный	150	306	254	156	16
Калий подвижный	168	306	231	138	15
1980 год					
Азот гидролизующий	30	336	109	306	54
Фосфор подвижный	82	306	199	224	34
Калий подвижный	90	300	151	210	24
1987 год					
Азот гидролизующий	51	136	85	85	25
Фосфор подвижный	174	462	313	288	26
Калий подвижный	161	366	218	205	21
2011 год					
Азот гидролизующий	78	157	111	79	17
Фосфор подвижный	148	781	499	633	35
Калий подвижный	103	426	250	323	29
2021 год					
Азот гидролизующий	63	119	88	56	14
Фосфор подвижный	149	515	294	366	33
Калий подвижный	81	298	172	217	26

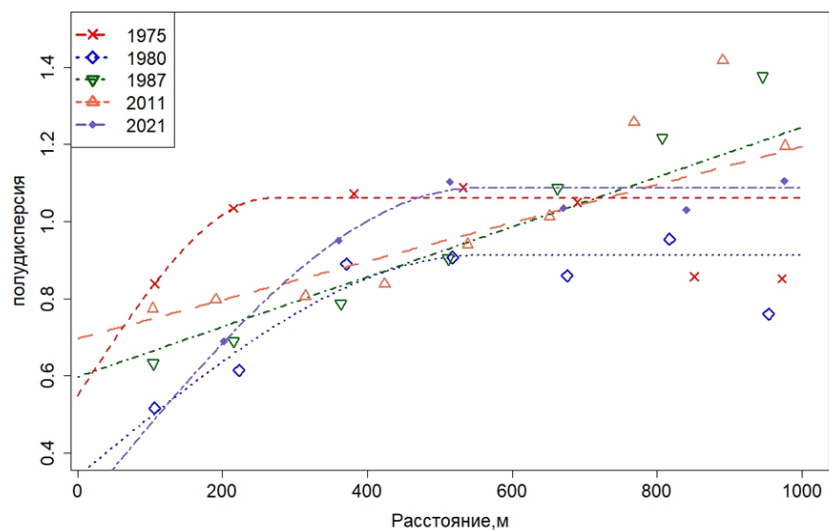
Подвижные формы фосфора в 1965 году составляли 265 мг/кг, что относится к высокому содержанию подвижных фосфатов [16]. За период с 1975 по 2011 годы содержание подвижного фосфора в основном относилось к очень высокому, лишь в 1980 году – к высокому и составляло 199 мг/кг. В остальные периоды исследования оно превышало 250 мг/кг. Наибольшее среднее содержание подвижного фосфора отмечено в 2011 году – 499 мг/кг.

Содержание подвижного калия в 1965 году характеризовалось как повышенное (191 мг/кг). К 1975 году оно изменяется на высокое, составляя 231 мг/кг. К 1980 году содержание подвижного калия снижается до 151 мг/кг и соответствует повышенной обеспеченности почв. В период с 1980 по 1987 годы оно снова становится высоким, а его среднее содержание изменяется от 151 до 218 мг/кг. К 2011 году сохраняется высокая обеспеченность подвижным калием – 250 мг/кг. Спустя 10 лет содержание подвижного калия на участке составляло 172 мг/кг, то есть оставалось высоким согласно градации уровня обеспеченности соответствующего

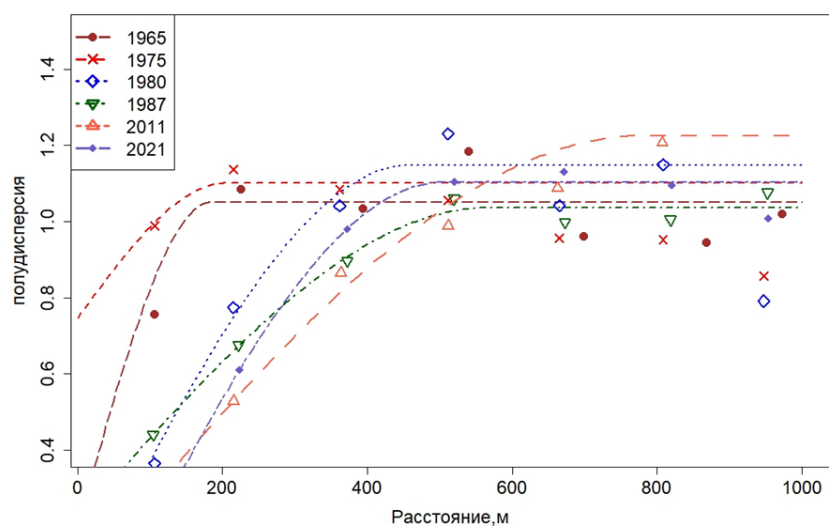
метода.

Коэффициент вариации подвижного фосфора в 1965 и 1975 годах составлял 19 и 16% соответственно (средняя вариабельность). В 1980 году вариабельность подвижного фосфора была сильной (34%), в 1987 году коэффициент вариации был равен 26% (средняя вариабельность). С 2011 по 2021 годы коэффициент вариации превышал 30%, что соответствовало сильной вариабельности показателя. Подвижные формы калия, в отличие от подвижного фосфора, показывали среднюю вариабельность за весь период исследований. Гидролизующий азот имел высокую вариабельность в 1980 году (коэффициент вариации >30%). Вне этого года исследования вариабельность гидролизующего азота была средней. Агрохимические свойства почв распределяются неоднородно как на указанном временном промежутке, так и в пространстве в пределах исследуемого участка.

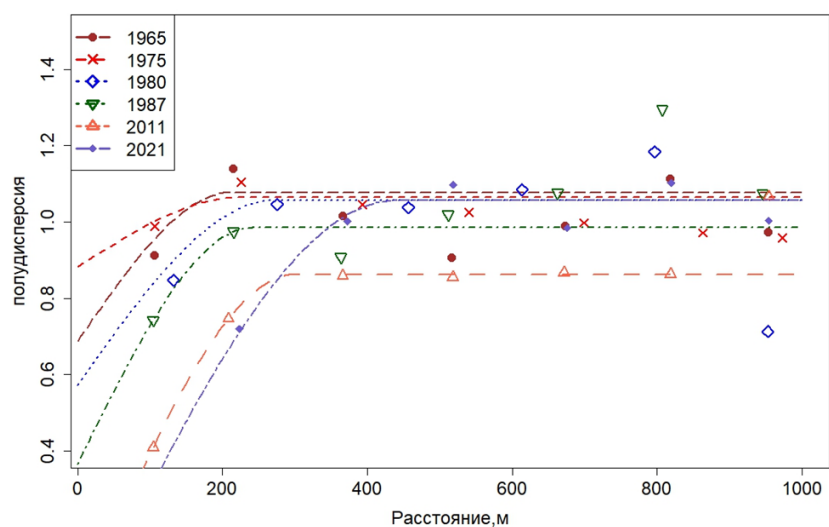
Вариограммный анализ по годам исследований показал, что пространственная структура агрохимических свойств почв изменяется с течением времени (рис.1).



Гидролизующий азот



Подвижный фосфор



Подвижный калий

Рис. 1 – Вариограммы агрохимических свойств почв за период с 1965 по 2021 годы

Большинство из представленных вариограмм выступают изотропными, тем не менее, некоторые показатели в разные годы показывают наличие анизотропии в данных (табл. 2). К примеру, у подвижного фосфора анизотропия отмечена в 1965, 1987 и 2021 годах, для подвижного калия изменчивость со сменой направления в пространстве присутствует в 1975, 2011 и 2021 годах. Содержание гидролизующего азота показывает анизотропию в 1980 и 2021 годах. То есть, до 2021 года

анизотропия в исследуемых агрохимических свойствах проявлялась спорадически для отдельных показателей, тогда как в 2021 году она присутствует для всех агрохимических свойств. Преимущественное направление наибольшей изменчивости с течением времени может изменяться. Например, в 1965 и 1987 годах подвижный фосфор показывает анизотропию в северо-западном направлении (337), тогда как к 2021 году – в северо-восточном (30) (табл. 2).

Таблица 2 – Параметры вариограмм агрохимических показателей по годам

Элемент	Диапазон, м	Наггет (C ₀)	Частичный порог (C ₁)	Порог (C ₀ +C ₁)	C ₀ /(C ₀ +C ₁), %	Анизотропия	Пространственная зависимость*
1965 год							
Азот гидролизующий	-	-	-	-	-	-	-
Фосфор подвижный	185	0,19	0,86	1,05	18	337	С
Калий подвижный	213	0,69	0,39	1,08	64	-	У
1975 год							
Азот гидролизующий	266	0,55	0,51	1,06	52	-	У
Фосфор подвижный	205	0,75	0,35	1,10	68	-	У
Калий подвижный	225	0,88	0,18	1,06	83	160	Сл
1980 год							
Азот гидролизующий	552	0,34	0,57	0,91	37	35	У
Фосфор подвижный	459	0,00	1,15	1,15	0	-	С
Калий подвижный	271	0,57	0,49	1,06	54	-	У
1987 год							
Азот гидролизующий	тренд	0,60	4,10	4,69	13		С
Фосфор подвижный	568	0,22	0,82	1,04	21	335	С
Калий подвижный	241	0,36	0,62	0,99	37	-	У
2011 год							
Азот гидролизующий	тренд	0,70	2,07	2,76	25	-	С
Фосфор подвижный	778	0,06	1,17	1,23	5	-	С
Калий подвижный	302	0,00	0,91	0,91	0	55	С
2021 год							
Азот гидролизующий	550	0,25	0,84	1,09	23	90	С
Фосфор подвижный	504	0,00	1,30	1,30	0	30	С
Калий подвижный	439	0,00	1,14	1,14	0	45	С

* Сл – слабая, У – умеренная, С – сильная пространственная зависимость

Подвижные соединения фосфора в 1965 и 1975 годах имеют близкие значения диапазонов автокорреляции – 185 и 205 м соответственно. К 1980 году диапазон автокорреляции возрастает до 459 м. Самое дальнее расстояние автокорреляции подвижного фосфора отмечено в 2011 году, достигшее 778 м. В случае подвижного калия выявлено постепенное увеличение диапазона автокорреляции

с течением времени. Как и в случае с подвижным фосфором, в период 1965–1975 годов подвижный калий показывает близкие значения автокорреляции, составлявшие 213 и 225 м соответственно. Аналогичная картина отмечена в период 1980–1987 годов, когда диапазон автокорреляции снижается незначительно с 271 до 241 м. В период с 2011 по 2021 годов прирост диапазона автокорреляции

подвижного калия составляет около 140 м. Максимальное расстояние, на котором происходит взаимная корреляция значений подвижного калия, приходится на 2021 год и соответствует 439 м.

Для гидролизуемого азота пространственная структура не показывает однозначную картину в разные годы. В 1975 году диапазон автокорреляции гидролизуемого азота составлял 266 м, тогда как в 1980 году этот параметр вариограмм превышал предыдущее в 2 раза и составлял 552 м. В 1987 и в 2011 годах вариограммы гидролизуемого азота показывали наличие тренда, характеризующего рост значения полудисперсии вариограммы. Считается, что тренд в пространственных данных возникает в случае изменения среднего значения исследуемой переменной под действием глобального процесса, либо в случае наличия процесса, который происходит в большем масштабе, чем исследуемая площадь [17]. В нашем случае наличие тренда в пространственной структуре гидролизуемого азота может быть связано с множеством факторов, среди которых следует отметить внесение органических и минеральных удобрений при их неравномерном усвоении сельскохозяйственной растительностью. В целом, для анализа пространственных закономерностей форм азота следует принимать во внимание климатические характеристики исследуемых участков, биологические особенности почвенного покрова, а также уровень применяемых на участке средств химизации. В подтверждение того, что тренд в пространственных данных содержания гидролизуемого этой формы азота в пределах участка, можно привести вариограмму величины этого показателя для 2021 года. На ней видно, что теряется тренд, а диапазон пространственной автокорреляции возвращается в значение, равное 550 м, что вполне сопоставимо с диапазоном автокорреляции гидролизуемого азота в 1980 году. В отличие от подвижных форм фосфора и калия, пространственная структура которых изменяется продолжительное время, гидролизуемый азот показывает значительные перемены в пространственной структуре в пределах исследуемого участка, которые обусловлены уровнем химизации, развитием сельскохозяйственной растительности и условиями окружающей среды, приводящими к трансформации азотистых соединений.

Соотношение «нагетт/порог» показывает, что гидролизуемый азот до 1980 года имеет умеренную пространственную зависимость, после 1980 года она становится сильной. Пространственная зависимость подвижного фосфора сильная во все периоды обследования, за исключением 1975 года, когда она снижается до умеренной. В случае подвижного калия в 1965 году отмечена умеренная пространственная зависимость, которая к 1975 году изменяется на слабую. В период с 1980 по 1987 годы для подвижного калия

пространственная зависимость умеренная, тогда как после 1987 года соотношение «нагетт/порог» находится на уровне менее 25%, что соответствует сильной пространственной зависимости. Отмечено, что умеренная пространственная зависимость выступает результатом взаимодействия между внутренними (процессы формирования почвы) и внешними (удобрение почвы и приемы возделывания) факторами, тогда как, как правило, сильная пространственная зависимость свойств почв связана в большей степени с внутренними факторами [15, 18, 19]. Слабая же пространственная зависимость связана более всего со случайными внешними факторами, такими как вспашка или применение агрохимикатов.

Изменение пространственной зависимости агрохимических показателей связано с проводимыми на участке агротехническими мероприятиями и уровнем земледелия. В 1965–1975 годах на участке применяли повышенные дозы удобрений, что, вероятно, привело к насыщению пашни элементами питания, и смещению уровня пространственной зависимости подвижного фосфора и, прежде всего, подвижного калия. Аналогичное поведение отмечено в работе [20], где пространственная зависимость подвижного калия изменилась с сильной на умеренную вследствие применения удобрений. Туры агрохимического обследования пахотных почв Республики Татарстан показывают неоднородную картину по обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия. К примеру, в пахотных черноземах Буинского района Республики Татарстан за 1970–2017 годы доля подвижного фосфора возросла с 4,0 до 6,0% от его валовых запасов [21]. В целом, в пахотных почвах Республики Татарстан, начиная с 1965 года, средневзвешенное содержание подвижного фосфора возрастает, а положительный баланс этого элемента устанавливается в период 1971–1995 годов [22]. Средневзвешенное содержание подвижного калия в пахотных почвах Предволжья Республики Татарстан за 1965–2020 года менялось скачкообразно (от 116 до 161 мг/кг), при этом интенсивность применения агрохимикатов оказала слабое влияние на динамику этого показателя [23].

В 2011–2021 годах, которые приходятся на период относительного спада интенсивности химизации [24, 25, 26], уровень пространственной зависимости всех исследуемых показателей в почвах Арского ГСУ оказался в стороне сильной градации. То есть, непрерывная сельскохозяйственная деятельность, а также уровень химизации и агротехники определили развитие пространственной неоднородности на исследуемом участке в разные периоды времени.

В целом исследования изменения пространственной структуры агрохимических свойств почвы в разные периоды времени на одних и тех же участках малочисленны.

Например, в холмистом регионе Китая была исследована пространственно-временная изменчивость агрохимических свойств почв для обследования 1985 и 1997 годов. Геоestatистический анализ показал, что все свойства почвы между этими годами были пространственно структурированы [21]. В работе [27] исследовали изменение с 1980 по 2017 годы доступных соединений азота, фосфора и калия в почвах сельскохозяйственных угодий Китая и определили пространственную структуру, а также пространственно-временные изменения между содержанием доступного азота и фосфора. Исследование пространственно-временных изменений агрохимических свойств почв определяет наличие равновесия между ростом агропроизводства, рационального природопользования и обеспечения продовольственной безопасности.

Выводы. За почти 60-летний (для гидролизуемого азота – 50-летний) период возделывания сельскохозяйственных культур проведена оценка изменения пространственной структуры доступных для растений соединений азота, фосфора и калия в почвах сортоиспытательного участка. Внутрипольная вариабельность агрохимических показателей за период обследования существенно изменилась. Пространственное распределение содержания всех доступных элементов питания в разные годы

характеризуется анизотропией, которая в ряде случаев изменяла свое направление с течением времени. Также с годами происходило увеличение диапазона автокорреляции содержания подвижных фосфора и калия. Диапазон автокорреляции гидролизуемого азота вырос с 266 м в 1975 году до 550 м в 2021 году, но этот показатель характеризуется ярко выраженными пространственными трендами в данных 1987 и 2011 годов. В целом, в зависимости от уровня интенсификации земледелия происходит изменение пространственной структуры внутрипольной вариабельности агрохимических свойств почв, а также увеличение степени их пространственно-временной неоднородности.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного 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 в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан», соглашение № 39/2024-ПД.

Литература

1. Самсонова В. П., Кротов Д. Г., Лавринова Е. Ю. Пространственная изменчивость агрохимических свойств сельскохозяйственных угодий Брянской области // *Агрохимия*. 2017. № 7. С. 11–18.
2. Белоусова Е. Н., Белоусов А. А., Ульянова О. А. Оценка пространственной изменчивости агрохимических свойств агросерой почвы при планировании полевого опыта с минеральными удобрениями // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. №3. С. 5–12.
3. Мудрых Н. М., Самофалова И. А. Моделирование пространственной изменчивости агрохимических показателей почв в агроландшафтах Нечерноземья // *Агрохимический вестник*. 2019. № 5. С.17–24.
4. Беленков А. И., Мазиров М. А., Воронов М. А. Результаты научного и практического освоения точного земледелия в полевом опыте // *Плодородие*. 2025. №1. С. 31–41.
5. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А. Геоestatистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв // *Геосферные исследования*. 2021. № 3. С. 80–91.
6. Кузякова И. Ф., Романенков В. А., Кузяков Я. В. Метод геоestatистики в почвенно-агрохимических исследованиях // *Почвоведение*. 2001. № 9. С. 1132–1139.
7. Выбор метода геоestatистической интерполяции свойств почв государственных сортоиспытательных участков при использовании параметров цифровой модели рельефа / И. А. Сахабиев, С. С. Рязанов, Т. Г. Кольцова и др. // *Почвоведение*. 2018. №3. С. 259–273.
8. Identifying hidden factors influencing soil Olsen-P in an alkaline calcareous soil using machine learning and geostatistical techniques / M. Bouray, M. Bayad, A. Beniaich, et al. // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. No. 21. P. e40128. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024161592> (дата обращения: 02.05.2025).
9. Heuvelink G. B., Webster R., Spatial statistics and soil mapping: a blossoming partnership under pressure // *Spatial statistics*. 2022. Vol. 50. P. 100639. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211675322000264> (дата обращения: 02.05.2025).
10. Сахабиев И.А. Рязанов С.С. Исследование пространственной изменчивости свойств почв с использованием геоestatистического подхода // *Российский журнал прикладной экологии*. 2015. № 2. С. 32–37.
11. Киндеев А. Л. Перспективные направления геоestatистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2022. № 2. С. 59–70.
12. Лукин С. В. Многолетняя динамика плодородия пахотных почв Белгородской области // *Агрохимический вестник*. 2013. № 4. С. 54–56.
13. Суринов А. В. Динамика плодородия пахотных черноземов лесостепной зоны Центрально-Черноземных областей России // *Вестник Казанского ГАУ*. 2021. № 1 (61). С. 57–61.
14. Oliver M.A., Webster R. Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging. Springer. 2015. 100 p.
15. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils / C. Cambardella, T. Moorman, J. Novak, et al. // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994. Vol. 58. P. 1501–1511.
16. Гинзбург К. Е. Методы определения фосфора в почве // *Агрохимические методы исследования почв*.

М.: Наука. 1975. С. 106–187.

17. Overmars K. P., de Koning G. H. J., Veldkamp A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models // *Ecological Modelling*. 2003. Vol. 164. P. 257–270.

18. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management / D. Vasu, S. Singh, N. Sahu, et al. // *Soil Till. Res.* 2017. Vol. 169. P. 25–34.

19. Tillage Management Impacts on Soil Phosphorus Variability under Maize–Soybean Rotation in Eastern Canada / J. D. Nze Memiaghe, A. N. Cambouris, N. Ziadi, et al. // *Soil Syst.* 2022. Vol. 6 (2). P. 2–20.

20. Sun B., Zhou S., Zhao Q. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China // *Geoderma*. 2003. Vol. 115. No. 1–2, P. 85–99.

21. Лукманов А. А. Оценка вклада факторов в почвенный фонд фосфора в лесостепных черноземах Республики Татарстан // *Агрохимический вестник*. 2019. № 5. С. 3–7.

22. Лукманов А. А., Нуриев С. Ш., Давлятшин И. Д. Состояние плодородия пахотных почв Республики Татарстан и урожайность сельскохозяйственных культур // *Плодородие*. 2010. № 2. С. 6–8.

23. Агрохимические факторы интенсификации земледелия и калийный режим почв Предволжья Республики Татарстан / А. А. Лукманов, М. Ю. Гилязов, Р. М. Гайнуллин и др. // *Агрохимический вестник*. 2025. №1. С. 44–49.

24. Динамика плодородия почв Республики Татарстан / П. А. Чекмарев, А. А. Лукманов, С. Ш. Нуриев и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 4. С. 6–9.

25. Гилязов М. Ю., Лукманов А. А., Зарипов Д. Ф. Уровень применения агрохимикатов и фосфатный режим пахотных почв Предволжья Республики Татарстан // *Агробиотехнологии и цифровое земледелие*. 2024. Т. 3. № 4. С. 18–24.

26. Известкование кислых почв в Республике Татарстан / А. А. Лукманов, К. В. Владимиров, А. А. Валиев и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. №9. С. 15–18.

27. Effects of long-term cultivation on spatial-temporal variation of soil nitrogen and phosphorus: a case study in Shaanxi Province, China / J. Cao, Y. Chen, H. Wang, et al. // *Environ Monit Assess.* 2023. Vol. 195. No. 1439. P. 1–13. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-12038-3> (дата обращения: 02.05.2025).

Сведения об авторах:

Сахабиев Ильназ Алимович – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения имени И. В. Тюрина, e-mail: IlInASahabiev@kpfu.ru

Институт экологии, биотехнологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань, Россия

Гаффарова Лилия Габдулбаровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: gaffarovalylya@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Гиниятуллин Камиль Гашикович – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения имени И. В. Тюрина, e-mail: ginijatullin@mail.ru

Смирнова Елена Васильевна – кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой почвоведения имени И. В. Тюрина, e-mail: elenavsmirnova@mail.ru

Институт экологии, биотехнологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань, Россия

PATTERNS OF CHANGES IN THE SPATIAL STRUCTURE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF ARABLE LIGHT GRAY FOREST SOIL DURING LONG-TERM OBSERVATIONS

I. A. Sakhabiev, L. G. Gaffarova, K. G. Giniyatullin, E. V. Smirnova

Abstract. The studies were conducted to assess changes in the spatial structure of mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium in the arable layer of light gray forest soil in the Republic of Tatarstan from 1965 to 2021. Long-term data from agrochemical surveys were processed using the method of geostatistical variogram analysis, reflecting changes in the variance of indicators with distance. Over the course of almost 60 years, there has been a noticeable change not only in the content of mobile forms of nutrients, but also in their spatial structure. The autocorrelation ranges (the distance of maximum similarity of the indicator in space) of mobile phosphorus in 1965 and 1975 were 185 and 205 m, respectively. By 1980, the value of this indicator increased to 459 m, and in 2011 it reached a maximum (778 m). The autocorrelation range of mobile potassium increased from 213 m (1965) to 439 m (2021), hydrolyzable nitrogen - from 266 m (1975) to 550 m (2021). Variograms of hydrolyzable nitrogen in 1987 and 2011 indicate a regular change in space (spatial trend). The ratio of variogram elements (nugget/sill), which is used to estimate the spatial dependence of the indicator (the mutual influence of the indicator based on its location in space), made it possible to conduct a comparative analysis of the spatial structure of the studied properties over time. For hydrolyzable nitrogen, the spatial dependence was moderate from 1975 to 1980 (nugget/sill within 25...75%), and strong from 1987 to 2011 (nugget/sill <25%). For mobile phosphorus, it was predominantly strong, with the exception of 1975 (moderate), and for mobile potassium - weak in 1975 (>75%), and moderate in 1965, 1980 and 1987. Compared to hydrolyzable nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium are characterized by a more stable spatial structure, but a tendency to increase the autocorrelation range is noted.

Key words: agrochemical properties of soils, spatiotemporal heterogeneity, variogram analysis, geostatistical analysis, long-term data, soil fertility.

References

1. Samsonova VP, Krotov DG, Lavrinova EYu. [Spatial variability of agrochemical properties of agricultural lands in Bryansk region]. *Agrokhimiya*. 2017; 7. 11–18 p.

2. Belousova EN, Belousov AA, Ulyanova OA. [Assessment of spatial variability of agrochemical properties of agrogray soil when planning a field experiment with mineral fertilizers]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*. 2024; 3. 5–12 p.

3. Mudrykh NM, Samofalova IA. [Modeling of spatial variability of agrochemical parameters of soils in agrolandscapes of the Non-Black earth region]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2019; 5. 17–24 p.

4. Belenkov AI, Mazirov MA, Voronov MA. [Results of scientific and practical development of precision farming in a field experiment]. *Plodородие*. 2025; 1. 31–41 p.

5. Klebanovich NV, Kindeev AL, Sazonov AA. [Geostatistical analysis in mapping the spatial heterogeneity of soil

- moisture and acidity]. *Geosfernye issledovaniya*. 2021; 3. 80-91 p.
6. Kuzyakova IF, Romanenkov VA, Kuzyakov YaV. [The geostatistics method in soil-agrochemical studies]. *Pochvovedenie*. 2001; 9. 1132-1139 p.
 7. Sakhabiev IA, Ryazanov SS, Koltsova TG. [Selecting a method for geostatistical interpolation of soil properties in state variety testing sites using digital elevation model parameters]. *Pochvovedenie*. 2018; 3. 259-273 p.
 8. Bouray M, Bayad M, Beniaich A. Identifying hidden factors influencing soil Olsen-P in an alkaline calcareous soil using machine learning and geostatistical techniques. [Internet]. *Heliyon*. 2024; Vol.10. No.21. e40128 p. [cited 2025, May 02]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024161592>.
 9. Heuvelink GB, Webster R. Spatial statistics and soil mapping: a blossoming partnership under pressure. [Internet]. *Spatial statistics*. 2022; Vol.50. 100639 p. [cited 2025, May 02]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211675322000264>.
 10. Sakhabiev IA, Ryazanov SS. [Study of spatial variability of soil properties using a geostatistical approach]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2015; 2. 32-37 p.
 11. Kindeev AL. [Promising directions of geostatistical analysis and stochastic modeling taking into account economic costs in precision farming]. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*. 2022; 2. 59-70 p.
 12. Lukin SV. [Long-term dynamics of arable soil fertility in Belgorod region]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2013; 4. 54-56 p.
 13. Surinov AV. [Dynamics of fertility of arable chernozems in the forest-steppe zone of the Central Black Earth regions of Russia]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2021; 1 (61). 57-61 p.
 14. Oliver MA, Webster R. Basic steps in geostatistics: the variogram and kriging. Springer. 2015; 100 p.
 15. Cambardella C, Moorman T, Novak J. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994; Vol.58. 1501-1511 p.
 16. Ginzburg KE. [Methods for determining phosphorus in soils]. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv*. Moscow: Nauka. 1975; 106-187 p.
 17. Overmars KP, de Koning GHJ, Veldkamp A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models. *Ecological Modelling*. 2003; Vol.164. 257-270 p.
 18. Vasu D, Singh S, Sahu N. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil Till. Res*. 2017; Vol.169. 25-34 p.
 19. Nze Memiaghe JD, Cambouris AN, Ziadi N. Tillage management impacts on soil phosphorus variability under maize-soybean rotation in Eastern Canada. *Soil Syst*. 2022; Vol.6 (2). 2-20 p.
 20. Sun B, Zhou S, Zhao Q. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*. 2003; Vol.115. No.1-2. 85-99 p.
 21. Lukmanov AA. [Assessment of the contribution of factors to the soil phosphorus fund in forest-steppe chernozems of the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2019; 5. 3-7 p.
 22. Lukmanov AA, Nuriev SSh, Davlyatshin ID. [The state of arable soils fertility of the Republic of Tatarstan and the yield of agricultural crops]. *Plodorodie*. 2010; 2. 6-8 p.
 23. Lukmanov AA, Gilyazov MYu, Gaynullin RM. [Agrochemical factors of agriculture intensification and potassium regime of soils in Volga region of the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2025; 1. 44-49 p.
 24. Chekmarev PA, Lukmanov AA, Nuriev SSh. [Dynamics of soil fertility in the Republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2014; 4. 6-9 p.
 25. Gilyazov MYu, Lukmanov AA, Zaripov DF. [Agrochemicals application level and phosphate regime of arable soils in Volga region of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledelie*. 2024; Vol.3. 4. 18-24 p.
 26. Lukmanov AA, Vladimirov KV, Valiev AA. [Liming of acidic soils in the Republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021; 9. 15-18 p.
 27. Cao J, Chen Y, Wang H. Effects of long-term cultivation on spatial-temporal variation of soil nitrogen and phosphorus: a case study in Shaanxi Province, China. [Internet]. *Environ Monit Assess*. 2023; Vol.195. No.1439. 1-13 p. [cited 2025, May 02]. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-12038-3>.

Authors:

Sakhabiev Ilnaz Alimovich – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Soil Science Department named after I.V. Tyurin, e-mail: IlnASakhabiev@kpfu.ru
 Institute of Ecology, Biotechnology and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
 Gaffarova Liliya Gabdulbarovna – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil Science Department, e-mail: gaffarovalylya@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
 Giniyatullin Kamil Gashikovich – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Soil Science Department named after I.V. Tyurin, e-mail: giniyatullin@mail.ru
 Smirnova Elena Vasilevna – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Soil Science Department named after I.V. Tyurin, e-mail: elenavsmirnova@mail.ru
 Institute of Ecology, Biotechnology and Nature Management of Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОЛОГИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ****А. Л. Тойгильдин, Г. В. Ермолаева, С. А. Никифорова**

Реферат. Исследования проводили с целью оценки эффективности биологизированной технологии возделывания пшеницы мягкой озимой, позволяющей при полном исключении минеральных удобрений и химических средств защиты поддерживать продуктивность на уровне интенсивной технологии. Эксперименты выполняли в Ульяновской области в 2020–2022 годах на посевах озимой пшеницы после гороха посевного на выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе (гумус – 7,0%, P_2O_5 – 263 мг/кг, K_2O – 117 мг/кг, pH_{KCl} – 6,5). Интенсивная технология предусматривала предпосевную обработку семян (Табу, Виал Траст, Агrostимулин), гербицидную (Балерина Супер), инсектицидную (Борей Нео) и фунгицидную (Колосаль Про) обработку посевов, внесение минеральных удобрений (NPK на урожайность 4 т/га), а также внекорневую подкормку (Агrostимулин) и внесение азота (10 кг д. в./т соломы). В рамках биологизированной технологии проводили предпосевную обработку семян (Фитоспорин-МЖ, Биолিপостим, Борогум-М), мероприятия по защите растений (Фитоспорин-МЖ, BioSleep BW), внекорневую подкормку (Борогум-М комплексный) и внесение деструктора стерни (Стерня-12). Засоренность опытного участка оценивали как среднюю, доля яровых сорных растений составляла 68...82%, многолетних – 18...32% от общего их количества. Преимущество интенсивной технологии в борьбе с засоренностью посевов заключалось в снижении биомассы и численности сорных растений, в сравнении с биологизированной, в 2,5 и 3,0 раза. В то же время, несмотря на полное исключение минеральных удобрений и химических средств защиты растений, продуктивность озимой пшеницы в варианте с биологизированной агротехнологией не уступала интенсивной (соответственно 3,19 и 3,20 т/га). При этом более рентабельным (123%) было производство зерна с ее использованием, что обеспечивало более высокий условно чистый доход – 13477 руб./га.

Ключевые слова: пшеница мягкая озимая (*Triticum aestivum*), технология возделывания, засоренность посевов, продуктивность культуры, качество урожая, экономическая эффективность.

Введение. Внедрение в сельскохозяйственное производство технологий возделывания полевых культур, основанных на максимальном использовании биологических средств (частичное или полное исключение химических), становится одним из быстро растущих секторов в мировом производстве сельскохозяйственной продукции. Это направление нашло отражение в Федеральной научно-технической программе развития сельскохозяйственного производства России на 2017–2030 годы [1]. Программа предполагает разработку приемов сохранения и повышения плодородия почв на основе бактериальных и биологически активных препаратов, биологических средств защиты, адаптивно-биологизированного производства сельскохозяйственной продукции.

Органическое земледелие представляет собой наиболее развитую форму биологизации, регламентированную Федеральным законом (ФЗ № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»), вступившим в силу в январе 2020 года [2].

Изучение отдельных приемов биологизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур имеет длительную историю и отражено в многочисленных публикациях [3, 4, 5]. В них показана высокая эффективность в формировании урожайности сельскохозяйственных культур сидерации, применении соломы в качестве удобрения, бактериальных и биологических препаратов и др. [6, 7].

Однако в научной литературе очень мало сведений об эффективности полностью биологизированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в органическом земледелии. Более того, зафиксированы случаи снижения урожайности при возделывании культур в органическом земледелии [7, 8, 9].

Высокая засоренность посевов полевых культур приводит к существенному недобору урожая зерна. По статистике прямой ущерб от сорняков составляет не менее 3...5 ц/га зерна, 13...17 ц/га овощей и картофеля от фактического урожая [10, 11, 12]. В связи с этим регулирование количества сорных растений в посевах культур является одним из главных приемов повышения их продуктивности [13].

Цель исследования – оценка эффективности биологизированной технологии возделывания пшеницы мягкой озимой, позволяющей при полном исключении минеральных удобрений и химических средств защиты, поддерживать продуктивность, не уступающей интенсивной технологии, с более высокими экономическими показателями в почвенно-климатических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в Ульяновской обл. (Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.С. Немцева – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского исследовательского центра Российской академии наук) в 2020–2022 годах.

Эксперименты выполняли на пшенице мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) сорта Марафон. Сорт устойчив к полеганию, умеренно восприимчив к бурой ржавчине и септориозу.

Варианты опыта различались уровнем интенсификации и биологизации: интенсивная (технология 1) и биологизированная (технология 2) технологии возделывания.

Интенсивная технология предусматривала предпосевную обработку семян препаратами Табу, ВСК (0,4 л/га), Виал Траст, ВСК (0,3 л/га), Агростимулин, ВСП (10 мл/т семян), обработку посевов в период вегетации гербицидом Балерина Супер, СЭ (0,3 л/га), инсектицидом Борей Нео, СК (0,2 л/га), фунгицидом Колосаль Про, КМЭ (0,3 л/га), а также внесение минеральных удобрений в расчетных нормах NPK ($N_{16}P_{16}K_{16}$ – 30% от общей дозы при посеве, NH_4NO_3 – 35% в первую подкормку весной в фазе кущения, N_{30} – 15% во вторую подкормку в фазе трубкования, дополнительная подкормка – 20% в фазе колошения) для достижения программируемого уровня урожайности зерна 4 т/га. Кроме того, проводили внекорневую подкормку росторегулирующим препаратом Агростимулин, ВСП (10 мл/га) и внесение азота в дозе 10 кг д.в. на 1 т соломы после сбора урожая.

Биологизированная технология включала предпосевную обработку семенного материала биопротравителем Фитоспорин-МЖ (2 л/т семян) совместно с прилипателем Биолипостим (0,4 л/т) и комплексным удобрением Борогум-М (0,3 л/га), опрыскивание посевов в период вегетации биофунгицидом Фитоспорин-МЖ (АС) (1 л/га), биоинсектицидом BioSleep BW (3 л/га), листовую подкормку биостимулятором роста Борогум-М комплексный (0,3 л/га), а также внесение деструктора стерни Стерня-12 (3 л/га). Внесение минеральных удобрений при выращивании культуры по биологизированной технологии не проводили. Регулирование засоренности посевов представляет наибольшую сложность при биологизированной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, ввиду отсутствия

эффективных биологических препаратов для борьбы с сорняками.

Исследования проводили на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом (содержание гумуса 7,0% (по ГОСТ 26213-91), P_2O_5 263 мг/кг, K_2O 117 мг/кг почвы (по ГОСТ 26204-91), pH_{HCl} 6,5 (по ГОСТ 58594-2019).

Полевой опыт по изучению технологий возделывания озимой пшеницы – однофакторный стационарный с рендомизированным размещением делянок, 3-х кратной повторностью, учетная площадь делянок 100 м² (25×4). Предшественник – горох.

Посев осуществляли зерновой сеялкой СЗ-5,4 с нормой высева 5,5 млн. шт./га на глубину 4 см. Технология обработки почвы и ухода за посевами по интенсивной технологии – общепринятая для Ульяновской области [14]

Метеоусловия за вегетацию озимой пшеницы значительно варьировали в период проведения исследований – 2020 и 2022 годы были избыточно увлажненными (гидротермический коэффициент составил 1,3 и 1,6 соответственно), 2021 год отмечен как засушливый (ГТК 0,5). В 2020 году за апрель-август выпало осадков в количестве 338 мм, в 2021 году – 172 мм, в 2022 году 351 мм (при норме 252 мм) (рис. 1).

Распределение осадков по месяцам было крайне неравномерно. Анализ динамики осадков за период вегетации озимой пшеницы выявил значительные межгодовые колебания. Наиболее увлажненным был 2020 год, характеризовавшийся обильными осадками в июне (101 мм в первой декаде) и августе (68,9 мм во второй декаде). В засушливом 2021 году количество осадков в большинстве месяцев было значительно ниже средних многолетних значений. В частности, во второй декаде мая осадки не выпадали, а в июне и августе их количество было незначительным (0,9 и 4,8 мм во второй декаде соответственно). В 2022 году осадки распределялись более равномерно, однако в июле их количество достигло наибольших значений (92,7 мм во второй декаде) (рис. 1).

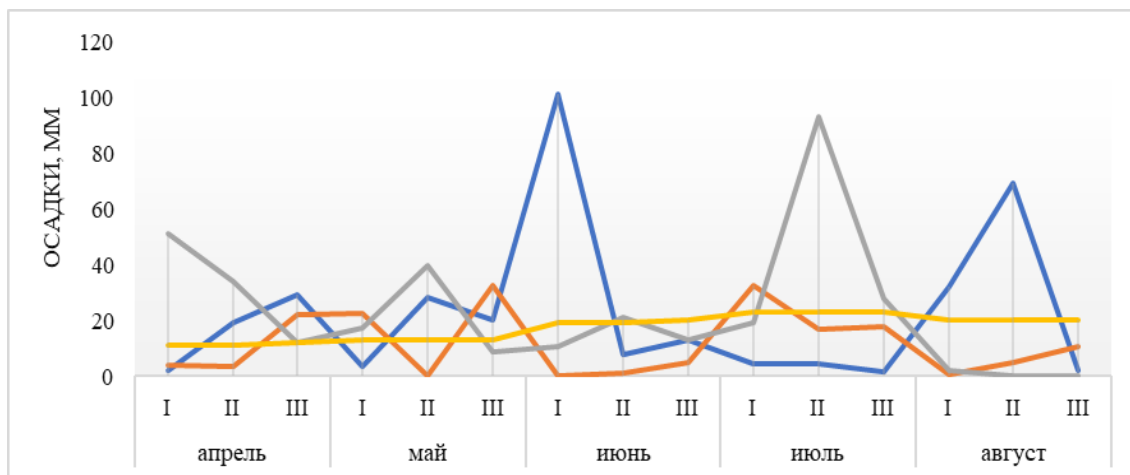


Рис. 1 – Динамика осадков за период вегетации озимой пшеницы, мм

Анализ динамики среднесуточной температуры воздуха за период вегетации озимой пшеницы показывает значительные различия по годам. В 2021 году наблюдали устойчивую тенденцию к повышению температуры, превышающей средние многолетние значения. Наиболее выраженным это превышение было в мае, когда во второй декаде зафиксирована

температура 22,7°C при среднемноголетнем значении 13,3°C (превышение на 9,4°C), и в июне, когда в третьей декаде температура достигла 27,1°C при среднемноголетнем значении 19,1°C (превышение на 8°C). В 2022 году на протяжении всего вегетационного периода наблюдали относительно стабильные температурные условия (рис. 2).

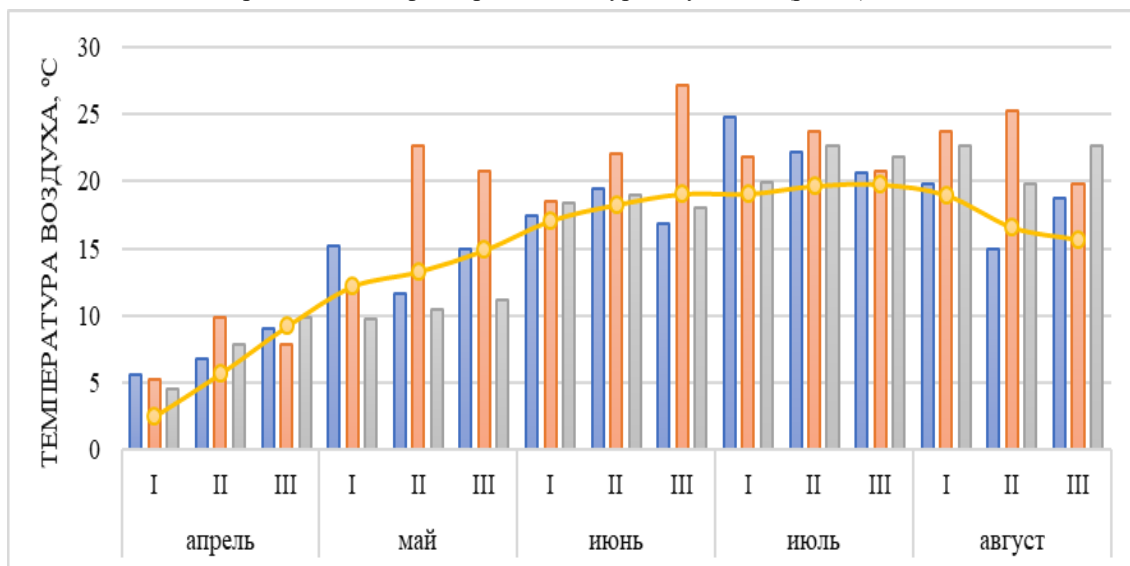


Рис. 2 – Динамика среднесуточной температуры воздуха за период вегетации озимой пшеницы

Учет засоренности посевов озимой пшеницы в зависимости от технологии возделывания (интенсивная и биологизированная) проводили количественно-весовым методом: до обработки гербицидом (полное кущение культуры) и перед уборкой (полная спелость), урожайность изучаемой культуры – методом сплошного обмолота. Качество полученного урожая озимой пшеницы оценивали по следующим методикам: натура зерна по ГОСТ 10840-2017, масса 1000 семян по ГОСТ ISO 520-2014, содержание белка и клейковины экспресс методом в цельном зерне без размола на Инфраматике 9200.

Математическую обработку данных выполняли методом однофакторного дисперсионного анализа (AGROS209).

Результаты и обсуждение. Анализ засоренности посевов озимой пшеницы выявил доминирование яровых ранних и поздних сорных растений, представленных, главным образом, марью белой (*Chenopodium album* L.) и щетинником сизым (*Setaria glauca* L.). Среди зимующих видов преобладали пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.) и подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.). Многолетние сорные растения были представлены осотом полевым (*Sonchus arvensis* L.) и выюнком полевым (*Convolvulus arvensis* L.). При этом доля яровых сорняков составляла 68...82% (в среднем 78% за 2020–2022 годы), а многолетних – 18...32% (в среднем 22%) от общего количества сорных растений.

Исходная засоренность посевов озимой пшеницы, возделываемой по интенсивной технологии (технология 1), до применения гербицида была в среднем на 14% ниже, чем в варианте с биологизированной технологией (технология 2). Этот факт обусловлен проведением химической прополки посевов гороха посевного (предшественника озимой пшеницы) в предыдущем году в рамках интенсивной технологии. Применение гербицида Балерина Супер, СЭ (на основе 2,4-Д кислоты, 410 г/л, и флорасулама, 15 г/л) на посевах озимой пшеницы в соответствии с разработанной схемой обеспечило снижение количества и массы сорняков в 3,5 и 2,0 раза соответственно, по сравнению с биологизированной технологией. Техническая эффективность гербицида в среднем за 3 года составила 62,6% против однолетних и 55,7% против многолетних сорняков (табл. 1).

Наибольшую засоренность посевов озимой пшеницы отмечали при возделывании культуры по биологизированной технологии, где химический прием борьбы с сорными растениями отсутствовал. Перед уборкой количество малолетних сорняков на посевах, выращенных по биологизированной технологии (технология 2), составляло 31 шт./м², что на 219% больше, чем при использовании интенсивной технологии (технология 1), где этот показатель составлял 9,7 шт./м². Количество многолетних сорняков также увеличилось на 244% и достигло 9,3 шт./м² против 2,7 шт./м² при интенсивной технологии.

Таблица 1 – Влияние различных агротехнологий на количественный и видовой состав сорных растений под посевами озимой пшеницы

Технология	До обработки			Перед уборкой			Биологическая эффективность средств защиты, %	
	численность сорняков, шт./м ²		сырая масса сорняков, г/м ²	численность сорняков, шт./м ²		сырая масса сорняков, г/м ²	мало-летних	много-летних
	мало-летних	много-летних		мало-летних	много-летних			
2020 год								
Интенсивная	32,0	7,0	142	15,0	3,0	47	53,1	57,1
Биологизированная	37,0	10,0	160	30,0	11,0	216	0,0	0,0
2021 год								
Интенсивная	15,0	5,0	67	4,0	2,0	28	73,3	60,0
Биологизированная	16,0	8,0	80	16,0	8,0	39	0,0	0,0
2022 год								
Интенсивная	26,0	6,0	133	10,0	3,0	75	61,5	50,0
Биологизированная	42,0	9,0	210	47,0	9,0	265	0,0	0,0
Среднее за 2020–2022 годы								
Интенсивная	24,3	6,0	114	9,7	2,7	49,7	62,6	55,7
Биологизированная	25,6	9,0	150	31,0	9,3	174	-	-

В лесостепной зоне Поволжья метеорологические условия вегетационного периода оказывают существенное влияние на урожайность озимой пшеницы. В благоприятные 2019–2020 годы урожайность достигала 3,54... 3,69 т/га (табл. 2). При этом биологизированная технология, несмотря на более высокую засоренность, обеспечила урожайность, сопоставимую с интенсивной технологией, основанной на применении минеральных удобрений и химических средств защиты растений. В среднем за 2020–2022 годы урожайность озимой пшеницы, выращиваемой по интенсивной и биологизированной технологиям, составила 3,2 и 3,19 т/га соответственно. Вероятно, это связано с тем, что в состав препаратов, используемых в биологизированной технологии,

входят не только полезные микроорганизмы и грибы, но и комплекс микро- и макроэлементов, стимулирующих рост и развитие растений и, как следствие, повышающих урожайность.

В засушливый 2021 год урожайность озимой пшеницы, выращиваемой по интенсивной технологии, снизилась на 1,55 т/га, а по биологизированной технологии – на 1,18 т/га, по сравнению с предыдущим годом. В засушливых условиях биологизированная технология возделывания озимой пшеницы обеспечила достоверно более высокую урожайность на 0,22 т/га, по сравнению с интенсивной технологией. При этом следует иметь в виду, что почва опытного поля обеспечена элементами питания в достаточно высокой степени.

Таблица 2 – Урожайность озимой пшеницы сорта Марафон в зависимости от технологий возделывания, т/га

Технология	2020 год	2021 год	2022 год	Среднее
Интенсивная	3,69	2,14	3,78	3,20
Биологизированная	3,54	2,36	3,71	3,19
НСР ₀₅	0,21	0,20	0,19	0,20

Во все годы исследований при возделывании озимой пшеницы по интенсивной технологии формировалось зерно с более высоким содержанием сырого белка (на 2,0...2,2%) и сырой клейковины (на 2,1...3,9%), по сравнению с биологизированной технологией (табл. 3).

Ключевым показателем, характеризующим физические свойства зерна, считают его массу в единице объема, или натуру.

Продовольственное зерно согласно ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия» должно иметь объемную массу не менее 710 г/л. В 2021 году в зависимости от применяемых технологий возделывания, натура зерна оказалась ниже показателей 2020 и 2022 годов, варьируя в диапазоне от 708 до 715 г/л. Отмечено, что натура зерна была ниже при применении биологизированной технологии во все годы на 5...14 г/л, в сравнении с интенсивной.

Таблица 3 – Влияние технологий возделывания на качественные показатели зерна озимой пшеницы

Годы	Технология возделывания		Среднее	НСР ₀₅
	интенсивная	биологизированная		
Сырая клейковина, %				
2020	24,7	22,6	23,7	1,08
2021	28,9	25,0	26,4	1,16
2022	25,5	22,0	23,4	0,89
Среднее	26,4	23,2	24,5	
Сырой белок, %				
2020	12,5	10,5	11,5	0,63
2021	14,5	12,5	13,1	0,69
2022	12,6	10,4	11,2	0,94
Среднее	13,2	11,1	12,0	
Наура зерна, г/л				
2020	760	755	756	3,87
2021	715	708	708	5,47
2022	777	763	768	4,44
Среднее	751	742	744	

Анализ технологических карт за период 2020–2022 годов показал, что производственные затраты при использовании интенсивной технологии составили в среднем 17727 руб./га (табл. 4). При применении биологизированной технологии затраты снижались в 1,6 раза, достигая 10863 руб./га. В результате условно чистый доход по биологизированному

варианту составил 13477 руб./га, а уровень рентабельности – 123%, что значительно превышает показатели интенсивной технологии (53%). Наибольшую долю производственных затрат при возделывании озимой пшеницы по интенсивной технологии (технологии 1) занимали минеральные удобрения и средства защиты растений (более 60%).

Таблица 4 – Экономическая оценка технологий возделывания озимой пшеницы (2020–2022 годы)

Технология	Стоимость продукции, руб.	Производственные затраты, руб./га	Условно чистый доход, руб./га	Себестоимость продукции, руб./ц	Уровень рентабельности, %
2020 год					
Интенсивная	25830	16461	9369	446	56
Биологизированная	24780	10210	14570	288	142
2021 год					
Интенсивная	17120	17191	8489	803	49
Биологизированная	18880	10200	8680	432	85
2022 год					
Интенсивная	30240	19530	10710	516	55
Биологизированная	29360	12180	17180	332	141
2020–2022 годы					
Интенсивная	24397	17727	9523	589	53
Биологизированная	24340	10863	13477	351	123

Выводы. Отсутствие гербицидной обработки в биологизированной технологии выращивания озимой пшеницы привело к увеличению уровня засоренности посевов более чем в 2 раза, как по численности сорняков (до 40,3 шт./м²), так и по их массе (до 323,4 г/м²). В посевах изучаемой культуры из сорных растений преобладали малолетние виды, на долю которых приходилось 78% от общего количества сорных растений.

При полном исключении минеральных удобрений и пестицидов продуктивность озимой пшеницы по биологизированной агротехнологии не уступала интенсивной (соответственно 3,19 и 3,20 т/га). Внесение расчетной дозы минеральных удобрений

на планируемую урожайность при интенсивной технологии способствовало увеличению показателей содержания сырого белка (13,2%) и сырой клейковины (26,4%) в зерне озимой пшеницы, в варианте с биологизированной технологией качественные показатели снижались соответственно до 11,1 и 23,2%.

Наиболее выгодно (рентабельность 123%) производство зерна по биологизированной технологии, применение которой обеспечило получение более высокого условно чистого дохода – 13477 руб./га. При использовании интенсивной технологии уровень рентабельности производства составил 53%, условно чистый доход – 9 523 руб./га.

Литература

1. Прогноз научно-технического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Минсельхоз России, Нац. Исслед. Ун-т «высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/264/264dfabe7e526b6a79ffe5697c34ed4f.pdf> (дата обращения: 25.04.25).
 2. Федеральный закон «об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации от 30.08.2018 № 280-ФЗ» (последняя редакция). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304017/ (дата обращения: 25.04.25).
 3. Лошаков В. Г. Зеленые удобрения в земледелии России. М.: Изд-во ВНИИ.А, 2015. 300 с.
 4. Зеленский Н. А. Приемы биологизации при возделывании кукурузы на светло-серых лесных почвах Нижегородской области // Земледелие. 2019. № 8. С. 3–5. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10801.
 5. Дедов А. В. Влияние приемов биологизации на плодородие черноземных почв ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 5. №3 (74). С. 41–50.
 6. A. Toigildin. Biologization of farming and rejuvenation of soil fertility in the forest-steppe zone of the Volga region // Ambient Science. 2019. Vol. 6. No. 2. P. 21–25.
 7. The interplay between microbial communities and soil properties / L. Philippot, C. Chenu, A. Kappler, et al. // Nat Rev Microbiol. 2024. Vol. 22. P. 226–239.
 8. Improving the elements of technology for growing winter wheat in order to ensure moisture conservation in conditions of climate change / A. L. Lukin, N. V. Podlesnykh, T. P. Nekrasova, et al. // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2022. Vol. 15. No. 3 (74). P. 51–58. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_51.
 9. Койнова А. Н. Биологизация земледелия: реалии и перспективы // Агрофорум. 2019. №7. С. 41–47.
 10. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2024 году и прогноз развития средних объектов в 2025 году. URL: <https://rosselhocenter.ru/obzory-i-prognozy/> (дата обращения: 25.04.25).
 11. Федоров В. Г., Малов Н. Й. Экологическая оценка ущерба, причиняемого земледелию и зерновому производству сорными растениями // Вестник ЧГУ. 2013. № 4. С. 420–423.
 12. Тимофеева А. М., Галямова М. Р., Седых С. Е. Биологическая активность почвенных бактерий, стимулирующих рост растений: фиксация азота, солюбилизация фосфата, синтез сидерофоров. Перспективы разработки микробных консорциумов // Агрохимия. 2024. № 5. С. 85–95.
 13. Амиров М. Ф., Шайхутдинов Ф. Ш., Сержанов И. М. Агробιοлогические основы формирования высококачественного урожая зерна видов яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № S4-1 (55). С. 5–9. doi: 10.12737/2073-0462-2020-5-9.
 14. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области / А. В. Дозоров, В. А. Исaiчев, С. Н. Никитин и др. 2-е издание, дополненное и переработанное. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2017. 448 с.
- Сведения об авторах:**
 Тойгильдин Александр Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, e-mail: atoigildin@yandex.ru
 Ермолаева Галина Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур, e-mail: Galina_83@list.ru
 Никифорова Светлана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур, e-mail: nikiforova11@yandex.ru
 Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.С. Немцева - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Ульяновск, Россия

EFFICIENCY OF BIOLOGIZED WINTER WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF MIDDLE VOLGA REGION

A. L. Toygildin, G. V. Ermolaeva, S. A. Nikiforova

Abstract. The studies were conducted to assess the efficiency of biologized soft winter wheat cultivation technology, which allows maintaining productivity at the level of intensive technology with the complete exclusion of mineral fertilizers and chemical pesticides. The experiments were carried out in Ulyanovsk region in 2020-2022 on winter wheat crops after field peas on leached heavy loamy chernozem (humus – 7.0%, P₂O₅ – 263 mg/kg, K₂O – 117 mg/kg, pH_{KCl} – 6.5). The intensive technology included pre-sowing seed treatment (Tabu, Vial Trast, Agrostimulin), herbicide (Ballerina Super), insecticide (Borey Neo) and fungicide (Kolosal Pro) treatment of crops, application of mineral fertilizers (NPK for a yield of 4 t/ha), as well as foliar feeding (Agrostimulin) and application of nitrogen (10 kg active ingredient/t of straw). The biologized technology included pre-sowing seed treatment (Fitosporin-MZh, Biolipostim, Borogum-M), plant protection measures (Fitosporin-MZh, BioSleep BW), foliar feeding (Borogum-M complex) and application of a stubble destructor (Stubble-12). The weed infestation of the experimental plot was estimated as average, the share of spring weeds was 68...82%, perennial weeds – 18...32% of their total number. The advantage of intensive technology in combating weed infestation of crops was a decrease in the biomass and number of weeds, in comparison with the biologized one, by 2.5 and 3.0 times. At the same time, despite the complete exclusion of mineral fertilizers and chemical plant protection products, the productivity of winter wheat in the variant with biologized agricultural technology was not inferior to the intensive one (respectively 3.19 and 3.20 t / ha). At the same time, grain production with its use was more profitable (123%), which ensured a higher conditional net income – 13,477 rubles/ha.

Key words: soft winter wheat (*Triticum aestivum*), cultivation technology, weed infestation of crops, crop productivity, crop quality, economic efficiency.

References

1. Forecast of scientific and technical development of agro-industrial complex of the Russian Federation for the period

up to 2030. [Internet]. Ministry of Agriculture of Russia, National Research University "Higher School of Economics". Moscow: NIU VShE. 2017; 140 p. [cited 2025, April 25]. Available from: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/264/264dfabe7e526b6a79ffe5697c34ed4f.pdf>.

2. Federal law "On organic products and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation dated 30.08.2018 No. 280-FZ" (latest revision). [Internet]. Consultant. [cited 2025, April 25]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304017/.

3. Loshakov VG. Zelenye udobreniya v zemledelii Rossii. [Green fertilizers in agriculture of Russia]. Moscow: Izd-vo VNII.A. 2015; 300 p.

4. Zelenskiy NA. [Biologization techniques in corn cultivation on light gray forest soils of Nizhniy Novgorod region]. Zemledelie. 2019; 8. 3-5 p. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10801.

5. Dedov AV. [The influence of biologization techniques on the fertility of chernozem soils of Central Chernozem region]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.5. 3 (74). 41-50 p.

6. Toygildin A. Biologization of farming and rejuvenation of soil fertility in the forest-steppe zone of Volga region. Ambient Science. 2019; Vol.6. No.2. 21-25 p.

7. Philippot L, Chenu C, Kappler A. The interplay between microbial communities and soil properties. Nat Rev Microbiol. 2024; Vol.22. 226-239 p.

8. Lukin AL, Podlesnykh NV, Nekrasova TP. Improving the elements of technology for growing winter wheat in order to ensure moisture conservation in conditions of climate change. Bulletin of Voronezh State Agrarian University. 2022; Vol.15. No.3 (74). 51-58 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_51.

9. Koynova AN. [Biologization of agriculture: realities and prospects]. Agroforum. 2019; 7. 41-47 p.

10. Review of the phytosanitary condition of agricultural crops in the Russian Federation in 2024 and forecast for the development of medium-sized objects in 2025. [Internet]. Russian agricultural center. [cited 2025, April 25]. Available from: <https://rosselhocenter.ru/obzory-i-prognozy/>.

11. Fedorov VG, Malov NI. [Environmental assessment of damage caused to agriculture and grain production by weeds]. Vestnik ChGU. 2013; 4. 420-423 p.

12. Timofeeva AM, Galyamova MR, Sedykh SE. [Biological activity of soil bacteria that stimulate plant growth: nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophores synthesis. Prospects for the development of microbial consortia]. Agrokimiya. 2024; 5. 85-95 p.

13. Amirov MF, Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM. [Agrobiological foundations for the formation of a high-quality grain yield of spring wheat species in the forest-steppe of Middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. S4-1 (55). 5-9 p. doi: 10.12737/2073-0462-2020- 5-9.

14. Dozorov AV, Isaychev VA, Nikitin SN. Adaptivno-landshaftnaya sistema zemledeliya Ulyanovskoy oblasti: 2-e izdanie, dopolnennoe i pererabotannoe. [Adaptive landscape farming system of Ulyanovsk region: 2nd edition, supplemented and revised. Ulyanovsk: Ulyanovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. P.A. Stolypina, 2017; 448 p.

Authors:

Toygildin Aleksandr Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director, e-mail: atoigildin@yandex.ru
Ermolaeva Galina Vladimirovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Agriculture and Crops Cultivation Technologies, e-mail: Galina_83@list.ru

Nikiforova Svetlana Aleksandrovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Agriculture and Crops Cultivation Technologies, e-mail: nikiforova11@yandex.ru

Ulyanovsk Research Institute of Agriculture, Branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДОВ УДОБРЕНИЙ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОРОШЕНИИ
НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАРТОФЕЛЯ
В УСЛОВИЯХ ЗАКАМЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН****Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Гараев, К. Н. Давлетов**

Реферат. Исследования проводили с целью оценки влияния минеральных и различных видов органических удобрений на урожайность и качество клубней картофеля при орошении для разработки системы удобрения культуры. Работу выполняли в 2023–2024 годах на выщелоченном черноземе Закамской зоны Республики Татарстан. Схема полевого опыта предусматривала изучение на богаре и при орошении следующих вариантов: без удобрений (контроль); $N_{60}P_{60}K_{90}$; навоз 60 т/га; $N_{60}P_{60}K_{90}$ + навоз; $N_{60}P_{60}K_{90}$ + зеленая масса горчицы масличной 12 т/га (сидерат); $N_{60}P_{60}K_{90}$ + сидерат + солома озимой пшеницы 4,5 т/га; $N_{60}P_{60}K_{90}$ + навоз + солома; навоз + сидерат + солома. Агрометеорологические условия в 2023 году были относительно благоприятными (ГТК – 1,06), в 2024 году – засушливыми (ГТК 0,6...0,8). В среднем за 2 года при орошении урожайность картофеля была выше, чем на богаре, в зависимости от фона питания на 8,54...18,57 т/га. Максимальный в опыте сбор клубней с единицы площади (41,49 т/га) отмечен в варианте с внесением $N_{60}P_{60}K_{90}$, навоза и соломы, что на 21,37 т/га больше, чем в контроле. Содержание крахмала в клубнях, независимо от фона питания, при орошении снижалось на 0,6...1,6%, по сравнению с богарой. Общий сбор крахмала с единицы площади увеличивался благодаря повышению урожая. В варианте с внесением $N_{60}P_{60}K_{90}$, навоза и соломы, как на богаре, так и при орошении, сбор крахмала был максимальным – 3,59...6,03 т/га. Наиболее высокие экономические показатели отмечены в варианте, где минеральные удобрения вносили совместно с навозом и соломой – прибыль на орошении составила 217200 руб./га, на богаре – 94000 руб./га, что соответственно на 89490 и 39060 руб./га больше, чем при внесении только минеральных удобрений.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum*), удобрение, урожай, крахмал, орошение, экономические показатели.

Введение. В последние годы состояние подотрасли картофелеводства в Среднем Поволжье характеризуется сокращением площадей возделывания и низкой урожайностью [1, 2, 3]. Главный путь увеличения продуктивности этой весьма важной продовольственной культуры нашей страны представляется в совершенствовании технологии ее выращивания [4, 5, 6]. Сейчас практически во всех хозяйствах Республики Татарстан, где выращивают картофель, применяют технологии возделывания культуры с использованием различных удобрений, основной целью которых выступает повышение продуктивности [7, 8, 9]. Известно, что Республика Татарстан находится в зоне неустойчивого увлажнения, чем нередко обусловлены большие колебания в урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе картофеля [10].

В связи с развитием поливного земледелия и возрастающим завозом минеральных удобрений определенный интерес представляет разработка приемов получения гарантированных урожаев картофеля при орошении и на богаре [11, 12, 13]. Наличие водных ресурсов и поливной техники позволяет часть картофеля размещать на поливе [14, 15, 16].

В условиях Закамской зоны Республики Татарстан можно достигнуть высоких урожаев клубней картофеля только при условии выполнения передовых приемов выращивания культуры, включающих посадку оздоровленными семенными клубнями, рациональное использование органических и минеральных удобрений [17, 18, 19].

Цель исследований – оценка влияния минеральных и различных видов органических удобрений на урожайность и качество клубней картофеля при орошении для разработки системы удобрения культуры.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2023–2024 годах в КФХ Давлетов Н.Г. в 4-польном овощном севообороте с чередованием культур: озимые – картофель – морковь – капуста.

Схема полевого опыта предполагала изучение следующих вариантов: удобрения (фактор А) – без удобрений (контроль), $N_{60}P_{60}K_{90}$, навоз 60 т/га, $N_{60}P_{60}K_{90}$ + навоз, $N_{60}P_{60}K_{90}$ + сидерат (зеленая масса горчицы масличной 12,5 т/га), $N_{60}P_{60}K_{90}$ + сидерат + солома озимой пшеницы 4,5 т/га, $N_{60}P_{60}K_{90}$ + навоз + солома, навоз + сидерат + солома; орошение (фактор В) – без орошения, орошение дождеванием. Повторность 3-кратная. Размер делянок 100 м².

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, характеризуется в пахотном слое мощностью 25...27 см нейтральной реакцией среды (рН_{сол} – 6,0...6,2), содержанием гумуса по Тюрину – 5,7...5,9%, подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 240...250 и 230...232 мг/кг.

На опытном участке с осени проводили зяблевую вспашку, весной – перепашку. Схема посадки – 75×25 см, посадку осуществляли картофелесажалкой HASSCA на глубину 10...12 см. Норма посадки составляла 50 тыс. клубней массой (по 60...80 г каждый) на 1 га. Использовали сорт Гала. Междурядные обработки выполняли в зависимости от состояния

почвы, во время вегетации. В оба года исследований провели по одному рыхлению междурядий и по два окучивания. Полив производили в фазе бутонизации картофеля и два раза в период клубнеобразования из расчета 400 м³ воды на 1 га дождевальная установкой Vulin.

В опытах проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием растений, учет листовой поверхности, определение влажности почвы послойно на глубину 60 см через 10 см каждые 12...15 дней.

Урожай учитывали сплошным методом, данные обрабатывали методом дисперсионного анализа (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).

6-е изд., стереотип. М.: ИД Альянск, 2011. 352 с.) с использованием программы Microsoft Excel.

В 2023 году метеорологические условия были благоприятными для роста и развития растений картофеля. ГТК за вегетацию картофеля составил 1,06 ед. В 2024 году первая половина лета была благоприятной как по тепловому режиму, так и по влагообеспеченности для растений картофеля. Вторая половина лета (июль-август) была засушливой (ГТК – 0,6...0,8).

Результаты и обсуждение. Фотосинтетическая деятельность растений картофеля сорта Гала при применении орошения и удобрений существенно изменялась (табл. 1).

Таблица 1 – Основные показатели фотосинтетической деятельности растений (среднее за 2023–2024 годы)

Удобрения (фактор А)	Листовая поверхность в фазе бутонизации, тыс.м ² /га	Среднесуточный прирост абсолютно сухой биомассы, кг/га	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² сутки	Фотосинтетический потенциал, млн. м ² дней/га
Без орошения (фактор В)				
Контроль	12,4	53,6	7,0	0,81
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	21,5	88,5	5,8	1,37
Навоз 60 т/га	18,7	70,0	5,9	1,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	25,5	93,6	5,3	1,49
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	23,4	90,5	5,4	1,41
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	27,6	105,4	5,0	1,45
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз + солома	28,3	109,8	5,2	1,52
Навоз + сидерат + солома	22,7	80,3	6,2	1,26
Среднее	22,5	86,5	5,7	1,31
Орошение				
Контроль	16,3	76,6	6,3	1,22
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	36,2	120,1	4,8	2,69
Навоз 60 т/га	31,6	90,8	4,9	1,47
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	38,7	130,7	4,5	2,75
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	36,5	125,0	4,4	2,76
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	38,9	145,0	4,2	2,78
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	40,8	152,0	4,2	2,80
Навоз + сидерат + солома	34,7	110,7	5,5	1,75
Среднее	34,2	118,9	4,9	2,28
Среднее				
Контроль	14,3	65,1	6,7	1,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	28,9	104,3	5,3	2,03
Навоз 60 т/га	25,5	80,4	5,4	1,34
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	32,1	112,2	4,9	2,12
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	30,0	107,8	4,9	2,09
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	33,3	125,2	4,6	2,12
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	34,6	130,9	4,7	2,15
Навоз + сидерат + солома	28,7	95,5	5,8	1,51
Среднее	28,4	102,7	5,3	1,80
HCP ₀₅ А	0,3	0,3	0,2	0,1
В	0,2	0,2	0,2	0,6
АВ	1,0	0,3	1,1	0,7

В вариантах, где вносили различные виды удобрений как по отдельности, так и в сочетании, растения картофеля отличались по площади листовой поверхности, фотосинтетическому потенциалу на богаре и особенно при орошении. Максимальная площадь листьев отмечена в варианте с орошением при совместном внесении минеральных удобрений с навозом и заделкой соломы в почву – 40,8 тыс. м²/га, что больше контрольного варианта на 24,5 тыс. м²/га, показатель фотосинтетического потенциала больше

в 2,3 раза, чем на фоне без удобрений. Благодаря этим показателям обеспечивался высокий среднесуточный прирост биомассы – на 98,4% больше, чем в контроле. На богаре при внесении N₆₀P₆₀K₉₀ с навозом 60 т/га и соломой величина этих показателей была ниже, чем при орошении на 44,2, 84,2 и 38,4% соответственно.

Все виды внесенных удобрений способствовали повышению урожайности картофеля, как на богаре, так и при орошении (табл.2).

Таблица 2 – Урожайность клубней картофеля в зависимости от орошения и удобрений, т/га

Удобрения (фактор А)	2023 год	2024 год	В среднем за 2 года	Прибавка, т/га	
				от удобрений	от орошения
Без орошения (фактор В)					
Контроль	12,03	11,12	11,58	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	19,65	16,80	18,23	6,65	-
Навоз 60 т/га	18,83	15,92	17,38	5,80	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	23,90	18,75	21,33	9,75	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	22,02	17,46	19,74	8,16	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + соло- ма	23,82	19,43	21,63	10,05	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз + солома	24,64	21,20	22,92	11,34	-
Навоз + сидерат + солома	22,83	18,91	20,87	9,29	-
Среднее	20,97	17,45	21,95	8,72	-
Орошение					
Контроль	21,18	19,06	20,12	-	8,54
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	34,59	31,13	32,86	12,74	14,63
Навоз 60 т/га	33,15	29,83	31,49	11,37	14,11
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	42,0	37,8	39,9	19,78	18,57
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	38,76	34,88	36,82	16,70	17,08
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + соло- ма	41,93	37,73	39,83	19,71	18,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз + солома	43,38	39,04	41,49	21,37	18,57
Навоз + сидерат + солома	40,19	36,17	38,18	18,06	17,31
Среднее	36,90	33,21	36,09	17,10	15,88
Среднее					
Контроль	16,61	15,09	15,85	-	8,54
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	27,12	23,97	25,55	9,70	14,63
Навоз 60 т/га	25,99	22,88	24,44	8,59	14,11
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	32,95	28,28	30,62	14,77	18,57
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	30,39	26,17	28,28	12,43	17,08
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + соло- ма	32,88	28,58	30,73	15,11	18,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	34,01	30,12	32,07	16,36	18,57
Навоз + сидерат + солома	31,51	27,54	29,53	13,68	17,31
Среднее	25,54	25,33	27,13	12,95	15,88
НСП ₀₅ А	0,03	0,01	0,06		
В	0,05	0,02	0,08		
АВ	0,05	0,02	0,08		

В среднем за 2 года максимальный в опыте урожай клубней картофеля отмечен в варианте с внесением органических и минеральных удобрений (N₆₀P₆₀K₉₀ + навоз 60 т/га + солома). При орошении урожайность составила 41,49 т/га, прибавка от удобрений, по сравнению с контролем, составила 21,37 т, тогда как без орошения сбор клубней от использования этого агроприема увеличивался на 11,34 т/га. Агрономический эффект от орошения по вариантам опыта варьировал от 73,7 до 81,0%.

Выявлена тенденция снижения содержания крахмала в клубнях, выращенных

при орошении, по сравнению с богарой, а также с ростом урожайности, что согласуется с исследованиями ряда ученых в условиях Республики Татарстан [20]. Тем не менее, выход крахмала с единицы площади с ростом урожайности значительно увеличивается. Возделывание картофеля на орошении при урожайности клубней в среднем за 2 года в контрольном варианте 20,12 т/га обеспечивает выход крахмала 3,26 т/га, при внесении органических и минеральных удобрений величина этого показателя достигает 6,03 т/га, что больше контроля на 2,77 т/га, или 93,3% (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание и выход крахмала в зависимости от внесения удобрений и орошения

Удобрения (фактор А)	2023 год		2024 год		В среднем за 2 года выход крахмала, т/га	Прибавка в % к контролю в среднем за 2 года	
	содержание крахмала, %	выход крахмала, т/га	содержание крахмала, %	выход крахмала, т/га		клубней	крахмала
Без орошения (фактор В)							
Контроль	15,3	1,84	17,9	1,99	1,92	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	15,1	2,97	16,5	2,77	2,87	57,4	49,5
Навоз 60 т/га	15,4	2,90	16,9	2,69	2,80	50,1	45,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	15,2	3,63	16,7	3,13	3,38	85,1	76,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	14,8	3,26	16,0	2,79	3,03	70,5	71,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	14,8	3,53	16,2	3,15	3,34	86,8	74,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	15,0	3,70	16,4	3,48	3,59	97,9	87,0
Навоз + сидерат + солома	15,2	3,47	16,6	3,14	3,31	80,2	72,4
Среднее	15,1	3,16	16,70	2,89	3,03	75,43	68,1
Орошение							
Контроль	14,3	3,03	16,9	3,22	3,26	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	14,4	4,98	14,9	4,62	4,80	63,3	47,2
Навоз 60 т/га	14,6	4,84	15,7	4,68	4,76	56,5	46,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	14,3	6,01	15,3	5,78	5,90	58,3	81,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	14,2	5,50	15,0	5,23	5,37	83,0	64,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	14,2	5,95	15,0	5,66	5,81	98,0	78,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	14,1	6,12	15,2	5,93	6,03	106,2	93,3
Навоз + сидерат + солома	14,5	5,83	15,3	5,53	5,68	89,8	74,2
Среднее	14,33	5,28	15,4	5,08	5,48	79,3	69,2
Среднее							
Контроль	14,8	2,44	17,4	2,61	2,59	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	14,8	3,98	15,7	3,70	3,84	60,3	48,3
Навоз 60 т/га	14,9	4,46	16,1	3,73	3,78	53,3	45,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	14,7	4,57	15,9	4,52	4,64	71,7	78,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	14,5	4,78	15,5	4,01	4,20	76,8	68,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	14,5	4,74	15,7	4,26	4,58	92,4	76,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	14,6	4,91	15,9	4,70	4,81	102,1	90,2
Навоз + сидерат + солома	14,9	4,65	15,9	4,34	4,50	85,0	73,3
Среднее	14,7	4,27	14,1	3,98	4,12	77,4	68,7
НСР ₀₅ А	0,1	0,02	0,10	0,02			
В	0,1	0,05	0,14	0,05			
АВ	0,1	0,04	0,14	0,04			

Как при орошении, так и на богаре оптимальным был вариант с внесением N₆₀P₆₀K₉₀, 60 т/га навоза и 4,5 т/га соломы.

При использовании всех видов удобрений при выращивании картофеля в богарных условиях, и особенно на орошении, отмечена высокая экономическая эффективность (табл. 4).

Наиболее высокие экономические показатели были достигнуты в варианте,

с внесением навоза 60 т/га, измельченной соломы озимой пшеницы 4,5 т/га и минеральных удобрений в дозе N₆₀P₆₀K₉₀. При орошении чистый доход в этом варианте составил 217200 руб./га, что на 89490 руб./га больше, чем при внесении только минеральных удобрений. На богаре величина этих показателей составила соответственно 94000 и 39060 руб./га.

Таблица 4 – Экономическая эффективность использования удобрений при орошении и на богаре (среднее за 2022–2023 года)

Удобрения	Стоимость дополнительной продукции, руб./га	Затраты на дополнительную продукцию, руб./га					Чистый доход с 1 га, руб.	Дополнительная прибыль на 1 рубль затрат, руб.
		стоимость удобрений	затраты на внесение удобрений	затраты на полив	затраты на уборку, доработку и хранение дополнительной продукции	всего затрат		
Без орошения								
Контроль	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	86450	22300	7560	-	1650	31510	54940	1,74
Навоз 60 т/га	75400	14800	9750	-	1500	27050	48350	1,78
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	126750	34100	14310	-	1950	50350	76460	1,52
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	106080	32900	12560	-	1800	47260	58820	1,24
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	130650	32900	15060	-	2010	49970	80680	1,61
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	147030	34100	16810	-	2120	53030	94000	1,78
Навоз + сидерат + со- лома	120770	22400	13500	-	1980	47820	72950	1,52
С орошением								
Контроль	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	165620	22300	7560	3600	3450	37910	127710	3,36
Навоз 60 т/га	147810	14800	9750	3600	3020	34170	113640	3,24
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + навоз	257140	34100	14310	3600	5730	57740	199400	3,45
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	217100	32900	12560	3600	4900	53960	163140	3,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	256230	32900	15060	3600	5700	57260	198970	3,47
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ +навоз + солома	277810	34100	16810	3600	6100	60610	217200	3,60
Навоз + сидерат + солома	234780	22400	13500	3600	5200	54700	190080	3,47

Выводы. В среднем за 2 года максимальный в опыте сбор клубней картофеля с единицы площади отмечен в варианте с внесением органических и минеральных удобрений (N₆₀P₆₀K₉₀ + навоз 60 т/га + солома), достигавшая на богаре – 22,92 т/га, при орошении – 41,49 т/га. Прибавка от удобрений, по сравнению с контролем, составляла соответственно 11,34 и 21,37 т/га. Агрономический эффект от орошения по вариантам опыта варьировал от 73,7 до 81,0%.

Содержание крахмала в клубнях независимо от фона питания в оба года исследования при орошении снижалось на 0,6...1,6%, по сравнению с богарными условиями. Общий сбор крахмала с единицы площади увеличился в основном благодаря повышению

урожа. В варианте с внесением N₆₀P₆₀K₉₀ + навоз 60 т/га + солома как на богаре, так и при орошении сбор крахмала был максимальный – 3,59...6,03 т/га.

Совместное применение минеральных удобрений с органическими эффективнее и экономически выгоднее, чем раздельное, как при орошении, так и в богарных условиях. Наибольшая в опыте экономическая эффективность была достигнута в варианте, где минеральные удобрения вносили совместно с навозом и соломой, на орошении чистый доход составил 217200 руб./га, что на 89490 руб./га больше, чем при внесении только минеральных удобрений. На богаре величины этих показателей составила соответственно 94000 и 39060 руб./га.

Литература

- Артамонов С. Г., Владимиров В. П., Мостякова А. А. Формирование урожая и качество клубней среднераннего картофеля сорта гала в зависимости от вносимых доз калийных удобрений на серой лесной почве лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2 (53). С. 10–14. doi: 10.12737/article_5d3e161ebaba99.12538029.
- Владимиров В. П., Гайнутдинов М. Т., Чекумарев П. А. Расчетные дозы удобрений и формирование запланированного урожая картофеля в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2014. Т. 9. № 4 (34). С. 111–115. doi: 10.12737/7741.
- Шабанов А. Э., Киселев А. И., Зебрин С. Н. Продуктивность и качество новых сортов картофеля в зависимости от приемов агротехники // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 30–31.

4. Возделывание картофеля с использованием элементов биологической системы земледелия на серой лесной почве лесостепи Среднего Поволжья / В. П. Владимиров, А. Н. Кшникаткина, К. В. Владимиров и др. // Плодородие. 2020. № 3(114). С. 42–44. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.13.
5. Действие органических и минеральных удобрений и их сочетание при внесении под картофель на черноземах Закамья Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Гараев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2 (74). С. 39–43. doi: 10.12737/2073-0462-2024-39-43.
6. Влияние отдельных элементов технологии возделывания картофеля сорта Гала на урожайность клубней в условиях Закамья Республики Татарстан / К. Н. Давлетов, Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов и др. // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 1 (9). С. 20–26. doi: 10.12737/2782-490X-2024-20-26.
7. Спиридонов А. М., Бронштейн П. М., Рачеева А. И. Влияние новых удобрений на урожайность и качество картофеля // Аграрная Россия. 2020. № 2. С. 3–6. doi: 10.30906/1999-5636-2020-2-3-6.
8. Гаврилова А. Ю., Конова А. М., Чехалкова Л. К. Влияние применения возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля нового сорта «Смоляночка» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2(66). С. 62–69. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-62-69.
9. Чехалкова Л. К., Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Влияние доз минеральных удобрений, сроков и схем посадки на выход семенного и продовольственного картофеля новых сортов Забава и Смоляночка // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3(51). С. 68–75. doi: 10.18286/1816-4501-2020-3-68-75.
10. Михайлова М. Ю. Анализ продуктивности различных по продолжительности вегетационного периода гибридов кукурузы ООО «Отбор» в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 3 (11). С. 41–46. doi: 10.12737/2782-490X-2024-41-46.
11. Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region / X. Hou, R. Li, W. He, et al. // Journal of Soils and Sediments. 2018. Vol. 18. No. 3. P. 816–826.
12. Terra Rossa: A MidSeason Specialty Potato with Red Flesh and Skin and Resistance to Common Scab and Golden Cyst Nematode / C. C. Shock, C. R. Drown, V. Sathuvalli, et al. // American Journal of Potato Research. 2018. Vol. 95. P. 597–605. doi: 10.1007/s12230-018-9667-8.
13. Maharijaya A., Vosman B. Managing the Colorado potato beetle; the need for resistance breeding // Euphytica. 2015. Vol. 204. No. 3. P. 487–501.
14. О ходе реализации государственной программы развития сельского хозяйства и регулировании рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия // Аналитический вестник Совета Федерации РФ. 2021. № 9 (769). 176 с. URL: http://council.gov.ru/media/files/d4ApG8Uw6BKngD_d1JO3WsPDgllA-j1AEd.pdf (дата обращения: 15.02.2025).
15. Шабанов А. Э., Киселев А. И., Соломенцев П. В. Продуктивность и качество новых сортов картофеля российской селекции в разных условиях выращивания // Аграрный научный журнал. 2022. № 7. С. 51–55. doi: 10.28983/asj.y2022i7pp51-55.
16. Лапшинов Н. А. Урожайность картофеля в зависимости от влагообеспеченности // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 3. С. 26–28.
17. Егоров Л. М., Сзмаков Е. А. Влияние орошения на продуктивность отечественных сортов картофеля в условиях Предкамья Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 4 (8). С. 26–31. doi: 10.12737/2782-490X-2024-26-31.
18. Обоснование и определение параметров бороздообразователя картофелесажалки / М. Н. Калимуллин, Д. Т. Халиуллин, И. Х. Гайфуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 84–89. doi: 10.12737/2073-0462-2022-84-89.
19. Особенности развития регионального сельского хозяйства в современных условиях / Ф. Н. Мухаметгалиев, А. Р. Валиев, Ф. Н. Авхадиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 144–153. doi: 10.12737/2073-0462-2022-144-153.
20. Агротехнологии полевых кормовых культур / М. Ф. Амиров, И. Р. Валеев, А. Р. Валиев и др. // Система земледелия Республики Татарстан: в 3-х частях. Ч. 2. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2014. С. 251–280.

Сведения об авторах:

Шайхутдинов Фарит Шарипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: faritshay@kazgau.com
 Сержанов Игорь Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: igor.serzhanov@mail.ru
 Гараев Разиль Ильсурович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: rass112@mail.ru
 Давлетов Камиль Насихович – аспирант кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: davletov_nasim@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

ASSESSMENT OF THE FERTILIZERS TYPES IMPACT UNDER ARTIFICIAL IRRIGATION ON POTATO YIELD AND QUALITY IN ZAKAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN F. Sh. Shaykhutdinov, I. M. Serzhanov, R. I. Garaev, K. N. Davletov

Abstract. The studies were conducted to assess the effect of mineral and various types of organic fertilizers on the yield and quality of potato tubers under irrigation in order to develop a crop fertilization system. The work was carried out in 2023–2024 on leached chernozem of Zakama zone of the Republic of Tatarstan. The scheme of the field experiment included studying the following options on dry land and under irrigation: without fertilizers (control); $N_{60}P_{60}K_{90}$; manure 60 t/ha; $N_{60}P_{60}K_{90}$ + manure; $N_{60}P_{60}K_{90}$ + green mass of oilseed mustard 12 t/ha (green manure); $N_{60}P_{60}K_{90}$ + green manure + winter wheat straw 4.5 t/ha; $N_{60}P_{60}K_{90}$ + manure + straw; manure + green manure + straw. Agrometeorological conditions

in 2023 were relatively favorable (HTC - 1.06), in 2024 - dry (HTC 0.6 ... 0.8). On average, over 2 years, the potato yield with irrigation was higher than in dryland farming, depending on the nutrition background by 8.54 ... 18.57 t/ha. The maximum yield of tubers per unit area in the experiment (41.49 t/ha) was noted in the variant with the introduction of $N_{60}P_{60}K_{90}$, manure and straw, which is 21.37 t/ha more than in the control. The starch content in tubers, regardless of the nutrition background, decreased by 0.6...1.6% with irrigation, compared to dry farming. The total starch yield per unit area increased due to the increase in yield. In the variant with the introduction of $N_{60}P_{60}K_{90}$, manure and straw, both on dry farming and with irrigation, the starch yield was maximum - 3.59...6.03 t/ha. The highest economic indicators were noted in the variant where mineral fertilizers were applied together with manure and straw - the profit from irrigation was 217,200 rubles/ha, from dryland farming - 94,000 rubles/ha, which is 89,490 and 39,060 rubles/ha more, respectively, than when applying only mineral fertilizers.

Key words: potato (*Solanum tuberosum*), fertilizer, crop, starch, irrigation, economic indicators.

References

1. Artamonov SG, Vladimirov VP, Mostyakova AA. [Crop formation and quality of tubers of medium-early Gala potatoes depending on the applied doses of potash fertilizers on the gray forest soil of the forest-steppe of middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 2(53). 10-14 p. doi: 10.12737/article_5d3e161e6aba99.12538029.
2. Vladimirov VP, Gaynutdinov MT, Chekmarev PA. [Calculated doses of fertilizers and formation of the planned potato harvest in the conditions of the forest-steppe of middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014; Vol.9. 4(34). 111-115 p. doi: 10.12737/7741.
3. Shabanov AE, Kiselev AI, Zebrin SN. [Productivity and quality of new potato varieties depending on agricultural techniques]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011; 1. 30-31 p.
4. Vladimirov VP, Kshnikatkina AN, Vladimirov KV. [Potato cultivation using elements of the biological farming system on the gray forest soil of the forest-steppe of middle Volga region]. Plodorodie. 2020; 3 (114). 42-44 p. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.13.
5. Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM, Garaev RI. [The effect of organic and mineral fertilizers and their combination when applied to potatoes on the chernozems of Zakama region of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2(74). 39-43 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-39-43.
6. Davletov KN, Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM. [The influence of individual elements of Gala potato cultivation technology on the yield of tubers in the conditions of Zakama region of the Republic of Tatarstan]. Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie. 2024; 1(9). 20-26 p. doi: 10.12737/2782-490X-2024-20-26.
7. Spiridonov AM, Bronshteyn PM, Racheeva AI. [The influence of new fertilizers on potato yield and quality]. Agrarnaya Rossiya. 2020; 2. 3-6 p. doi: 10.30906/1999-5636-2020-2-3-6.
8. Gavrilova AYU, Konova AM, Chekhalkova LK. [The influence of the use of increasing doses of mineral fertilizers on the yield and quality of potato tubers of a new variety "Smolyanochka"]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2(66). 62-69 p. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-62-69.
9. Chekhalkova LK, Konova AM, Gavrilova AYU. [Influence of mineral fertilizer doses, planting dates and patterns on the yield of seed and food potatoes of new varieties Zabava and Smolyanochka]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2020; 3(51). 68-75 p. doi: 10.18286/1816-4501-2020-3-68-75.
10. Mikhaylova MYU. [Analysis of the productivity of corn hybrids of OOO "Otbor" with different duration of the growing season in the soil and climatic conditions of the Republic of Tatarstan]. Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie. 2024; 3(11). 41-46 p. doi: 10.12737/2782-490X-2024-41-46.
11. Hou X, Li R, He W. Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region. Journal of Soils and Sediments. 2018; Vol.18. No.3. 816-826 p.
12. Shock CC, Drown CR, Sathuvalli V. Terra Rossa: A midseason specialty potato with red flesh and skin and resistance to common scab and golden cyst nematode. American Journal of Potato Research. 2018; Vol.95. 597-605 p. doi: 10.1007/s12230-018-9667-8.
13. Mahariyaya A, Vosman B. Managing the Colorado potato beetle; the need for resistance breeding. Euphytica. 2015; Vol.204. No.3. 487-501 p.
14. On the progress of implementing the state program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets. [Internet]. Analiticheskiy vestnik Soveta Federatsii RF. 2021; 9 (769). 176 p. [cited 2025, February 15]. Available from: http://council.gov.ru/media/files/d4ApG8Uw6BKngD_d1JO3WsPDgIIA-j1AEd.pdf.
15. Shabanov AE, Kiselev AI, Solomentsev PV. [Productivity and quality of new potato varieties of Russian selection under different growing conditions]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2022; 7. 51-55 p. doi: 10.28983/asj.y2022i7pp51-55.
16. Lapshinov NA. [Potato yield depending on moisture supply]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2009; 3. 26-28 p.
17. Egorov LM, Simakov EA. [The influence of irrigation on the productivity of domestic potato varieties in the conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan]. Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie. 2023; 4 (8). 26-31 p. doi: 10.12737/2782-490X-2024-26-31.
18. Kalimullin MN, Khaliullin DT, Gayfullin IKh. [Justification and determination of the parameters of the furrow former of the potato planter]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 3 (67). 84-89 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-84-89.
19. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Avkhadiyev FN. [Features of regional agriculture development in modern conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 3 (67). 144-153 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-144-153.
20. Amirov MF, Valeev IR, Valiev AR. Agrotekhnologii polevykh kormovykh kultur. Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan: v 3-kh chastyakh. Ch.2. [Agrotechnologies of field forage crops. Farming system of the Republic of Tatarstan: in 3 parts. Part 2]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2014; 251-280 p.

Authors:

Shaykhutdinov Farit Sharipovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: faritshay@kazgau.com
 Serzhanov Igor Mikhaylovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: igor.serzhanov@mail.ru
 Garaev Razi Ilsurovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: rass112@mail.ru
 Davletov Kamil Nasikhovich – graduate student of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: davletov_nasim@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНА

М. С. Волхонов, И. А. Мамаева, М. М. Беляков

Реферат. Цель исследования – обоснование параметров ультразвуковой волны для предпосевной обработки зерна в водной среде. Задачи исследования: выбор математической модели и расчет характеристик поля ультразвуковых колебаний дискового пьезоизлучателя в воде, определение интенсивности ультразвуковых колебаний в водной среде с зерном и без зерна, обоснование параметров ультразвукового излучения, применяемого для предпосевной обработки семян. Определено, что для описания распространения ультразвуковой волны в водной среде можно использовать функции Бесселя первого порядка первого рода и уравнения геометрической акустики. Обе математические модели приводят к выводу, что в поле распространения ультразвуковой волны в воде можно выделить ближнюю и дальнюю зоны: в ближней зоне происходит монотонное распределение энергии ультразвуковых колебаний, в дальней зоне рассеивание энергии имеет геометрическое распределение в виде усеченного конуса. Для описания ультразвуковой волны вблизи дискового излучателя достаточно применить формулы геометрической акустики, поскольку они дают более наглядное представление о процессе распространения ультразвука и простую формулу для оценки размеров ближней зоны. Устойчивое влияние ультразвука на зерно в водной среде обеспечивается в ближней зоне – теоретическое обоснование согласуется с экспериментальными результатами. Эксперимент показал, что интенсивность ультразвука уменьшается на расстоянии приблизительно 1 см от поверхности излучателя (до 6,4 В/дел). При данной частоте в отсутствии зерна это расстояние определяет границу ближней зоны, которая согласно математической модели и оценочной формуле должна быть равна 0,9 см. В воде с зерном наблюдается иное распределение интенсивности излучения. Воздействие ультразвука на семена при их предпосевной обработке имеет наибольший эффект в слое гидросмеси толщиной не более 0,5 см (соответствует толщине в 1-2 зерна) при частоте ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощности излучения 240 Вт и времени воздействия 3 минуты.

Ключевые слова: обоснование, параметр, ультразвук, предпосевная обработка, зона Френеля, семена, вода, эксперимент.

Введение. Предпосевная обработка зерна является одним из важных этапов подготовки семян к процессу прорастивания. В настоящее время существуют разные способы для осуществления данного этапа, к ним относят: сепарацию, скарификацию, воздействие на культуру электромагнитным полем, ультрафиолетовым и инфракрасным излучением, озонирование, применение ультразвуковых колебаний и другое [1]. Анализ научной литературы позволил обнаружить проблемы не только в применении различных критериев оценки эффекта (всхожесть, энергия роста, длина ростков, корешков, число проросших семян, наличие трещин, урожайность), но и в выборе наиболее эффективного способа предпосевной обработки семян.

Экспериментальные исследования показали, что одним из эффективных приемов является воздействие ультразвука на семена при предпосевной обработке зерна [2,3,4]. Однако, практически отсутствуют работы, в которых нашло бы обоснование применяемых параметров ультразвукового излучения в этом случае, что определяет актуальность данной работы.

Для обоснования параметров ультразвуковой волны при предпосевной обработке зерна в водной среде могут быть использованы имеющиеся математические модели, которые позволяют описать распространение ультразвуковой волны, получаемой от излучателя цилиндрической формы. Для поставленной задачи можно использовать как функции Бесселя первого порядка первого рода, так и уравнения

геометрической акустики. При этом параметры ультразвука [5,6,7] в рассматриваемом случае могут быть связаны с конструктивными (геометрическими) особенностями лотка, в который помещаются зерна.

Цель исследования – обоснование параметров ультразвуковой волны при предпосевной обработке зерна в водной среде.

К задачам исследования относятся анализ математических моделей распространения ультразвука в среде, выбор одной из моделей для получения расчетных характеристик, имеющих значение для цели исследования, создание модели экспериментального устройства для определения интенсивности ультразвуковых колебаний в лотке с водой с зерном и без зерна с целью обоснования параметров ультразвукового излучения, применяемых для предпосевной обработки семян.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились при помощи изготовленного в лаборатории кафедры технических систем в агропромышленном комплексе Костромской государственной сельскохозяйственной академии устройства для ультразвуковой обработки зерна [8]. В качестве основного зернового материала было использовано ячмень и пшеница. Для исследования использовалась специально созданная установка, которая представляла из себя (рис.1) лоток из нержавеющей стали оснащенный с нижней наружной поверхности ультразвуковыми излучателями.

Для определения интенсивности ультразвуковых колебаний, в лотке (рис.1) с водой

был подключен дополнительный излучатель, который выполнял, роль приемника, подключенного к осциллографу. Исследования проводились в лотке с водой с зерном и без зерна, при частоте ультразвуковых колебаний 20

и 60 кГц, мощности излучения 240 Вт, с перемещением приемного излучателя в вертикальном направлении относительно излучателя установленного на нижней наружной поверхности лотка.

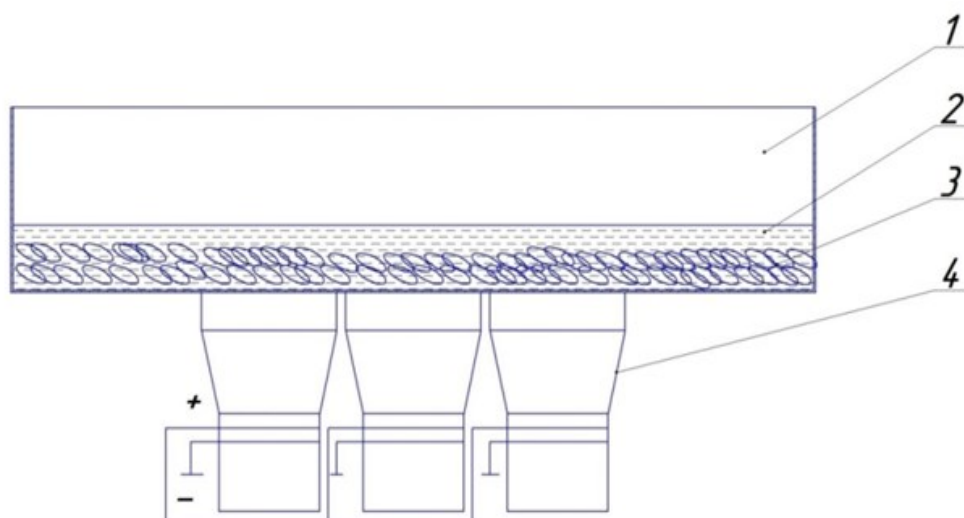


Рис. 1 – Лоток с ультразвуковыми излучателями: 1 - лоток; 2 - вода; 3 - семена; 4 - ультразвуковые излучатели

Для решения поставленной задачи была разработана модель влияния смещения приемного излучателя в горизонтальном и вертикальном направлении на интенсивности воздействия

ультразвуковых колебаний (рис.2) в качестве входных факторов приняли частоту ультразвуковых колебаний f , кГц, мощность излучения P , Вт, смещение по вертикали s , см.



Рис. 2 – Модель влияния смещения приемного излучателя в горизонтальном и вертикальном направлении на интенсивности воздействия ультразвуковых колебаний

В качестве количественной оценки интенсивности ультразвука в среде использована дифференцированная характеристика потенциала, регистрируемого осциллографом в локальной точке среды, которая может позволить построить картину распределения интенсивности в рассматриваемой зоне, I , в/кл. Она и являлась функцией отклика для рассматриваемого «черного ящика».

На основании полученной модели была разработана схема проведения лабораторных исследований:

- подготовка устройства для проведения обработки, заполнение лотка водой, определение точек для измерения интенсивности;
- проведение замеров с вертикальным смещением приемного излучателя в лотке с водой, как с зерном, так и без зерна;
- проведение сравнительной характеристики замеров интенсивности в лотке с водой

без зерна и с зерном, а также обработка статистических данных.

Параллельно с экспериментальным исследованием проводился анализ математических моделей, описывающих распространение ультразвука в среде. Была рассмотрена возможность применения функций Бесселя первого порядка первого рода и уравнений геометрической акустики с целью дальнейшего обоснования параметров ультразвуковой волны в условиях предпосевной обработки семян, помещенных в разработанное устройство (рис.1).

Анализ математических моделей показал, что в первую очередь необходимо определить зону, которую можно отнести к наиболее эффективной по воздействию ультразвука на объекты, помещенные в воде. Формирование волнового поля, создаваемого пьезоизлучателем, зависит от его формы. Для описания данного поля используем методы геометрической

акустики [9].

Численный анализ акустического поля излучения круглых пьезопластин рассмотрим в режиме непрерывного излучения [9].

Расчет волнового поля пьезопреобразователя в виде круглой пластинки радиусом R и S исследователи проводят, используя рисунок 3[9].

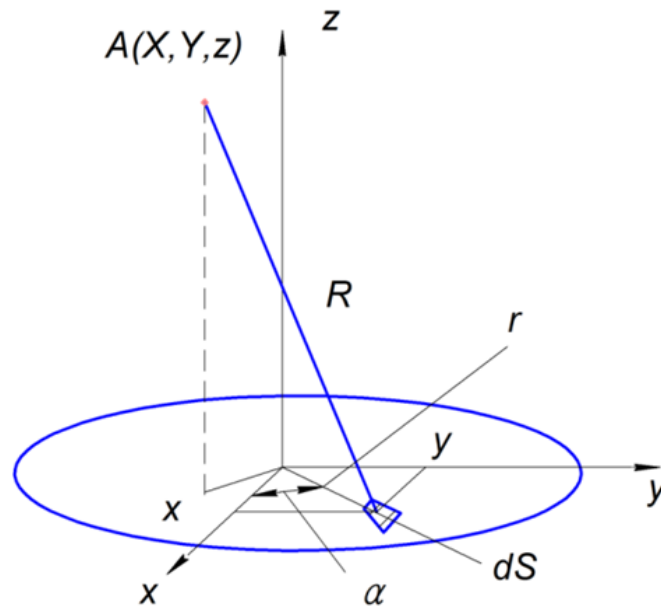


Рис. 3 – Схема для расчета акустического поля: $A(X, Y, z)$ - результирующая сила давления в точке; R - расстояние от элементарного излучателя; r - радиус излучателя; dS - элементарная площадка; α - угловой размер

Как показано в [9] результирующая сила давления в произвольной точке A с координатами X, Y, z определяется суммой:

$$F(X, Y, z) = P_0 \Delta r \Delta \alpha \sqrt{\left(\sum_0^N \frac{r z}{R^2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} R \right)^2 + \left(\sum_0^N \frac{r z}{R^2} \sin \frac{2\pi}{\lambda} R \right)^2} \quad (1)$$

где:

P_0 – амплитуда давления, создаваемого элементарным излучателем на единичном расстоянии от элементарной площадки dS ;
 λ – длина волны в материале среды;
 $2\pi/\lambda$ – модуль волнового вектора (волновое число).

Если рассмотреть рисунок 1, то можно обнаружить, что расстояние R от элементарного излучателя, расположенного в точке с координатами x, y , до произвольной точки A определяется выражением:

$$R = \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2 + z^2} \quad (2)$$

Для вычисления суммы (1) применяется цилиндрическая система координат. Площадь любого элементарного излучателя, расположенного на круглой пластине, определяется как:

$$dS = r \Delta r \Delta \alpha$$

где:

r – расстояние от начала координат до

элементарной площадки;

Δr и $\Delta \alpha$ – ее линейный и угловой размеры соответственно.

Вся поверхность пьезопластинки может быть разбита на N элементарных площадок, при этом число элементарных площадок выбирается таким образом, чтобы расстояние от соседних площадок до рассматриваемой точки A было значительно меньше длины акустической волны в материале среды, в которой она распространяется [9].

Обратим внимание на то, что в ближней зоне обнаруживаются выраженные колебания давления, характеризующиеся определенной степенью монотонности. Достоверность математической модели распространения колебаний в среде подтверждаются тем, что, как отмечают авторы в [9], последний максимум, характеризующий границу ближней зоны, наблюдается на расстоянии 83 мм, что соответствует данным. Это дает основание исследователям разделить объемное волновое поле, создаваемое плоским пьезоизлучателем в средах радиусом r , на ближнюю Z_0 и дальнюю зоны Z . Ближняя зона получает название зона Френеля, поскольку акустические колебания в этой части можно представить в виде цилиндрической волны с достаточно плотным распределением акустического давления и в ней отсутствует расхождение «лучей». Дальняя зона получает название зона Фраунгофера, поскольку акустические колебания в

этой части имеют расходящийся характер при распространении. Модель распространения акустической волны для круглого пьезоизлучателя представлена на рисунке 4.

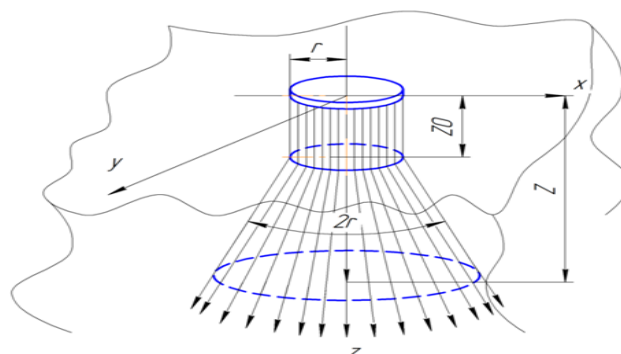


Рис. 4 – Модель акустического поля дискового излучателя: r - радиус излучателя; Z_0 - ближняя зона; Z - дальняя зона

Для описания распределения акустического давления в рассматриваемом случае можно использовать функции Бесселя первого рода. При этом в дальней зоне используются функции Бесселя первого рода первого порядка, и, как показано, они дают хорошее совпадение с экспериментальными расчетами.

Для определения акустического давления в ближней зоне исследователи предлагают использовать уравнение:

$$P(x) = P_0 2 \sin \left(\frac{\pi}{\lambda} \left[\sqrt{a^2 + x^2} - x \right] \right) \quad (3)$$

где:

a – радиус круглой пьезопластины, мм;
 λ – длина ультразвуковой волны, мм;
 x – координата выбранной точки на оси пьезоизлучателя, мм.

Данное уравнение позволяет определить размер зоны, в которой давление принимает максимальное значение. Именно ее исследователи относят к ближней зоне. Для расчета размеров этой зоны (4) учитывают, что максимальное значение акустического давления получается при значении синуса функции, равном единице, которому соответствует аргумент, равный $\pi/2$:

$$x = \frac{a^2}{\lambda} \quad (4)$$

Значение x , равное отношению квадрата радиуса круглой пьезопластины к длине волны, получило название граница ближней зоны. На рисунке 2 ей соответствует толщина Z_0 .

Давление акустической волны играет ключевую роль для определения мощности ультразвуковых волн, распространяемых в среде. Уточним, что в жидкостях и газах распространяются только продольные волны, поскольку упругие деформации в них возникают при сжатии [10]. Это позволяет говорить о том, что в ближней зоне (зоне Френеля) может

обнаружиться максимальное воздействие ультразвукового излучения на семена при их предпосевной обработке. В этом предположении находит отражение и тот упомянутый выше факт, что поглощения ультразвуковых колебаний в воде практически не происходит: если поглощением энергии средой при распространении ультразвуковой волны можно пренебречь, то можно предположить, что энергия колебаний частиц среды передается семенам, поэтому для оценки воздействия ультразвука [11] на семена может быть использована энергия или мощность излучения источника.

То есть, к параметрам, которые могут быть учтены при исследовании влияния ультразвуковой волны на семена могут быть отнесены радиус ближней зоны, частота или длина волны, мощность излучателя.

Если частоту ультразвуковой волны задает источник, то на длину волны значительное влияние оказывает среда распространения. Так, например, в воздухе при частоте 60 кГц, длина волны составляет 0,56 см, а в воде – 2,41 см. На возможные значения длины волны ультразвука, как показали исследования [12], влияют геометрические размеры лотка. Очевидно, для обеспечения равномерного воздействия ультразвуковой волны на обрабатываемый объект необходимо подобрать размеры лотка, в который помещается объект. При этом размеры лотка должны удовлетворять следующим требованиям: линейные размеры лотка в поперечном сечении должны быть кратны $\lambda/2$ (при этом к оптимальной высоте уровня обрабатываемой среды можно отнести такой уровень, который кратен длине волны для каждого режима обработки) [12].

Равномерность распределения энергетических характеристик акустического поля может нарушаться за счет изгибных колебаний рабочей поверхности лотка, которые возникают в процессе работы, при этом скорость распространения изгибных волн на рабочей поверхности лотка определяется по формуле [12]:

$$c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{3\rho(1-G^2)}} \sqrt{d \cdot f} \quad (5)$$

где:

E – модуль Юнга;

ρ – плотность материала пластины, кг/м^3 ;

G – коэффициент Пуассона;

d – толщина пластины, мм;

f – частота ультразвуковых колебаний, Гц.

Критерий выбора оптимальной толщины стенок ультразвукового лотка исследователи предлагают выбрать на основании формулы [12]:

$$d < \frac{c^2}{\pi \cdot f} \sqrt{\frac{3\rho(1-G)^2}{E}} \quad (6)$$

Необходимо чтобы длина волны λ была больше или близка к размеру d , обрабатываемого материала.

Подтверждение теоретических выводов было получено при проведении эксперимента.

Результаты и обсуждения. Для использования описанной методики расчета акустического давления, создаваемой дисковым пьезоизлучателем (см. формулу 3), была разработана специальная конструкция, аналогичная изображенной на рисунке 1, которая позволила измерить интенсивности ультразвука с разной частотой в воде без зерна и с зерном.

На основании проведенных лабораторных исследований был проведен математический анализ с расчетом средних значений, ошибки опыта, определение наименьшей существенной разности в зависимости от режима обработки (табл.). Каждый опыт проводился в четырехкратной повторности.

Таблица - Изменение интенсивности излучения в воде с зерном в ближней зоне

Смещение по вертикали, см	Частота, $f, \text{кГц}$	Интенсивность, В/дел	Ошибка средней $\sigma \%$
0,5	20	2,1	4,6
1		0,8	0
1,5		0,4	0
0,5	60	5,5	1,26
1		3,3	5,9
1,5		1,8	0

Сопоставление фактического значения t с теоретическим для режима работы с зерном при частоте 20 кГц при смещении по вертикали на 0,5 см и 60 кГц при смещении по вертикали на 0,5 см, показывает, что $136 > 2,36$ разность существенна при 5% уровне значимости, следовательно, выполняется условие $t_{\text{факт}} > t_{0,5}$, поэтому нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается. Также выполняется условие разности между

средними $d > HCP_{0,5}$, что составляет $3,4 > 0,059$, следовательно, разность между средними попадает в критическую область существенных различий, нулевая гипотеза опровергается, разность значима.

Результатом измерений стали графические зависимости, уровня интенсивности ультразвука от смещения по вертикали в двух случаях – без зерна и с зерном в слое, толщина которого равна толщине одного-двух зерен (рис.5 и 6).

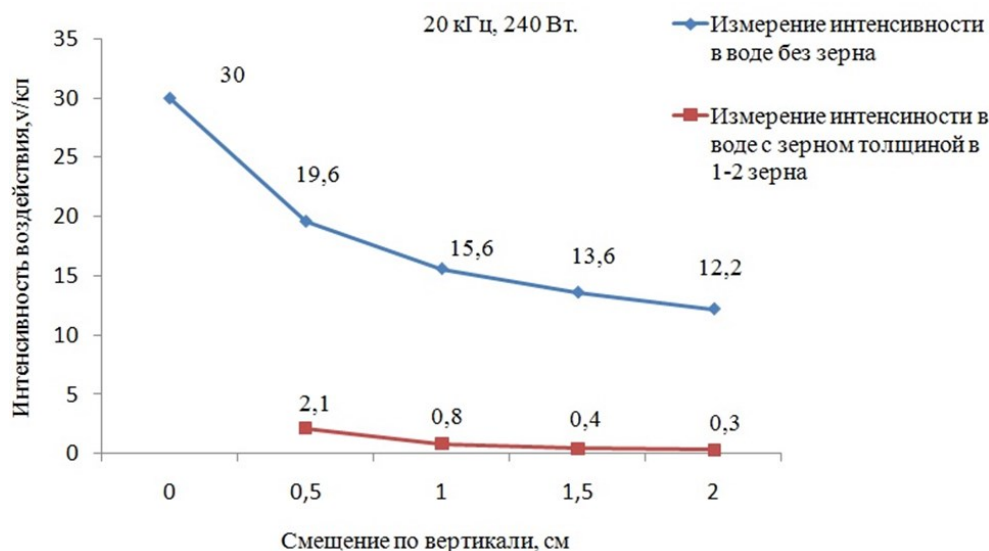


Рис. 5 – Зависимость интенсивности излучения от смещения по вертикали в воде без зерна и с зерном при частоте ультразвуковых колебаний 20 кГц

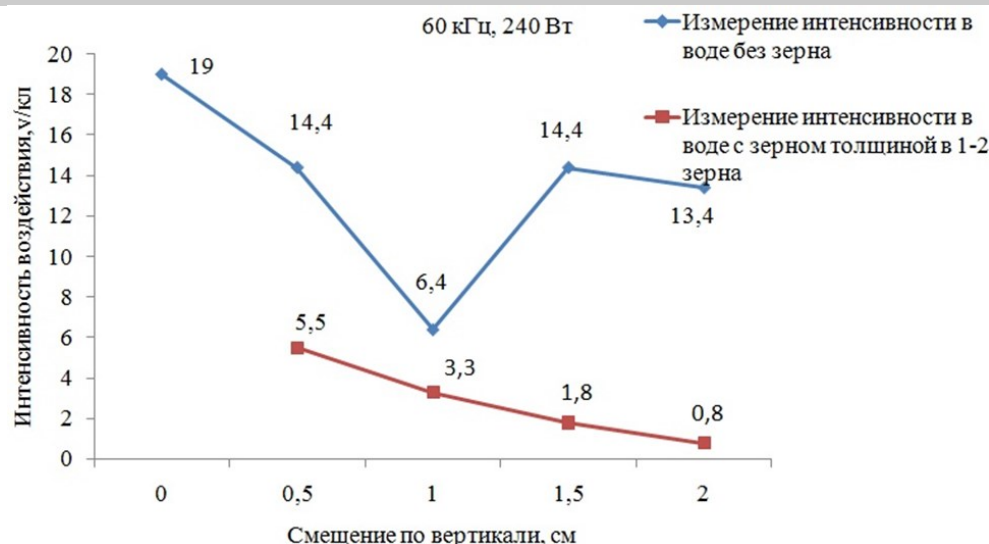


Рис. 6 – Зависимость интенсивности излучения от смещения по вертикали в воде без зерна и с зерном при частоте ультразвуковых колебаний 60 кГц

На рисунке 6 видно, падение интенсивности ультразвука происходит на расстоянии приблизительно 1 см от поверхности излучателя (до 6,4 В/дел), что согласуется с расчетными данными: при данной частоте в отсутствии зерна это расстояние определяет границу ближней зоны, которая согласно формуле должна быть равна 0,9 см. Полученный результат размера ближней зоны в случае отсутствия зерна согласуется с этим значением, он равен от 0 до 1 см. Достоверность полученного значения отражена числом $\alpha=0,95$ она подтверждается выборкой в 5 измерений для каждой точки.

Таким образом, результаты, отраженные на графике зависимости интенсивности ультразвуковой волны в воде без зерна согласуются со значением, которое дает теоретическая модель в диапазоне до и после 1,5 см. Теоретическая модель прошла апробацию в исследованиях [9].

Остается открытым вопрос, чем объяснить изменение интенсивности излучения в воде с зерном. При помещении зерна распределение интенсивности меняет свой характер (красная кривая на графике). Тем не менее, наиболее эффективным с точки зрения воздействия на зерно остается уровень зерна в 0,5 см. Этот уровень обеспечивается слоем толщиной в 1-2 зерна.

На наш взгляд, такое распределение интенсивности ультразвуковой волны в воде с зерном можно объяснить, если учесть то, что органическая структура зерна обладает способностью поглощать ультразвуковые колебания. Очевидно, что часть энергии ультразвуковой волны поглощается зерном, при этом значения, представленные на двух графиках, позволяют оценить, какая часть энергии была поглощена на уровне 0,5 см. Если учесть, что без зерна в этой точке интенсивность была равна 14,4 В/дел, а на поверхности зерна при тех же условиях измерено 5,5 В/дел, то, очевидно,

что зерно в этой точке поглощает около 62% энергии ультразвуковой волны в следствие монотонного распределения ультразвуковых колебаний в этой ближней зоне (до 1 см). Поскольку в дальней зоне (после 1 см) распределение ультразвуковых колебаний приобретает форму усеченного конуса, то предполагается, что поглощение энергии зерном в этой зоне может иметь нелинейный характер, что требует дополнительного исследования.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что ультразвуковую обработку зерна целесообразно проводить в слое гидро-смеси толщиной не более 0,5 см.

Выводы. Анализ математических моделей приводит к выводу, что в поле распространения ультразвуковой волны в воде можно выделить ближнюю и дальнюю зону, в которых волна, порождаемая дисковым излучателем, имеет разный характер распространения. Для описания ультразвуковой волны вблизи дискового излучателя достаточно применить формулы геометрической акустики, поскольку они дают более наглядное представление о процессе распространения ультразвука и простую формулу для оценки размеров ближней зоны.

Устойчивое влияние ультразвука на зерно в водной среде обеспечивается в ближней зоне – теоретическое обоснование согласуется с экспериментальными результатами.

Эксперимент показал, что интенсивность ультразвука уменьшается на расстоянии приблизительно 1 см от поверхности излучателя (до 6,4 В/дел). При данной частоте в отсутствии зерна это расстояние определяет границу ближней зоны, которая согласно математической модели и оценочной формуле должна быть равна 0,9 см.

В воде с зерном наблюдается иное распределение интенсивности излучения. Воздействие ультразвука на семена при их предпосевной обработке имеет наибольший эффект

в слое гидросмеси толщиной не более 0,5 см (соответствует толщине в 1-2 зерна) при частоте ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощности излучения 240 Вт и времени воздействия 3 минуты.

Полученные результаты имеют выраженный практический аспект, они могут найти

применение в установках, предназначенных для подготовки семян к посеву. Особое значение имеет согласование теоретических обоснований и экспериментальных выводов, которое может найти применение в дальнейших научных исследованиях.

Литература

1. Волхонов М.С., Мамаева И.А., Беляков М.М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8(135). С. 7-19. doi: 10.24412/2227-9407-2022-8-7-19.
2. Bruce K. Redding, J.R. Ultrasonically Enhanced Seed Germination System// Патент US 2016/0029548 A9 04.02.2016.
3. Повышение посевных качеств семян ячменя/Н.В. Алдошин, А.В. Сибирёв, А.И. Панов, и др. // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1 (38). С. 52-56.
4. К вопросу интенсификации процесса прорастивания зерна / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретова, и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. №4(48). С. 109 – 114.
5. Бельников Р. Н., Постников Е. Б. Подход к расчету параметра нелинейности ультразвуковых волн в жидкости, основанный на масштабной теории термодинамических флуктуаций давления // Известия вузов. ПНД. 2023. Т. 31, № 1. С. 45–62. doi: 10.18500/0869-6632-003020.
6. Cobbold R. S. C. Foundations of Biomedical Ultrasound. Oxford: Oxford University Press, 2006. 832 p.
7. Lord Rayleigh O. M. F. R. S. XLII. On the momentum and pressure of gaseous vibrations, and on the connexion with the virial theorem // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 1905. Vol. 10, no. 57. P. 364–374. doi: 10.1080/14786440509463381
8. Mikhail Volkonov, Maksim Belyakov, and Viktor Kukhar The effect of ultrasonic vibrations on the activation of the vital functions of barley seeds// International Scientific and Practical Conference "INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE". Volume 2921, Issue 1. Том 2921. AIP Publishing, 2023. ISBN 978-07354-4648-9, ISSN 0094-243X, doi: 10/1063/5/0164592
9. Борисов В.И., Сергеев С.С. Никитин А.С. Тонкая структура акустического поля излучения пьезопреобразователей на основе круглых пьезопластин // Вестник Белорусско-Российского университета: научно-методический журнал 2015. №3. С.102-108.
10. Негров, Д.А. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композиционных материалов: монография/ Д.А. Негров, Е.И. Еремин, А.А. Новиков, Л.А. Шестель // Омск: Изд. ОмГТУ, 2012. 128 с.
11. Попова Н.В., Потороко И.Ю. Повышение эффективности экстракции биологически активных веществ из растительного сырья методом ультразвукового воздействия // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2018. Т. 6. № 1. С. 14–22. doi: 10.14529/food180102
12. Томаль В.С., Ланин В.Л. Технология и оборудование ультразвуковой очистки изделий электроники // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 8. С.60 – 64.

Сведения об авторах:

Волхонов Михаил Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры технических системы в агропромышленном комплексе, e-mail: vms72@mail.ru

Мамаева Ирина Алексеевна – доктор педагогических наук, профессор кафедры физики и автоматики, e-mail: irina-mamaeva@yandex.ru

Беляков Максим Михайлович - специалист по учебно-методической работе деканата инженерно-технологического факультета, e-mail: m-belyakov-94@mail.ru

Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваяво, Костромская область, Россия

ULTRASONIC WAVE PARAMETERS FOR PRE-SOWING TREATMENT OF GRAIN M. S. Volkonov, I. A. Mamaeva, M. M. Belyakov

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the ultrasonic wave parameters for pre-sowing treatment of grain in an aquatic environment. The objectives of the study: selection of a mathematical model and calculation of the characteristics of the ultrasonic vibration field of a disk piezoelectric emitter in water, determination of the intensity of ultrasonic vibrations in an aquatic environment with and without grain, substantiation of the parameters of ultrasonic radiation used for pre-sowing treatment of seeds. It was determined that the first-order Bessel functions of the first kind and the equations of geometric acoustics can be used to describe the propagation of an ultrasonic wave in an aquatic environment. Both mathematical models lead to the conclusion that in the field of propagation of an ultrasonic wave in water, it is possible to distinguish near and far zones: in the near zone, a monotonic distribution of the energy of ultrasonic vibrations occurs, in the far zone, the energy dissipation has a geometric distribution in the form of a truncated cone. To describe the ultrasonic wave near the disk emitter, it is sufficient to apply the formulas of geometric acoustics, since they provide a more visual representation of the ultrasound propagation process and a simple formula for estimating the size of the near zone. The stable effect of ultrasound on grain in an aqueous medium is ensured in the near zone - the theoretical justification agrees with the experimental results. The experiment showed that the ultrasound intensity decreases at a distance of approximately 1 cm from the emitter surface (to 6.4 V/div). At a given frequency, in the absence of grain, this distance determines the boundary of the near zone, which, according to the mathematical model and the evaluation formula, should be equal to 0.9 cm. In water with grain, a different distribution of radiation intensity is observed. The effect of ultrasound on seeds during their pre-sowing treatment has the greatest effect in a layer of hydromixture no more than 0.5 cm thick (corresponding to the thickness of 1-2 grains) at an ultrasonic vibration frequency of 60 kHz, a radiation power of 240 W and an exposure time of 3 minutes.

Key words: justification, parameter, ultrasound, pre-sowing treatment, Fresnel zone, seeds, water, experiment.

References

1. Volkhonov MS, Mamaeva IA, Belyakov MM. [Classification and determination of the efficiency of known methods of pre-sowing seed treatment]. Vestnik NGIEI. 2022; 8(135). 7-19 p. doi: 10.24412/2227-9407-2022-8-7-19.
2. Bruce K, Redding JR. Ultrasonically enhanced seed germination system. Patent US 2016/0029548 A9 04.02.2016.
3. Aldoshin NV, Sibirev AV, Panov AI. [Improving the sowing qualities of barley seeds]. Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2022; 1 (38). 52-56 p.
4. Naumenko NV, Potoroko IYu, Kretova YuI. [On the issue of intensification of the grain germination process]. Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. 2018; 4(48). 109-114 p.
5. Belenkov RN, Postnikov EB. [Approach to calculating the nonlinearity parameter of ultrasonic waves in a liquid based on the large-scale theory of thermodynamic pressure fluctuations]. Izvestiya vuzov. PND. 2023; Vol.31. 1. 45-62 p. doi: 10.18500/0869-6632-003020.
6. Cobbold RSC. Foundations of biomedical ultrasound. Oxford: Oxford University Press. 2006; 832 p.
7. Lord Rayleigh O. M. F. R. S. XLII. On the momentum and pressure of gaseous vibrations, and on the connexion with the virial theorem. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 1905; Vol.10. No.57. 364-374 p. doi: 10.1080/14786440509463381
8. Mikhail Volkhonov, Maksim Belyakov, and Viktor Kukhar. The effect of ultrasonic vibrations on the activation of the vital functions of barley seeds. International Scientific and Practical Conference "INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE". Volume 2921. Issue 1. Tom 2921. AIP Publishing. 2023; ISBN978-0 7354-4648-9, ISSN 0094-243X, doi: 10/1063/5/0164592
9. Borisov VI, Sergeev SS, Nikitin AS. [Fine structure of the acoustic radiation field of piezoelectric transducers based on round piezoelectric plates]. Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta: nauchno-metodicheskiy zhurnal. 2015; 3. 102-108 p.
10. Negrov DA, Eremin EI, Novikov AA, Shestel LA. Ultrazvukovye kolebatelnye sistemy dlya sinteza polimernykh kompozitsionnykh materialov: monografiya. [Ultrasonic oscillatory systems for the synthesis of polymer composite materials: monograph]. Omsk: Izd. OmGTU. 2012; 128 p.
11. Popova NV, Potoroko IYu. [Improving the efficiency of extraction of biologically active substances from plant materials by ultrasound exposure]. Vestnik YuUrGU. Seriya "Pishchevye i biotekhnologii". 2018; Vol.6. 1. 14-22 p. doi: 10.14529/food180102
12. Tomal VS, Lanin VL. [Technology and equipment for ultrasonic cleaning of electronic products]. Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti. 2007; 8. 60-64 p.

Authors:

Volkhonov Mikhail Stanislavovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Technical Systems in the agro-industrial complex, e-mail: vms72@mail.ru
 Mamaeva Irina Aleskeevna – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of Physics and Automation Department, e-mail: irina-mamaeva@yandex.ru
 Belyakov Maksim Mikhaylovich – specialist in educational and methodological work of Dean's Office of the Engineering and Technology Faculty, e-mail: m-belyakov-94@mail.ru
 Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Kostroma Region, Russia.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

И. Х. Гайфуллин, Б. Г. Зиганшин, Д. Т. Халиуллин

Реферат. Актуальность исследований переработки органических отходов сельского хозяйства с добавлением различных примесей с целью повышения выхода биогаза обусловлены растущей потребностью в эффективных и устойчивых источниках энергии. В условиях глобального изменения климата и истощения традиционных ресурсов, биогаз становится важной альтернативой, способствующей снижению выбросов парниковых газов и утилизации органических отходов. В настоящем исследовании рассматриваются процессы анаэробного сбраживания органических отходов, возникающих в сельском хозяйстве, с применением малообъемной биогазовой установки, разработанной в Казанском ГАУ. Целью работы является повышение эффективности выхода биогаза через оптимизацию параметров и режимов функционирования биогазовой установки. В ходе проведенных исследований использовались различные виды органических субстратов. Работа установки зависит от сети переменного тока (220 В) и потребляет электроэнергию не более 0,8 кВт·ч. При термофильном режиме (40-55°C) переработки различных субстратов было выработано следующее количество биогаза: 9 м³ из свиного навоза, 7,6 м³ из куриного помета, 4,96 м³ из лошадиного навоза и 8,3 м³ из навоза КРС. Наибольший прирост биогаза наблюдается при использовании лошадиного навоза в термофильном режиме. Результаты экспериментов показывают, что использование добавок, такие как препарат Мефосфон и различные растительные материалы, значительно увеличивает выход биогаза, что подтверждается полученными данными, где при использовании Мефосфона – 11,4 м³, измельченной кукурузы – 10,5 м³, опилки березы – 9,4 м³ и измельченной соломы – 9,1 м³. Эти результаты подчеркивают потенциал применения новых добавок в субстрат для оптимизации процессов биогазового производства и способствуют развитию более эффективных технологий в области возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: энергообеспеченность, органические отходы, биогаз, брожение, биоудобрения, экология.

Введение. Низкая энергообеспеченность представляет собой одну из ключевых проблем, стоящих перед современным сельским хозяйством. С учетом постоянного увеличения цен на традиционные источники энергии, развитие альтернативных источников энергии в сельском хозяйстве становится все более актуальным в современном мире [1,2,3]. В условиях нарастающих вызовов глобальной энергетической безопасности становится необходимым проведение антикризисной энергетической политики. Использование возобновляемых источников энергии способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду, помогает справляться с вызовами изменения климата и обеспечивает безопасное энергетическое будущее, что обусловлено их экологическими преимуществами и возможностью снижать углеродный след [4,5]. Одним из наиболее перспективных направлений в сфере возобновляемых источников энергии является переработка органических отходов в биогаз и высококачественные органические удобрения [6,7]. Массовое производство и внедрение технологии переработки органических отходов сельского хозяйства в биогаз создаст возможность применения его вместо традиционных источников энергии. При помощи биогазовых установок также возможно стабилизировать уровень накопления углекислого газа (CO₂) и метана (CH₄) в атмосфере и предотвратить его дальнейший рост [8,9]. В качестве субстрата для производства биогаза в основном служат органические отходы животноводства и птицеводства [10], включая жидкие и твердые отходы, а также отходы

ТБО [11], отходы лесопромышленного производства и сточных вод [12]. Для повышения выработки биогаза можно использовать солому злаковых культур, ботву свёклы, картофеля и другие. Выход биогаза зависит от качества подготовленного субстрата, определяемого его химическим и биологическим составом. При переработке растительных отходов иногда требуется оптимизировать соотношение углерода и азота (C:N) для ускорения метаногенеза. Это достигается добавлением в субстрат азотосодержащих отходов, таких как птичий помет или свиной навоз. Процесс ферментации субстрата в термофильных условиях длится не менее 10 дней. В среднем из 1 кг сухого вещества (СВ) навоза крупного рогатого скота (КРС) можно получить от 0,4 до 0,8 м³ биогаза. С целью освобождения газовых пузырьков и разрушения образующейся корки в реакторах применяют механические или гидравлические мешалки. Скорость перемешивания не должна превышать 50-70 мин⁻¹, чтобы избежать повреждения микробных клеток [13].

Биогаз можно сжигать непосредственно в газовых горелках без изменения конструкции форсунок или использовать его для генерации электроэнергии (3-5 кВт·ч) и тепла (5-7 кВт·ч) в когенерационных установках в зависимости от теплоты сгорания (21-35 мДж). После удаления из биогаза углекислого газа (CO₂) и сероводорода (H₂S) он преобразуется в биометан, который является полным аналогом природного газа. В результате ферментации органических отходов получается дегазированный высококачественный органический

биоудобрения [14].

Процесс ферментации с получением биогаза состоит из нескольких последовательных этапов: гидролиза, кислотогенной стадии, ацетогенной и метаногенной стадии, как показано на рисунке 1, который визуально напоминает химическую формулу

метана (CH_4). Наиболее важными стадиями являются кислотогенная стадия, в ходе которой образуются летучие жирные кислоты и метаногенная, в процессе которой полученные кислоты преобразуются в биометан (CH_4), представляющий собой конечный продукт данного процесса.

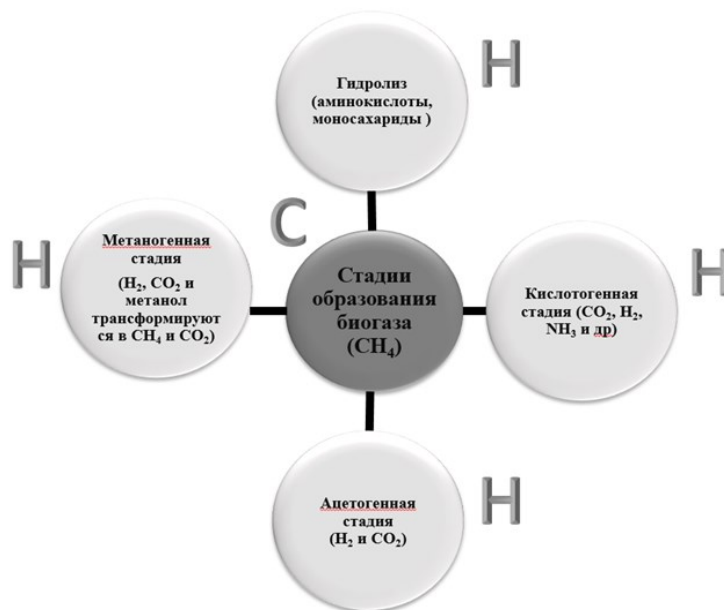


Рис. 1 – Стадии образования биогаза

В каждом этапе происходит сложный биохимический процесс, в котором участвуют группы микроорганизмов, таких как метаногены, ферментирующие бактерии, ацетогены и другие. Каждый из них выполняет свою роль на различных стадиях разложения субстрата. Для рационального функционирования этих микробных сообществ необходимо создать определенные условия, в том числе температура, влажность, кислотность, соотношение C:H [15].

Несмотря на имеющиеся технологии анаэробного сбраживания, её практическое применение ограничено из-за низкой эффективности существующих установок: длительное время обработки и малый выход биогаза. Цель данного исследования заключается в повышении выхода биогаза через оптимизацию параметров и режимов функционирования биогазовой установки.

Условия, материалы и методы. Для проведения экспериментальных исследований на кафедре машин и оборудования в агробизнесе Казанского ГАУ была разработана специализированная малообъемная биогазовая установка (МБУ), которая предназначена для малых хозяйств. Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов. В процессе работы были переработаны в биогаз и высококачественные органические удобрения отходы из навоза КРС, свиней, лошадей и птичий помет при мезофильном и термофильном режимах сбраживания. Дополнительные исследования проводились с применением навоза КРС

различными добавками, такие как опилка березы, дробленая солома пшеницы, початков кукурузы в восковой спелости, которые вводились в пропорции 10% (различные добавки) к 90% (навоз КРС), и препарата Мефосфон. Исследования процессов анаэробного сбраживания органических отходов в биогазовой установке начинается с подготовки субстрата, загружаемого в реактор. Для точности экспериментов органические отходы, поступающие на переработку, взвешиваются на настольных электронных весах марки СмартВес ВП-100 (до 100 кг), а затем перемешиваются в емкости с теплой водой ($25-35^\circ\text{C}$). Для подготовки початков кукурузы к использованию их измельчают на установке КДУ-2, после чего измельченная масса смешивается с навозом в подготовительной емкости. Важно было добавить теплую воду, чтобы довести влажность смеси до 90%. Влажность определялась с помощью анализатора влажности ЭВЛАС-2М. Влияние препарата Мефосфон исследовалось при концентрации 10–4 г/л, а дозы вносимого препарата определялись согласно Технологическому регламенту № 05-9552 от 18.10.2017 и на основе предварительных лабораторных экспериментов, проведенных в Казанском ГАУ [16]. На рисунке 2а) представлен процесс измельчения початков кукурузы на КДУ-2, а также перемешивание дробленой массы с навозом КРС в подготовительной емкости с добавлением теплой воды доведением влажности до 90% (рис. 2б) [17,18].



а) процесс измельчения кукурузы



б) подготовка субстрата

Рис. 2 – Заготовка субстрата

Установка подключается к электрической сети с напряжением 220 V. В процессе работы необходимо поддерживать заданную температуру для работы биогазовой установки. Температура варьировалась в пределах 25-35°C для мезофильного температурного режима и 40-55°C для термофильного температурного режима. Для нагрева служит теплоэлектронагреватель, потребление которого 0,8 кВт·ч [18].

В первые же дни после запуска реактора начинается выработка биогаза. Объем выработанного биогаза фиксируется с помощью электронного газового счетчика. Удаление отработанного биоудобрения осуществляется самотеком или при помощи насоса посредством сливного патрубка, диаметр которого 50 мм.

Продолжительность технологического процесса термофильного режима сбраживания

субстрата в реакторе составлял 14 суток, а при мезофильном режиме 24 суток. Каждый эксперимент был проведен с 4-х кратным повторением на основе вышеперечисленных органических отходов при термофильном и мезофильном режимах сбраживания.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования, направленного на оптимизацию расчетных параметров и характеристик биогазовых установок, предназначенных для использования в крестьянских (фермерских) хозяйствах (КФХ) и личных подсобных хозяйствах (ЛПХ), были выполнены натурные испытания на сконструированной МБУ. Полученные данные (рис. 3) иллюстрируют зависимость объема производимого биогаза (в м³) от длительности цикла ферментации продолжительностью 24 суток при мезофильном режиме брожения субстратов.

Мезофильный температурный режим

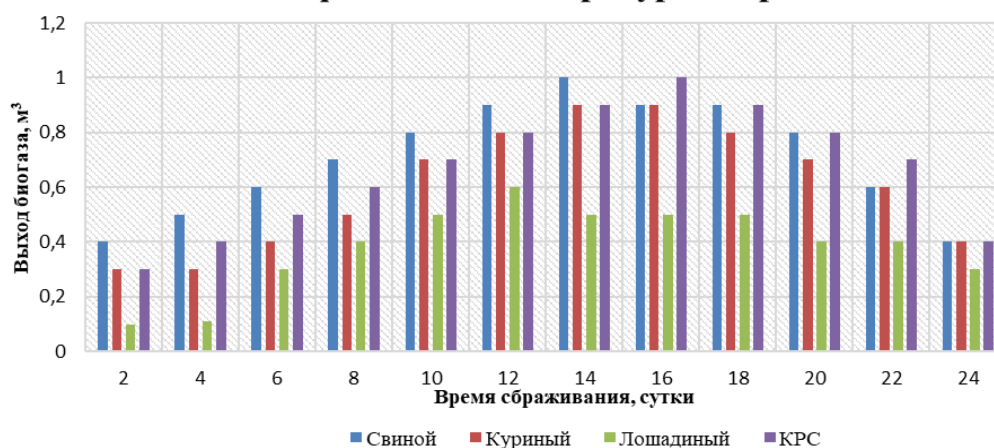


Рис. 3 – Выработка биогаза за 1 цикл мезофильного сбраживания субстрата

В качестве исходных материалов для эксперимента использовались свиной навоз, куриный помет, а также навоз лошадей и КРС из КФХ и ЛПХ. Результаты позволяют более точно оценить эффективность работы биогазовых установок и их адаптацию к условиям малых хозяйств [19,20]. Усредненные данные представлены в виде диаграмм, что позволяет наглядно оценить влияние различных видов

органических отходов и температурных режимов на процесс сбраживания.

Цикл мезофильного сбраживания с доведением температуры до 35°C длился 24 суток. Это позволило продемонстрировать практическую осуществимость процесса анаэробной переработки органических отходов сельскохозяйственного производства. В результате проведенных исследований был получен горючий

биогаз, что подтверждает перспективность технологии с мезофильным режимом сбраживания.

С целью повышения качества получаемого биогаза и сокращения продолжительности

цикла проводили аналогичные эксперименты при термофильном режиме сбраживания. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности данного режима, которые представлены на рисунке 4.

Термофильный температурный режим

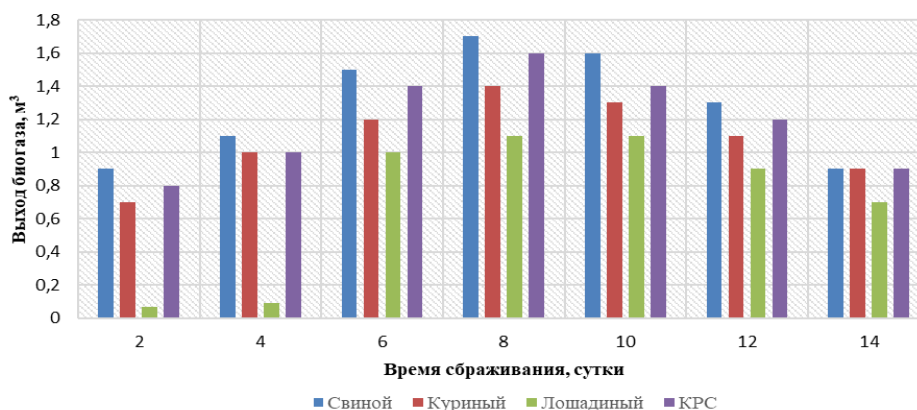


Рис. 4 – Выработка биогаза за 1 цикл термофильного сбраживания субстрата

Длительность цикла при термофильном сбраживании (55°C) сократился в два раза и составил 14 суток. Объем выработанного биогаза из различных видов субстрата при данном технологическом процессе следующий:

- свиной навоз: 9 м³ (увеличение на 5,5% по сравнению с мезофильным процессом);
- куриный помет: 7,6 м³ (увеличение на 4,1% по сравнению с мезофильным процессом);
- лошадиный навоз: 4,96 м³ (увеличение на 7,5% по сравнению с мезофильным процессом);
- навоз КРС: 8,3 м³ (увеличение на 3,75% по сравнению с мезофильным процессом).

При термофильном режиме сбраживания у субстрата с лошадиным навозом происходит

набольший прирост выхода биогаза по сравнению других субстратов в мезофильном режиме. Наибольший выход биогаза дал свиной навоз.

В ходе анализа экспериментальных зависимостей, полученных в результате исследований, установлено, что термофильный режим обеспечивает более высокий выход биогаза. Это связано с повышенной активностью микроорганизмов и бактерий, участвующих в процессе анаэробного сбраживания. Учитывая полученные результаты, были проведены дополнительные эксперименты, направленные на улучшение характеристик термофильного режима путем введения различных добавок. Результаты данных исследований представлены на примере навоза КРС на рисунке 5.

Выход биогаза с добавлением различных примесей

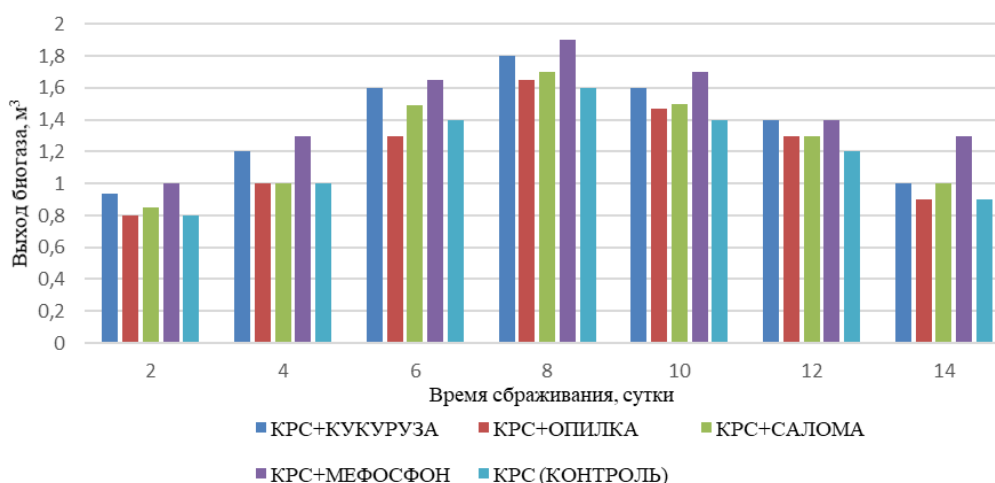


Рис. 5 – Выработка биогаза за 1 цикл термофильного сбраживания субстрата с различными добавками

Диаграмма демонстрирует выход биогаза в кубических метрах в разные дни с добавлением различных примесей в навоз крупного рогатого скота. Результаты показывают, что максимальный выход биогаза наблюдается при добавлении препарата Мефосфон – 11,4 м³ и измельченной кукурузы – 10,5 м³, в то время как контрольная группа демонстрирует минимальные значения. На 8 день все добавки показали общий рост. Сравнительный анализ указывает на то, что опилка березы – 9,4 м³ и дробленая солома – 9,1 м³ оказывают положительные влияния на выход биогаза, в то время они менее эффективны, но все же превосходят контрольную группу.

Выводы. Применение термофильного сбраживания позволило сократить длительность процесса в два раза, до 14 суток. Это привело к значительному увеличению выхода биогаза по сравнению с мезофильным режимом: на 5,5% для свиного навоза (9 м³), на 4,1% для куриного помета (7,6 м³), на 7,5% для лошадиного навоза (4,96 м³), и на 3,75% для навоза крупного рогатого скота (8,3 м³). Наибольший объем биогаза получен из свиного навоза (9 м³), при этом наибольший процентный прирост показал конский навоз (7,5%). Термофильный режим является более эффективным для фермерских хозяйств (КФХ) по нескольким причинам:

- во-первых, термофильные микроорганизмы, которые работают при температурах от 50 до 60°C, обладают более высокой скоростью разложения органических веществ, что приводит к более быстрому производству биогаза.
- во-вторых, термофильные условия способствуют более полному разрушению

патогенных микроорганизмов и семян сорняков, что делает конечный продукт более безопасным для использования в сельском хозяйстве.

В отличие от мезофильного режима, который работает при более низких температурах и имеет более длительные сроки разложения, термофильный процесс позволяет значительно сократить время обработки и повысить выход биогаза, что особенно важно для КФХ, стремящихся к максимальной эффективности и рентабельности.

Исследования с добавлением различных примесей подчеркивают новизну подхода к повышению выхода биогаза при термофильном режиме сбраживания. Наибольший выход биогаза достигается при использовании препарата Мефосфон (11,4 м³) и измельченной кукурузы (10,5 м³), опилки березы (9,4 м³) и измельченная солома (9,1 м³). Контрольная группа без добавок продемонстрировала минимальные значения (8,3 м³).

Полученные результаты подтверждают актуальность термофильного сбраживания как эффективного метода увеличения производства биогаза из различных видов органических отходов сельского хозяйства.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта (№142/2024 – 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. Арсанукаев Д.Л., Зайналабдиева Х.М., Шидаева А.А. Микроэлементная индукция оксидоредуктивных аэробных трансформаций субстратов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2(66). С. 163-169. doi:10.18286/1816-4501-2024-2-163-169.
2. Energy Efficiency of the Extrusion Process and its Effect on Output of Biogas during the Fermentation of Maize and Rape Straw / M. Zabłodski, P. Klendiy, O. Dudar, D. Babak // Problems of the Regional Energetics. 2024. No. 1(61). P. 127-139. doi:10.52254/1857-0070.2024.1-61.11.
3. Bioenergy recovery from two-stage mesophilic-thermophilic anaerobic digestion of cheese whey / A. A. Kovalev, E. R. Mikheeva, I. V. Katraeva, et al. // International Journal of Hydrogen Energy. 2023. Vol. 48, No. 12. P. 4676-4685. doi:10.1016/j.ijhydene.2022.11.003.
4. Осечук Д. В., Данилова А. А., Власов А. Б. Влияние скармливания кормовой добавки на основе отходов лесозаготовки на показатели мясной продуктивности перепелов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1(69). С. 112-116. doi: 10.18286/1816-4501-2025-1-112-116.
5. Шогенов Ю. Х., Дударов З. И., Занилов А. Х. Оценка вклада корневого углеродного питания в формирование растительной биомассы в модельном эксперименте // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4(76). С. 88-94. doi:10.12737/2073-0462-2024-88-94.
6. Livestock enterprises waste utilization for heat system supply to rural buildings in Yakutia / V. P. Druzyanova, G. E. Kokieva, I. A. Savvateeva, et al. // IOP conference series: materials science and engineering. Barnaul: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012018. doi:10.1088/1757-899X/941/1/012018.
7. Апажев А.К., Шехикачев Ю.А., Фиашев А.Г. Разработка и исследование биореактора для получения биоудобрения и биогаза // Вестник Казанского ГАУ. 2016. Т. 11. № 2(40). С. 60-63. doi:10.12737/20637.
8. Лахонин П. Д., Колесник Н. С., Зеленченкова А. А. Влияние уровня концентратов на переваримость питательных веществ и количество метаногенов у овец // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(67). С. 174-181. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-174-181.
9. Использование органических отходов в качестве сырья для различных методов получения биотоплива (обзор) / А. Д. Горбенко, М. А. Каплан, А. В. Квитко, М. А. Севостьянов // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 4. С. 61-68. doi: 10.53859/02352451_2023_37_4_61.
10. Друзыанова В.П., Сергеев Ю.А. Технология анаэробного сбраживания бесподстилочного навоза крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2015. № 5. С. 24-26.
11. Fiapshv A. G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh. Mathematical model of heat transfer in the reactor of

a biogas plant // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation. Vol. 1679. Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 52074. doi:10.1088/1742-6596/1679/5/052074.

12. Гайдар С. М., Пикина А. М., Лапсарь О. М. Технология переработки жиросодержащих отходов мясо-перерабатывающих предприятий в поверхностно-активные вещества // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 12. С. 77-81. doi: 10.53859/02352451_2023_37_12_77.

13. Технологическое и техническое обеспечение повышения эффективности интенсивного горного и предгорного садоводства / А. Л. Хажметова, А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, и др. // Техника и оборудование для села. 2019. № 6(264). С. 23-28. doi:10.33267/2072-9642-2019-6-23-28.

14. Hung C. H., Chang Y. T., Chang Y. J. Roles of microorganisms other than Clostridium and Enterobacter in anaerobic fermentative biohydrogen production systems—a review // Bioresource technology. 2011. Т. 102. №. 18. С. 8437-8444.

15. Ratti R.P. Thermophilic hydrogen production from sugarcane bagasse pretreated by steam explosion and alkaline delignification // International Journal of Hydrogen Energy. 2015. Т. 40. №. 19. С. 6296-6306.

16. The use of the Mephosphon drug to accelerate the process of biogas output and ripening of organic wastes / Z. Khaliullina, Yu. Shogenov, I. Gayfullin et al. // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020). EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00127. doi:10.1051/bioconf/20202700127.

17. Dai N. H. Hydrogen production from acidic, alkaline, and steam-exploded Bambusa stenostachya hydrolysates in dark fermentation process // Biomass Conversion and Biorefinery. 2021. С. 1-12.

18. Актуальность применения биогазовых установок в России и за рубежом / Б. Г. Зиганшин, И. И. Кашапов, И. Х. Гайфуллин, и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2017. Т. 12. № 2(44). С. 71-74. doi:10.12737/article_59ad07085075f5.79036838.

19. Расчет теплового баланса и обоснование параметров малогабаритной биогазовой установки с мезофильным сбраживанием субстрата / Б. Г. Зиганшин, И. Х. Гайфуллин, А. И. Рудаков и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2016. Т. 11. № 3(41). С. 63-67. doi:10.12737/22678.

20. Использование удобрений из куриного помета для выращивания органической продукции / А. С. Ганиев, Ф. С. Сибгатуллин, Б. Г. Зиганшин, и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2022. Т. 17. № 1(65). С. 9-14. doi:10.12737/2073-0462-2022-9-14.

Сведения об авторах:

Гайфуллин Ильнур Хамзович – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, профессор РАН, e-mail: zigan66@mail.ru

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

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

IMPROVEMENT OF BIOGAS PLANT OPERATION MODES

I. Kh. Gayfullin, B. G. Ziganshin, D. T. Khaliullin

Abstract. The relevance of research on the processing of organic agricultural waste with the addition of various impurities in order to increase the yield of biogas is due to the growing need for efficient and sustainable energy sources. In the context of global climate change and the depletion of traditional resources, biogas is becoming an important alternative that helps reduce greenhouse gas emissions and recycle organic waste. This study examines the processes of anaerobic digestion of organic waste generated in agriculture using a small-volume biogas plant developed at Kazan State Agrarian University. The aim of the work is to increase the efficiency of biogas output through optimization of the parameters and operating modes of the biogas plant. Various types of organic substrates were used in the studies. The operation of the plant depends on an alternating current network (220 V) and consumes no more than 0.8 kW·h of electricity. In the thermophilic mode (40-55°C) of processing various substrates, the following amount of biogas was produced: 9 m³ from pig manure, 7.6 m³ from chicken manure, 4.96 m³ from horse manure and 8.3 m³ from cattle manure. The greatest increase in biogas is observed when using horse manure in the thermophilic mode. The experimental results show that the use of additives such as Mephosphon and various plant materials significantly increases the output of biogas, which is confirmed by the data obtained, where when using Mephosphon - 11.4 m³, crushed corn - 10.5 m³, birch sawdust - 9.4 m³ and crushed straw - 9.1 m³. These results emphasize the potential of using new additives in the substrate to optimize biogas production processes and contribute to the development of more efficient renewable energy technologies.

Key words: energy supply, organic waste, biogas, fermentation, biofertilizers, ecology.

References

1. Arsanukaev DL, Zaynalabdieva KhM, Shidaeva AA. [Microelement induction of oxidoreductive aerobic transformations of substrates]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2 (66). 163-169 p. doi:10.18286/1816-4501-2024-2-163-169.

2. Zablodskiy M, Klendiy P, Dudar O, Babak D. Energy efficiency of the extrusion process and its effect on output of biogas during the fermentation of maize and rape straw. Problems of the Regional Energetics. 2024; 1(61). 127-139 p. doi:10.52254/1857-0070.2024.1-61.11.

3. Kovalev AA, Mikheeva ER, Katraeva IV. Bioenergy recovery from two-stage mesophilic-thermophilic anaerobic digestion of cheese whey. International Journal of Hydrogen Energy. 2023; Vol.48. 12. 4676-4685 p. doi:10.1016/j.ijhydene.2022.11.003.

4. Osepchuk DV, Danilova AA, Vlasov AB. [Effect of feeding a feed additive based on logging waste on meat productivity indicators of quails]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2025; 1(69). 112-116 p. doi: 10.18286/1816-4501-2025-1-112-116.

5. Shogenov YuKh, Dudarov ZI, Zanirov AKh. [Assessment of the contribution of root carbon nutrition to the formation of plant biomass in a model experiment]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2024; Vol.19. 4(76). 88-94 p. doi:10.12737/2073-0462-2024-88-94.

6. Druzyanova VP, Kokieva GE, Savvateeva IA. Livestock enterprises waste utilization for heat system supply to rural buildings in Yakutia. IOP conference series: materials science and engineering. Barnaul: Institute of Physics Publishing, 2020; 012018 p. doi:10.1088/1757-899X/941/1/012018.
7. Apazhev AK, Shekhikachev YuA, Fiapshev AG. [Development and study of a bioreactor for producing biofertilizer and biogas]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2016; Vol.11. 2(40). 60-63 p. doi:10.12737/20637.
8. Lakhonin PD, Kolesnik NS, Zelenchenkova AA. [Effect of concentrate levels on nutrient digestibility and amount of methanogens in sheep]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 3(67). 174-181 p. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-174-181.
9. Gorbenko AD, Kaplan MA, Kvitko AV, Sevostyanov MA. [Use of organic waste as raw materials for various methods of producing biofuels (review)]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 4. 61-68 p. doi: 10.53859/02352451_2023_37_4_61.
10. Druzyanova VP, Sergeev YuA. [Technology of anaerobic digestion of beddingless cattle manure]. Agrarnaya nauka. 2015; 5. 24-26 p.
11. Fiapshev AG, Khamokov MM, Kilchukova OKh. Mathematical model of heat transfer in the reactor of a biogas plant. Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation. Vol.1679. Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. 2020; 52074 p. doi:10.1088/1742-6596/1679/5/052074.
12. Gaydar SM, Pikina AM, Lapsar OM. [Technology of processing fat-containing waste from meat processing plants into surfactants]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 12. 77-81 p. – doi: 10.53859/02352451_2023_37_12_77.
13. Khazhmetova AL, Apazhev AK, Shekhikachev YuA. [Technological and technical support for increasing the efficiency of intensive mountain and foothill horticulture]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2019; 6(264). 23-28 p. doi:10.33267/2072-9642-2019-6-23-28.
14. Hung CH, Chang YT, Chang YJ. Roles of microorganisms other than Clostridium and Enterobacter in anaerobic fermentative biohydrogen production systems - a review. Bioresource technology. 2011; Vol.102. 18. 8437-8444 p.
15. Ratti RP. Thermophilic hydrogen production from sugarcane bagasse pretreated by steam explosion and alkaline delignification. International Journal of Hydrogen Energy. 2015; Vol.40. 19. 6296-6306 p.
16. Khaliullina Z, Shogenov Yu, Gayfullin I. The use of the Mephosphon drug to accelerate the process of biogas output and ripening of organic wastes. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2020). EDP Sciences: EDP Sciences. 2020; 00127 p. doi:10.1051/bioconf/20202700127.
17. Dai NH. Hydrogen production from acidic, alkaline, and steam-exploded Bambusa stenostachya hydrolysates in dark fermentation process. Biomass Conversion and Biorefinery. 2021; 1-12 p.
18. Ziganshin BG, Kashapov II, Gayfullin IKh. [Relevance of the use of biogas plants in Russia and abroad]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2017; Vol.12. 2(44). 71-74 p. doi:10.12737/article_59ad07085075f5.79036838.
19. Ziganshin BG, Gayfullin IKh, Rudakov AI. [Calculation of heat balance and justification of parameters of a small-sized biogas plant with mesophilic fermentation of substrate]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2016; Vol.11. 3(41). 63-67 p. doi:10.12737/22678.
20. Ganiev AS, Sibagatullin FS, Ziganshin BG. [Use of fertilizers from chicken manure for growing organic products]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2022; Vol.17. 1(65). 9-14 p. doi:10.12737/2073-0462-2022-9-14.

Authors:

Gayfullin Ilnur Khamzovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, e-mail: ilnur-gai@yanex.ru
 Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, Professor of the Russian Academy of Sciences, e-mail: zigan66@mail.ru
 Khaliullin Damir Tagirovich – Ph.D. of Technical Sciences, Head of Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, e-mail: damirtag@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ НАТИРАНИЕМ

И. Х. Гималтдинов, М. Р. Садыков, Н. Р. Адигамов, А. В. Гриценко

Реферат. В условиях сложной экономической ситуации политика импортозамещения в сфере сельского хозяйства направлена на обеспечение продовольственной безопасности страны. Проблемой является износ парка сельскохозяйственной техники, требующий значительных затрат. Обновление парка машин затруднено из-за высокой стоимости новой техники, поэтому предприятия прибегают к ремонту и восстановлению деталей. Цель исследований заключается в повышении эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей машин за счет повышения качества и обоснования режимов электролитического натирания, для получения заданных физико-механических свойств восстанавливаемых поверхностей. Разработана лабораторная установка с роликовыми анодами, обеспечивающая формирование железных покрытий при перемещении анода по восстанавливаемой поверхности. Использован анод из стали 3 по ГОСТ 380–2005. Электролит: FeCl_2 – 250–300 г/л, KCl – 40–50 г/л, H_3BO_3 – 15–30 г/л, NaH_2PO_2 – 15–30 г/л, аскорбиновая кислота – 0,5–2 г/л. Прокладка – технический войлок толщиной 6–12 мм, плотностью 0,28 г/см³. Проведён факторный эксперимент по плану второго порядка. Варьировались площадь контакта (0,160–0,277 дм²), скорость вращения анода (15–55 мин⁻¹), подача электролита (0,42–2,53 л/мин). Условия: pH = 1, ток 20–30 А, температура 52–55 °С. Максимальная скорость осаждения составила 1030,08 мкм/ч против исходного значения 460,44 мкм/ч. Полученные покрытия достигали твёрдости 59 HRC, износостойкость увеличилась на 20–30%. Применялись установка 77MT-1, твердомер ТК-2М, весы AND HR-200. Построено регрессионное уравнение второго порядка с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,93$. Дисперсионный анализ подтвердил значимость всех факторов ($p < 0,05$). Результаты позволяют рекомендовать технологию для ремонтных подразделений сельхозпредприятий. Обеспечивается повышение производительности процесса и воспроизводимость свойств покрытия при восстановлении внутренних цилиндрических поверхностей.

Ключевые слова: импортозамещение, корпусные детали, восстановление, электролитическое натирание, качество поверхности, износостойкость, надежность.

Введение. В условиях сложной экономической обстановки в Российской Федерации и в мировом сообществе в целом, государство реализует политику импортозамещения, в частности в сфере обеспечения населения достаточным количеством качественной сельскохозяйственной продукции отечественного производства, от чего напрямую зависит продовольственная безопасность страны [1, 2, 3]. Одной из актуальных

проблем остаётся износ и старение парка сельскохозяйственной техники, что требует постоянного внимания и значительных затрат физических, трудовых и финансовых ресурсов [4,5,6].

Анализ данных о состоянии машинного парка в сельскохозяйственных предприятиях показал, что ежегодно требуется значительные затраты на ремонт техники в соответствии с данными на 2022 год (рис. 1).

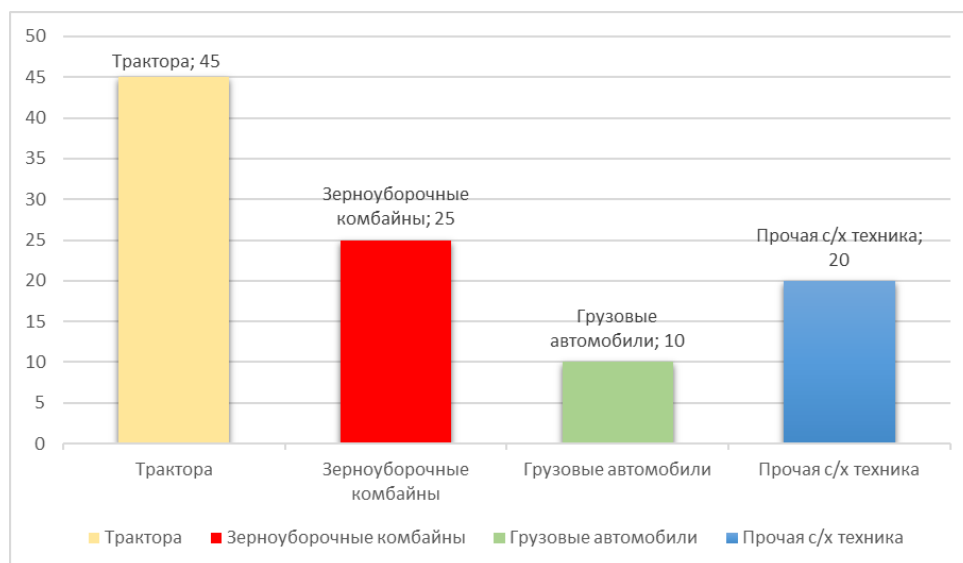


Рис. 1 – Общий годовой объем ремонта сельскохозяйственной техники в млрд руб. на 2022 год

В последние годы обновление парка машин на сельскохозяйственных предприятиях происходит медленно или не происходит вовсе из-за сложной экономической ситуации и высокой стоимости новой техники [7]. Пополнение запасных частей и комплектующих для ремонта также затруднено из-за необходимости серьезных финансовых вложений. Восполнение чаще всего на современных сельскохозяйственных предприятиях происходит путем ремонта и восстановления деталей, узлов и агрегатов, что требует меньших затрат. Однако для повышения эффективности процессов ремонта и восстановления необходимо выбирать оптимальные и продуктивные методы [8, 9].

Таким образом актуальным направлением является разработка и внедрение новых и ресурсосберегающих технологий и методов, выбор качественного, дешевого и более

доступного оборудования, конструирование инновационных устройств, менее затратного материала для восстановления внутренних цилиндрических отверстий представляют большой теоретический и практический интерес [10].

Целью исследований является повышение эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей машин за счет повышения качества и обоснования режимов электролитического натирания, для получения заданных физико-механических свойств восстанавливаемых поверхностей.

Условия, материалы и методы. В лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ была разработана установка для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей машин электролитическим натиранием (рис. 2).

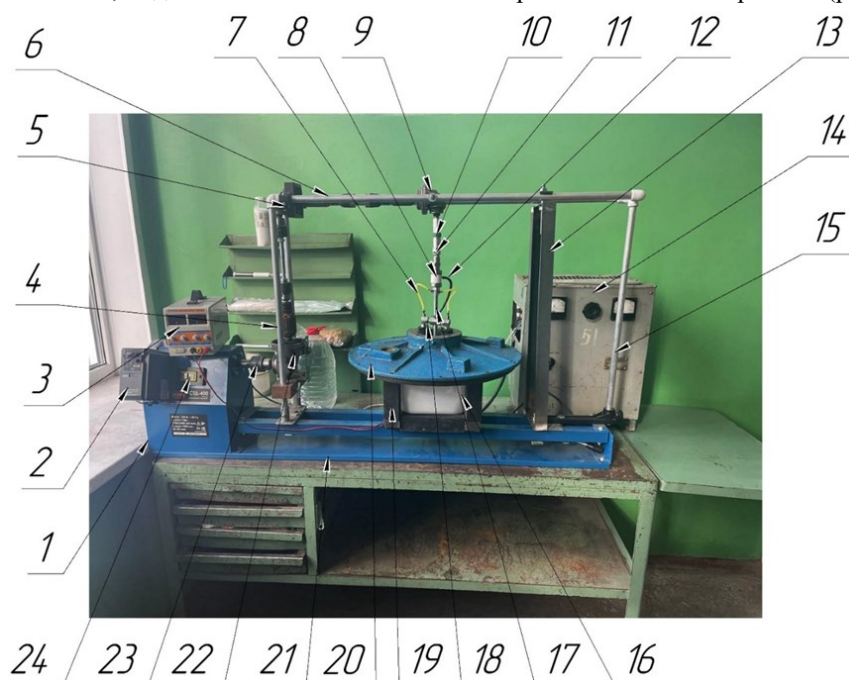


Рис. 2 – Установка для восстановления посадочных мест под подшипники деталей машин электролитическим натиранием: 1 – корпус блока управления электродвигателем; 2 – блок управление электродвигателем; 3 – лабораторный источник питания PSN 305D; 4 – левая стойка; 5 – зубчатая коническая передача вертикальный вал – горизонтальный вал; 6 – горизонтальная планка; 7 – патрубок роликового анода; 8 – система подачи жидкости с подвижным элементом; 9 – зубчатая коническая передача горизонтальный вал – вал привода роликового анода; 10 – диэлектрик; 11 – верхний шарнирный кардан; 12 – патрубок электронасоса; 13 – стойка установки; 14 – выпрямитель тока ВУ- 4270Б; 15 – правая стойка; 16 – емкость для электролита; 17 – резьбовая штанга; 18 – роликовый анод; 19 – остов; 20 – корпус дробилки КД-2; 21 – рама; 22 – зубчатая коническая передача привод-вертикальный вал; 23 – быстро разжимной кулачковый механизм; 24 – клавиши пуска и остановки электродвигателя

Установка (рис. 2) включает в себя электродвигатель, обеспечивающий вращение всех элементов механизма. Он расположен в корпусе блока управления электродвигателем 1 и передает механическую энергию для дальнейшей работы устройства. Конструктивную стабильность обеспечивают левая стойка 4, горизонтальная планка 6, правая стойка 15

и стойка установки 13, которые фиксируют и удерживают различные части установки, обеспечивая точное позиционирование в процессе работы. Подача электролита осуществляется следующим образом: насос, расположенный в емкости для электролита 16, подает жидкость через патрубок электронасоса 12 в систему подачи жидкости с подвижным элементом 8.

Далее электролит поступает через патрубок 7 во вновь разработанные роликовые аноды, защищенные патентом (RU 2769383 C1). В отличие от известных аналогов, данное устройство включает свинцовый стакан с коническими отверстиями, плоскую пружину, конусные клапаны, упорные подшипники (верхний и нижний), патрубки, уплотнительные элементы и войлочный тампон. Принципиальной особенностью конструкции является наличие верхнего и нижнего корпусов, установленных телескопически один в другой, что обеспечивает возможность взаимного перемещения при сборке. Корпуса связаны с горизонтально ориентированными элементами, на которых закреплены подпружиненные отводы, обеспечивающие точное прижатие роликового анода к восстанавливаемой поверхности. Дополнительно реализована автоматизированная клапанная система, обеспечивающая локализованную подачу электролита непосредственно в зону обработки [11]. Для управления подачей электролита используется лабораторный источник питания PSN 305D 3, с помощью которого регулируется работа насоса. Также в системе предусмотрен выпрямитель тока ВУ-4270Б, предназначенный для подачи электрического тока на анод и деталь 20 (катод), что необходимо для электролиза. Передача крутящего момента в установке осуществляется через быстроразжимной кулачковый механизм 23. Крутящий момент передается через зубчатую коническую передачу привод-вертикальный вал 22, затем через зубчатую коническую передачу вертикальный вал – горизонтальный вал 5. Далее вращение передается на зубчатую коническую передачу горизонтальный вал – вал привода роликового анода 9, а затем через резьбовую штангу 17 к устройству роликового анода 18. Для предотвращения взаимодействия анода и катода в установке предусмотрен диэлектрик 10. Также для обеспечения равномерности вращения роликового анода используется верхний шарнирный кардан 11. Фиксацию роликового анода и восстанавливаемой детали выполняет осто́в 19, установленный на раме 21. Управление установкой осуществляется через блок управления электродвигателем 2, который взаимодействует с клавишами пуска и остановки электродвигателя 24, обеспечивая полный контроль над процессом работы. Разработанная установка для электролитического натирания при восстановлении внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей защищена рядом патентов (RU 2804026 C1, RU 2769383 C1, RU 2715584 C1, RU 2739927 C1)

Установка позволяет эффективно наносить гальванические покрытия на посадочные места под подшипники деталей машин, обеспечивая высокую точность и стабильность процесса электролитического натирания, что делает её полезным инструментом при восстановлении изношенных деталей машин.

Для проведения экспериментов применялся следующий комплекс приборов и установок:

- установка для восстановления посадочных мест под подшипники деталей машин электролитическим натиранием;
- твердомер ТК-2М — для измерения микротвёрдости восстановленных поверхностей;
- машина трения 77MT-1 — для оценки износостойкости нанесённого слоя;
- аналитические весы AND HR-200 — для определения массы осаждённого металла.

Оборудование обеспечивало необходимую точность измерений и позволило получить воспроизводимые результаты при различных режимах обработки.

В ходе проведения восстановительных работ были использованы следующие режимы электролитического натирания:

- кислотность электролита — $\text{pH} = 1$;
- сила тока — $I = 20\text{--}30\text{ A}$;
- напряжение — $U = 3\text{--}12\text{ В}$;
- скорость вращения анода — $V = 40\text{--}160\text{ мин}^{-1}$;
- выход металла по току — $\eta = 85\text{--}96\%$;
- температура электролита — $t = 52\text{--}55^\circ\text{C}$;
- сила прижатия анода к поверхности — $F = 20\text{--}44\text{ Н}$;
- материал анода — сталь 3 по ГОСТ 380-2005.

Подбор параметров проводился с учётом условий формирования прочного и однородного слоя металла, обладающего высокой адгезией к основному материалу, а также соответствующего требованиям по допускам и посадке подшипниковых узлов. Все измерения проводились по стандартной методике, с последующей обработкой результатов в среде Microsoft Excel.

Для обеспечения доступа электролита к аноду и к восстанавливаемой поверхности была использована анодная прокладка из войлока технического полугрубошерстного ППрБ, толщиной 6-12 мм, плотностью 0,28 г/см, ГОСТ 6308-71.

В качестве электролита был выбран состав, обеспечивающий рациональные условия осаждения металла и высокое качество покрытия. Состав электролита включал следующие компоненты: хлорид железа (FeCl_2): 250–300 г/л; хлорид калия (KCl): 40–50 г/л; борная кислота (H_3BO_3): 15–30 г/л; гипофосфит натрия (NaH_2PO_2): 15–30 г/л; аскорбиновая кислота: 0,5–2 г/л.

Результаты и обсуждение. В ходе экспериментов по восстановлению посадочных мест под подшипники методом электролитического натирания была проведена комплексная оценка технологических параметров с использованием точного измерительного оборудования. Данные обработаны методами корреляционно-регрессионного анализа в Excel, что позволило выявить устойчивые закономерности и определить рациональные режимы, обеспечивающие равномерное покрытие с заданными свойствами.

В ходе разработки новой технологии восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей были проведены экспериментальные исследования с варьированием ключевых входных факторов: площади контакта (S , дм^2), объема подаваемого электролита (V , л/мин), скорости вращения анода (w , мин^{-1}) и функции отклика скорости осаждения металла (R , мкм/ч). В результате установлены зависимости между входными

факторами функцией отклика – скорости осаждения металла. Определены рациональные режимы осаждения, обеспечивающие равномерное и прочное покрытие, и подтверждена эффективность предлагаемой технологии по сравнению с традиционными методами восстановления. На рисунке 3 представлена зависимость скорости осаждения от площади контакта, оборотов вращения анода и подачи электролита.

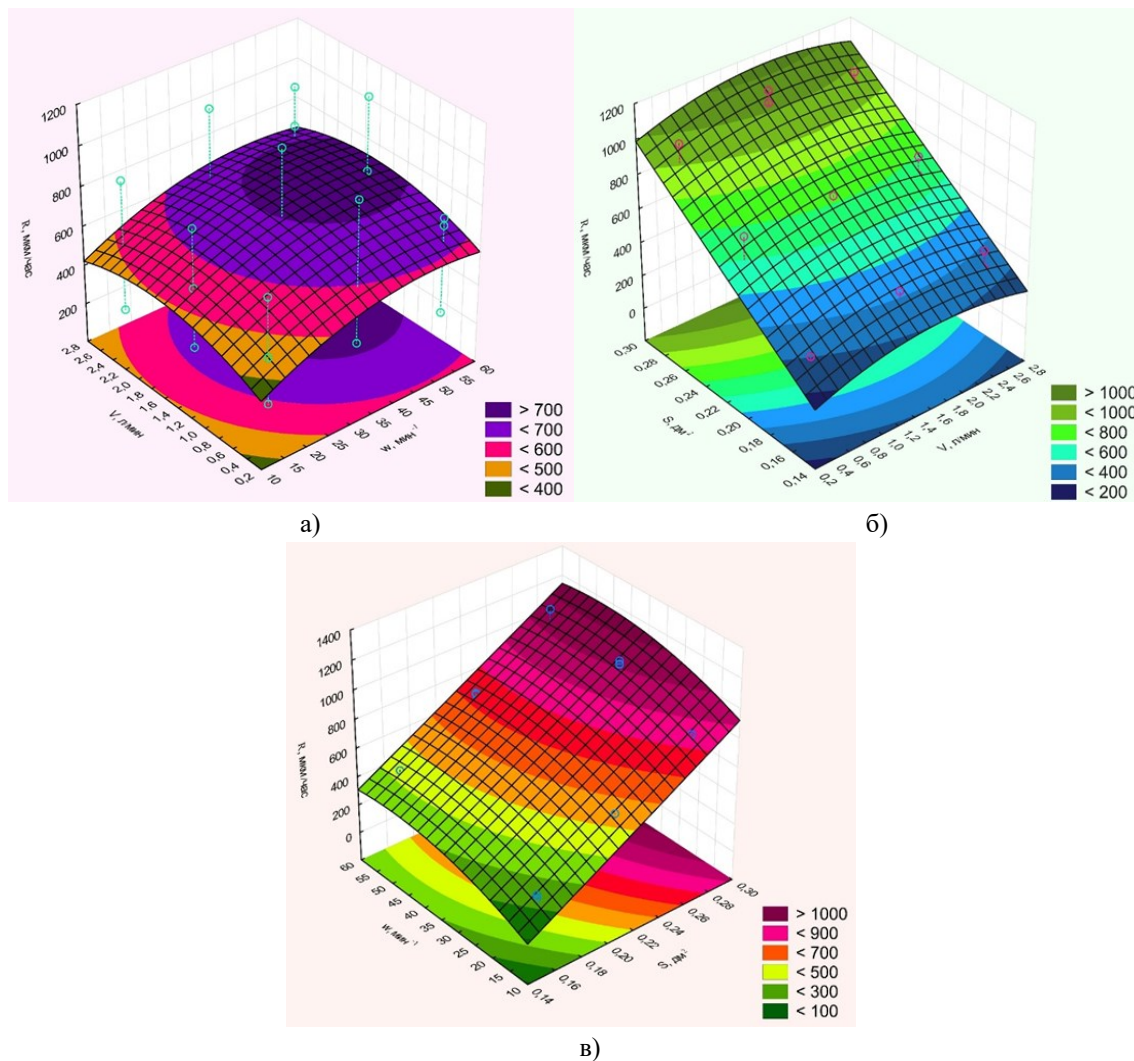


Рис. 3 – Зависимость скорости осаждения R , мкм/ч от площади контакта, скорости вращения анода и объема подачи электролита: а) зависимость скорости осаждения от V , л/мин и w , мин^{-1} ; б) зависимость скорости осаждения от S , дм^2 и V , л/мин; в) зависимость скорости осаждения от w , мин^{-1} и S , дм^2

На представленных 3D графиках (рис. 3) показаны зависимости отклика – скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) от параметров объема подаваемого электролита (V , л/мин), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и площади контакта анода (S , дм^2). В первом графике (рис. 3а) отклик увеличивается с ростом частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объема подаваемого электролита (V , л/мин), с областями значений скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) выше 700, что указывает на нелинейную зависимость этих параметров.

Во втором графике (рис. 3б) показывает более широкий диапазон значений скорости осаждения металлов (R , мкм/ч), от менее 200 до более 1000, при этом резкие изменения отклика происходят при низких значениях площади контакта анода (S , дм^2), и объема подаваемого электролита (V , л/мин). Третий график (рис. 3в) более высокие значения скорости осаждения металлов (R , мкм/ч), выше 1000 наблюдаются при высоких значениях частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и площади контакта анода (S , дм^2), что свидетельствует

о их значительном влиянии на отклик. В целом, эти графики наглядно иллюстрируют, как различные комбинации параметров влияют на отклик, выделяя области с быстрым изменением и более стабильные параметры для каждой комбинации.

На рисунке 4 приведены итоговые графики влияния площади контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}), объема подаваемого электролита (V , л/мин), на скорость осаждения металлов (R , мкм/ч).

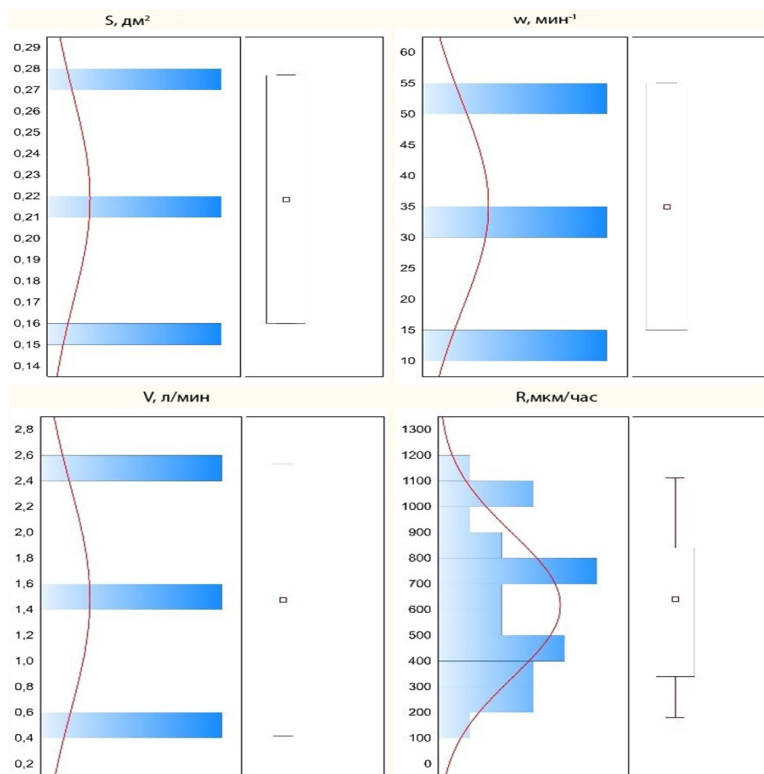


Рис. 4 – Результаты проведения экспериментальных исследований влияния факторов S , дм^2 , w , мин^{-1} , V , л/мин на R , мкм/ч

На представленных итоговых графиках (рис. 4) видно, что параметры частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и площади контакта анода (S , дм^2) имеют более широкий разброс значений по сравнению с объемом подаваемого электролита (V , л/мин), что указывает на большую изменчивость этих переменных. Среднее значение площади (S , дм^2) составляет 0,219 дм^2 с небольшим разбросом, что подтверждается стандартным отклонением 0,0487. Частота вращения (w , мин^{-1}) имеет значительную вариативность, с диапазоном от 15 до 55 мин^{-1} и стандартным отклонением 16,64. Для скорости подачи электролита (V , л/мин) среднее значение составляет 1,475 л/мин, с умеренным разбросом (стандартное отклонение 0,878), а для отклика скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) наблюдается наиболее значительная изменчивость с диапазоном от 181 до 1113 мкм/час и стандартным отклонением 279.

Было получено уравнение регрессии второго порядка для предсказания значения отклика скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) на основе параметров площади контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объемом подаваемого электролита (V , л/мин)

выглядит следующим образом:

$$R = V_{\text{ос}} = 121,14 + 1135,20 \cdot S + 4,80 \cdot w + 61,39 \cdot V_3 + 3688,61 \cdot S^2 - 27,81 \cdot S \cdot w + 120,23 \cdot S \cdot V_3 + 0,13 \cdot w^2 - 1,84 \cdot w \cdot V_3 + 15,47 \cdot V_3 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации (R^2) для модели регрессии второго порядка составил 0,93, что свидетельствует о высоком уровне объясняемой дисперсии зависимой переменной (R) моделью. Это означает, что около 93% вариации в значениях отклика объясняется выбранными независимыми переменными: площади контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объемом подаваемого электролита (V , л/мин), что говорит о хорошей точности модели.

Коэффициент детерминации (R^2) для модели регрессии второго порядка составил 0,93, что свидетельствует о высоком уровне объясняемой дисперсии зависимой переменной (R) моделью. Это означает, что около 93% вариации в значениях отклика объясняется выбранными независимыми переменными: площади контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объемом подаваемого электролита (V , л/мин).

(V, л/мин), что говорит о хорошей точности модели.

Также был проведен дисперсионный анализ (табл.).

Таблица – Дисперсионный анализ

Фактор	Дисперсионный анализ; Прм.: R, мкм/час; $R^2=0,93855$; Скор., 92012 3 3-х уровневые ф, 1 Блоки; Остаточн. SS=6216,974 ЗП R, мкм/час				
	SS	сс	MS	F	p
(1)S, дм^2 (L)	1680189	1	1680189	270,2583	0,000001
S, дм^2 (K)	14	1	14	0,0022	0,013241
(2)w, мин^{-1} (L)	143821	1	143821	23,1337	0,000107
w, мин^{-1} (K)	24473	1	24473	3,9365	0,011142
(3)V, л/мин (L)	20451	1	20451	3,2895	0,014760
V, л/мин (K)	30267	1	30267	4,8684	0,029210
Ошибка	124339	20	6217		
Общая SS	2023554	26			

На основе дисперсионного анализа (табл.) все три независимых переменные (S, w и V) оказывают значительное влияние на отклик, о чем свидетельствуют низкие значения для линейных и квадратичных членов каждого из факторов. Ошибка модели (с остаточной суммой квадратов 6216,974) и общая сумма квадратов (2023554) показывают, что модель хорошо описывает данные с небольшими отклонениями, а высокие

значения F-статистики подтверждают значимость факторов. В целом, факторы S, w и V имеют значительное влияние на отклик, и модель демонстрирует высокий уровень объясняемой дисперсии. На рисунке 5 представлены наблюдаемые экспериментальные и расчетные теоретические значения. На графике (рис. 5) представлена зависимость между наблюдаемыми и предсказанными значениями для отклика R, мкм/ч.

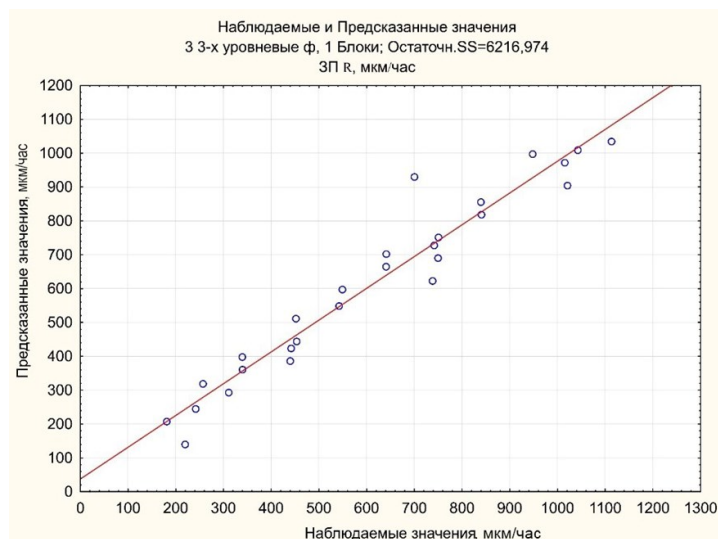


Рис. 5 – Наблюдаемые и предсказанные значения

Каждая точка соответствует паре значений: наблюдаемому значению отклика, полученному в эксперименте, и предсказанному значению, рассчитанному на основе полученной регрессионной модели, так как все точки расположены близко к линии регрессии, что указывает на высокую точность предсказаний. Координаты точек определяются следующим образом: по оси абсцисс отложены наблюдаемые значения отклика R, мкм/ч, а по оси ординат - соответствующие им предсказанные значения, мкм/час. Красная линия на графике отражает идеальную линейную зависимость $x=y$, при которой предсказанные значения в точности совпадают с наблюдаемыми. Видно, что большинство точек располагаются вблизи этой линии, что свидетельствует о высокой

точности предсказаний, полученных по регрессионной модели. Низкое значение остаточной суммы квадратов ($SS = 6216,974$) подтверждает хорошее соответствие модели экспериментальным данным, что является положительным результатом при прогнозировании отклика.

Выводы. Сформулированные по результатам проведенного научного исследования выводы подтверждают, что поставленная цель – повышение эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей машин методом электролитического натирания – достигнута в полном объеме. На основе анализа существующих проблем в техническом обслуживании сельскохозяйственной техники и теоретического

обоснования ключевых параметров электролитического процесса была разработана экспериментальная установка с роликовым анодом, защищённая рядом патентов Российской Федерации. Это обеспечило возможность реализации восстановительного процесса с высокой степенью точности и воспроизводимости. Предложенная математическая модель второго порядка, построенная на основании трех факторов – площади контакта анода, скорости его вращения и объема подачи электролита, – позволила с высокой точностью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,93$) описывать процессы осаждения железа, что подтверждается как результатами дисперсионного анализа, так и сопоставлением экспериментальных и расчетных данных. Полученные значения скорости осаждения металла достигали 1030,08 мкм/час, что в 1,9 раза выше по сравнению с базовыми режимами, используемыми на начальных этапах эксперимента (460,44 мкм/час). Это указывает на возможность существенного увеличения производительности восстановления без потери качества.

Кроме того, достигнуты целевые значения твердости восстановленных поверхностей – до 59 HRC при восстановлении стали 3, что, согласно проведенным испытаниям на машине трения 77MT-1, обеспечило повышение износостойкости обработанных участков на 20–30% по сравнению с аналогами. Были решены все сформулированные задачи: проведен сравнительный анализ существующих способов восстановления, теоретически и экспериментально обоснованы конструкционные и технологические параметры установки,

разработана и протестирована математическая модель.

Полученные результаты имеют прикладную значимость для ремонтных сельскохозяйственных предприятий, машиностроительных производств и образовательных учреждений, обучающих специалистов по техническому обслуживанию и ремонту машин. В качестве рекомендаций предлагается использовать оптимальные технологические режимы, включающие подачу электролита 2,5 л/мин и скорость вращения анода 55 об/мин при использовании войлочных прокладок толщиной 6–12 мм. Эти условия обеспечивают равномерное распределение слоя металла, высокую адгезию и минимальные отклонения по геометрии посадочных мест.

Направления для дальнейших исследований включают развитие систем автоматического управления режимами натирания на основе обратной связи с параметрами процесса, расширение области применения технологии на материалы с различными физико-химическими свойствами, а также экологическую оптимизацию состава электролитов для снижения токсичности и повышения биобезопасности производства.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта (№143/2024 – 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. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 124–132.
2. Зиганшин Б. Г., Клычова Г. С., Закирова А. Р. Основные направления формирования механизма социального развития сельскохозяйственного предприятия // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № 3(54). С. 155–161.
3. Development of agriculture based on geographic information technologies / D. A. Mustashkina, M. M. Khananov, M. N. Kalimullin, N. V. Karpova // E3S Web of Conferences. 2022. Vol. 282. P. 07019. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/58/e3sconf_efsc2021_07019/e3sconf_efsc2021_07019.html
4. Хафизов К. А. Снижение суммарных энергетических затрат на технологических операциях в АПК – путь снижения выбросов парниковых газов в атмосферу // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63). С. 43–47.
5. Хафизов К. А., Халиуллин Ф. Х. Пути повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 20–22.
6. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations / D. T. Khaliullin, A. V. Belinsky, I. Kh. Gayfullin [et al.] // Vol. 1212, 2023. P. 12055. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055.
7. Галиев И. Г., Хусаинов Р. К., Хусаинова Т. А. и др. Влияние уровня эксплуатации тракторов в сельскохозяйственном производстве на показатели их надежности // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13, № 3(50). С. 77–80.
8. Li R. I., Rizaeva Y. N., Bykonya A. N. et al. A method for calculating the parameters of a unit for thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts // Polymer Science, Series D. 2021. Vol. 14, No. 4. P. 517–521.
9. Ли Р. И., Псарев Д. Н., Быконя А. Н. и др. Теоретические аспекты терморadiационного нагрева изношенных корпусных деталей техники при восстановлении // Наука в центральной России. 2020. № 1(43). С. 50–59.
10. Sadykov M., Gimaltdinov I., Adigamov N. et al. Theory and Practice of Substantiation of Electroplating Modes by Electrolytic Rubbing // AIP Conference Proceedings. 2024. Vol. 3154. P. 20054. doi: 10.1063/5.0197166.
11. Пат. 2769383 С1 Российская Федерация, МПК C25D 19/00, C25D 5/06, C25D 7/04. Устройство для внеанодного электролитического осаждения металлов с использованием роликовых анодов / Садыков М. Р., Валиев А. Р., Адигамов Н. Р., Гималтдинов И. Х.; патентообладатель: ФГБОУ ВО Казанский ГАУ. – №

2021113260; заявл. 07.05.2021; опубл. 31.03.2022. Бюл. № 9. 4 с.

Сведения об авторах:

Гималтдинов Ильдус Хафизович – кандидат технических наук, врио заведующего кафедрой эксплуатации и ремонта машин, e-mail: tskazgau@mail.ru

Садиков Марат Рашитович – ассистент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: marat3012@yandex.ru

Адигамов Наиль Рахатович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: n-adigamov@rambler.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Гриценко Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала»¹; профессор кафедры технического сервиса машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности²; e-mail: alexgrits13@mail.ru

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND INSTALLATION FOR RESTORATION OF BEARING SEATS IN BASIC PARTS BY ELECTROLYTIC RUBBING

I. Kh. Gimaltdinov, M. R. Sadykov, N. R. Adigamov, A. V. Gritsenko

Abstract. In the conditions of a difficult economic situation, the import substitution policy in the agriculture sphere is aimed at ensuring food security of the country. The problem is the wear and tear of the agricultural machinery fleet, which requires significant costs. Updating the fleet of machines is difficult due to the high cost of new equipment, so enterprises resort to repair and restoration of parts. The aim of the research is to increase the efficiency of restoration of internal cylindrical surfaces of machine basic parts by improving the quality and substantiating the modes of electrolytic rubbing, to obtain the specified physical and mechanical properties of the restored surfaces. A laboratory setup with roller anodes has been developed, which ensures the formation of iron coatings when the anode moves along the surface being restored. An anode made of grade 3 steel according to GOST 380–2005 was used. Electrolyte: FeCl_2 – 250–300 g/l, KCl – 40–50 g/l, H_3BO_3 – 15–30 g/l, NaH_2PO_4 – 15–30 g/l, ascorbic acid – 0.5–2 g/l. Gasket – a technical felt of 6–12 mm thick, with a density of 0.28 g/cm³. A factorial experiment was conducted according to a second-order design. The contact area (0.160–0.277 dm²), anode rotation speed (15–55 min⁻¹), and electrolyte feed (0.42–2.53 l/min) were varied. Conditions: pH=1, current 20–30 A, temperature 52–55°C. The maximum deposition rate was 1030.08 µm/h against the initial value of 460.44 µm/h. The obtained coatings reached a hardness of 59 HRC, wear resistance increased by 20–30%. The following device were used: device 77MT-1, hardness tester TK-2M, scales AND HR-200. A second-order regression equation with the determination coefficient $R^2=0.93$ was constructed. The dispersion analysis confirmed the significance of all factors ($p<0.05$). The results allow us to recommend the technology for repair departments of agricultural enterprises. It ensures increased process productivity and reproducibility of coating properties when restoring internal cylindrical surfaces.

Key words: import substitution, basic parts, restoration, electrolytic rubbing, surface quality, wear resistance, reliability.

References

1. Safiullin IN, Ziganshin BG, Amirova EF. [Assessment of food security of Russia]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 124–132 p.
2. Ziganshin BG, Klychova GS, Zakirova AR. [Main directions of formation the social development mechanism of an agricultural enterprise]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 3(54). 155–161 p.
3. Mustashkina DA, Khannanov MM, Kalimullin MN, Karpova NV. Development of agriculture based on geographic information technologies. [Internet]. E3S Web of Conferences. 2022; Vol.282. 07019 p. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/58e3sconf_efsc2021_07019.html
4. Khafizov KA. [Reducing total energy costs in technological operations in the agro-industrial complex - a way to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 43–47 p.
5. Khafizov KA, Khaliullin FK. [Ways to improve the efficiency of using machine and tractor units]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015; 10. 20–22 p.
6. Khaliullin DT, Belinskiy AV, Gayfullin IKh. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations. Vol.1212. 2023; 12055 p. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055.
7. Galiev IG, Khusainov RK, Khusainova TA. [The influence of the level of operation of tractors in agricultural production on their reliability indicators]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 3(50). 77–80 p.
8. Li RI, Rizaeva YN, Bykonya AN. A method for calculating the parameters of a unit for thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts. Polymer Science, Series D. 2021; Vol.14. 4. 517–521 p.
9. Li RI, Psarev DN, Bykonya AN. [Theoretical aspects of thermoradiation heating of worn basic parts of machine during restoration]. Nauka v tsentral'noy Rossii. 2020; 1(43). 50–59 p.
10. Sadykov M, Gimaltdinov I, Adigamov N. Theory and practice of substantiation of electroplating modes by electrolytic rubbing. AIP Conference Proceedings. 2024; Vol.3154. 20054 p. doi: 10.1063/5.0197166.
11. Sadykov MR, Valiev AR, Adigamov NR, Gimaltdinov IKh. [Device for external electrolytic deposition of metals using roller anodes]. Patent 2769383 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C25D 19/00, C25D 5/06, C25D 7/04. Patentobladatel: FGBOU VO Kazanskiy GAU. № 2021113260; declared 07.05.2021; published 31.03.2022; bulletin № 9. 4 p.

Authors:

Gimaltdinov Ildus Khafizovich – Ph.D. in Engineering, Acting Head of Machine Operation and Repair Department, e-mail: tskazgau@mail.ru

Sadykov Marat Rashitovich – Assistant of Machine Operation and Repair Department, e-mail: marat3012@yandex.ru

Adigamov Nail Rashatovich – Doctor of Engineering, Professor of Machine Operation and Repair Department, e-mail: n-adigamov@rambler.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Gritsenko Aleksandr Vladimirovich – Doctor of Engineering, Professor of the Advanced Engineering School of Engine Building and Special Equipment “Heart of the Urals”¹; Professor of the Department of Technical Service of Machines, Equipment and Life Safety²; e-mail: alexgrits13@mail.ru

¹South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ВАКУУМ-СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

А. Т. Ибраихан, А. Б. Абуова, А. Б. Рахматуллина, Ф. Т. Диханбаева,
З. Т. Есембекова

Реферат. Цель исследования - выявление оптимальных режимов сушки верблюжьего молока на вакуум-сублимационной сушильной установке встроенного типа и анализ основных показателей качества конечной готовой продукции. Объекты исследования - свежее цельное верблюжье молоко, вакуум-сублимационная сушильная установка Модель: ZLGJ-300. Сублимационная сушилка имеет функцию предварительного замораживания и удаляет до 90% влаги при температуре ниже 0°C, переходя от твердого состояния льда к газообразному. Исследования качества сырого и сухого верблюжьего молока проводились согласно требованиям ГОСТ 3626-73, СТ РК 166-2015, СТ РК 3386-2019, ТР ТС 033/2013. Исследованы пять температурных режимов сушки с различной толщиной слоя верблюжьего молока (от 0,9 до 1,5 см) и поэтапному температурному воздействию — от глубокой заморозки (-55°C) до завершающей стадии сушки при положительных температурах (+50°C). Наиболее эффективным признан режим IV (толщина слоя 0,9 см), который обеспечил оптимальное сочетание качества готового продукта и продолжительности сушки (22 ч). Результаты подтверждают, что соблюдение тонкого слоя и постепенное температурное повышение способствуют получению продукта с сохранёнными питательными свойствами в соответствии требованиям СТ РК 3386-2019. В сухом молоке уровень влаги составляет от 2,5 до 5%, что делает невозможным развитие микроорганизмов. Исследуемое верблюжье молоко микробиологически соответствует требованиям ТР ТС 033/2013, что свидетельствует о здоровье животных не подверженных инфекционным болезням. Химический анализ свежего молока показал: жир – 4,56%, СОМО – 6,23%, белок – 2,93%, плотность – 26,8%, что соответствует стандарту. В сухом молоке, полученного по оптимальному режиму, после восстановления содержание жира – 6,75%, СОМО – 7,50%, белка – 3,42%, вода – 10,3%, что подтверждает его высокое качество и соответствие стандартам.

Ключевые слова: вакуум-сублимационная сушка, сухое молоко, цельное верблюжье молоко, плотность, температурный режим.

Введение. Верблюжье молоко отличается от молока других сельскохозяйственных животных идеальным сочетанием аминокислот и наличием множества витаминов. Мэл и Патак (2010) сообщили, что верблюжье молоко содержит большое количество иммуноактивных белков лизоцима, лактоферрина, лактопероксидазы, иммуноглобулинов, а также витамина С и инсулина, которые играют важную роль в механизмах защиты от болезней. Однако верблюжье молоко, как и любое другое, быстро портится, и его потери происходят на фермах, неформальном и официальном рынках сбыта [1]. Химический состав верблюжьего молока отличается по сезонам и в среднем содержание жира составляло 4,47%, белка 3,2%, казеина 2,56%. Относится к альбуминовому типу, все белковые вещества и жир легко усваиваются организмом.

Цельное верблюжье молоко содержит значительное количество лактозы, которая питает мозг и нервную систему. Этот напиток обладает высокой долей естественных антител, антибиотиков и иммунологическими свойствами. Продукты из верблюжьего молока рекомендуются для лечения желудочно-кишечного тракта и профилактики онкологических болезней.

Известно, что в народной медицине верблюжье молоко применяется для борьбы с раком, ВИЧ, синдромом Альцгеймера, гепатитом, туберкулезом, заболеваниями дыхательных путей. Они способствуют улучшению кровообращения, укреплению иммунитета,

а также являются богатым источником витаминов. На основе этого ученые делают вывод о потенциале иммунной системы верблюда, считая ее одной из наиболее мощных среди всех видов.

Согласно ученым из Великобритании, верблюжье молоко может стать новым прорывом в медицине, блокируя раковые клетки без негативных побочных эффектов [2].

Из верблюжьего молока готовят катык, известный также под разными названиями как катык, йогурт и чекизе в зависимости от региона, по общепринятому методу, распространенному в странах Ближнего и Среднего Востока [2,3].

Продукты переработки верблюжьего молока и его фракции могут быть использованы в составе биологически активных добавок и сухих смесей с иммуномодулирующими и регенерирующими свойствами и для обогащения при производстве пищевой продукции функционального назначения, что требует применения высокотехнологичной сушки молока – сублимационной (лиофилизационной), которая подходит для чувствительных к нагреванию продуктов [4].

Несмотря на важную пищевую роль верблюжьего молока, из-за отсутствия перерабатывающих предприятий, его распространение незначительно. Однако за последние два десятилетия в мире наблюдается большой спрос на верблюжье молоко и его производные.

Старинный метод сохранения продуктов

питания, заключающийся в их сушке, известен человечеству на протяжении многих веков. Хотя эксплуатационные методы обычной сушки отличаются от современных технологий, сушка с использованием всех этих методов достигается либо за счет излучения, конвекции, теплопроводности, либо за счет комбинации механизмов теплопередачи. Следовательно, все эти методы сушки могут частично или полностью повлиять на качество продукта [5].

Процесс сушки подразумевает удаление влаги из молока, в результате чего оно превращается в твердую массу. В сухом молоке уровень влаги составляет от 2,5 до 5%, что делает невозможным развитие микроорганизмов. Сушка значительно увеличивает срок хранения молока и одновременно снижает его вес и объем, что, в свою очередь, уменьшает затраты на транспортировку и хранение.

Основным стимулом для производства сухого цельного молока является его использование для розлива восстановленного питьевого молока и производства молочных продуктов в периоды низких надоев [6].

На сегодняшний день производство сухого молока осуществляется на современных заводах в значительных объемах. Обезжиренное сухое молоко может сохраняться до трех лет, тогда как цельное – всего полгода. Этот короткий срок хранения связан с окислением жиров, что ухудшает его вкус при длительной эксплуатации [7].

Сохранение всех полезных свойств и подбор оптимальной температуры для правильной сушки и оптимальный уровень влажности для его дальнейшего хранения является актуальной задачей.

Особенность сублимационной сушки является максимальное сохранение биологической и пищевой ценности в продуктах, помещенных в вакуумную камеру путем превращения льда в пар минуя жидкую фазу [8].

Метод вакуумной сушки позволяет получить биологически полноценные молочные продукты и сохранить их потребительские свойства и гигиеническую безопасность продолжительное время при различных температурных условиях [9].

Вакуум-сублимационная сушка (ВСС) представляет собой эффективный процесс удаления влаги из молочных продуктов, при котором вода в виде льда сублимируется, минуя жидкую фазу, при низких температурах и низком давлении. Этот процесс является критически важным для сохранения питательных и биологически активных веществ в молоке, таких как белки, витамины и ферменты, что делает его наиболее предпочтительным для продуктов с высокой пищевой ценностью, таких как кобылье и верблюжье молоко.

Основываясь на вышеизложенном, была сформулирована цель: выявление оптимальных режимов сушки цельного верблюжьего молока на вакуум-сублимационной сушильной установке встроенного типа и анализ

основных показателей качества конечной готовой продукции. Задачи: оптимизировать температурный режим сушки; время сушки и толщина слоя верблюжьего молока, влияющие на эффективность сушки.

Условия, материалы и методы. Объекты исследования: свежее цельное верблюжье молоко, вакуум-сублимационная сушилка сухое верблюжье молоко. Молоко получено из верблюжьего хозяйства Алматинской области Республики Казахстан. Эксперименты проведены на базе Института механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова (ИММаш) в период 2023–2024 годов.

Исследование включает детальное описание технологии сублимационной сушки. Параметры сушки были выбраны на основе экспериментальных данных, а также специфики физико-химического состава верблюжьего молока, проведенные в аккредитованных лабораториях АО «Алматинский технологический университет и ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства (Аттестат аккредитации №KZ.T.02.0377 от 20.04.2020 года).

Для определения оптимальных режимов сушки изучены следующие параметры:

Температура: от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

Время сушки: 21–25 часов;

Толщина слоя молока: 0,9–1,5 см.

Отбор проб осуществлялись в соответствии с требованиями международных стандартов ГОСТ 26809 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу» и по СТ РК ISO 707–2011 «Молоко и молочные продукты».

В сыром и сухом продукте определяли органолептические и физико-химические свойства: массу сухого вещества, массовой доли жира, белка, добавленной воды, плотность молока и массовую долю сухого обезжиренного молочного остатка. Это основные показатели которые позволяют судить о качестве молока [10].

Исследования качества сырого и сухого верблюжьего молока проводились согласно следующим методикам:

СТ РК 166-2015 Молоко верблюжье для переработки;

СТ РК 3386-2019 Молоко сухое верблюжье;

ГОСТ 3626-73 Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества;

Массовую долю белка определяли согласно ГОСТ 25179–2014;

Массовую долю жира осуществляли согласно ГОСТ 5867–90;

ТР ТС 033/2013 О безопасности молока и молочной продукции (решение Совета ЕЭК от 09,10,13 №67).

При вакуум-сублимационной сушке осуществляется глубокое замораживание продукта до температуры минус 50°C , после чего в процессе повышения градусов и активации

вакуумного оборудования происходит полное удаление воды путем её испарения из молока. Преимуществом данной технологии является высокое качество конечного продукта, достигаемое минимально возможным воздействием на белковую фазу. Применение термической обработки с диапазоном температур от минус 50°C до плюс 50°C неизменно сказывается на качестве получаемого изделия, степень воздействия варьируется в зависимости от условий процесса сушки.

В исследованиях использована модернизированная вакуум-сублимационная сушильная

установка со следующими техническими параметрами:

1. Модель: ZLGJ-300
2. Площадь сублимационной сушки: 3,15 м²
3. Температура катушки холодной ловушки: <-75 °C (без нагрузки)
4. Предельная степень вакуума: ниже 10 па (без нагрузки)
5. Скорость откачки: 15 л/с
6. Емкость для улавливания воды: >45 кг
7. Способ охлаждения: с воздушным охлаждением (рис.1).



Рис. 1 - Вакуум-сублимационная сушильная установка

Лаборатория ИММаш оснащена следующими приборами:

- Поверенный от 07.11.2024 ФБУ «Новосибирский ЦСМ» Лактан 1-4М» и «Соматос-Мини». Производителем «Сибагроприбор» установлены режимы «Молоко-1», Молоко-2» и по заявке, используя программное обеспечение, дополнительно создана градуировка: верблюжье молоко.

- Прибор «Лактан 1-4М» позволяет без использования химических реактивов определить шесть самых важных параметров за 180 секунд, сокращая материальные и временные затраты.

- При приемке измерении плотности обязательно указываются температура молока. Так при повышении температуры плотность уменьшается, а при понижении увеличивается. Плотность молока измеряют не раньше чем через 2 часа после дойки, так как при остывании из парного молока удаляются растворенные газы, уменьшается объем и увеличивается объем из-за затвердевания молочного жира.

-Для исследования термических свойств образцов сухого верблюжьего молока был использован прибор «Эвлас 2М», предназначенный для проведения дифференциальной сканирующей калориметрии и термogravиметрического анализа. Указанный

прибор позволяет проводить термический анализ в диапазоне температур от 25 до 1000°C в различных газовых средах, что делает его универсальным инструментом для анализа пищевых продуктов.

- Прибор «Соматос-Мини» предназначен для контроля качества молока и определения количества соматических клеток в молоке по условной вязкости, измеряемой по времени вытекания контролируемой пробы через капилляр. Время анализа – 3 минуты.

Для анализа подготовлен раствор препарата «Мастоприм», путем разбавления 3,5 г порошка на 100 см³ дистиллированной воде при температуре 35°C. Этот раствор далее можно хранить в холодильной камере в течении 1 месяца. В колбу помещено 5 мл раствора препарата «Мастоприм», затем 10 мл пробы верблюжьего молока. После нажатия кнопки «Ввод», в течении 2 минут происходит перемешивание и истечение смеси. Результаты подсчета через 58 секунд высветится на индикаторе: время истечения смеси и количество соматических клеток в молоке.

Последовательность действий эксперимента по производству сухого верблюжьего молока представлена на рисунке 2. Путем аналитического метода полученные данные анализированы и оформлены в виде таблиц.

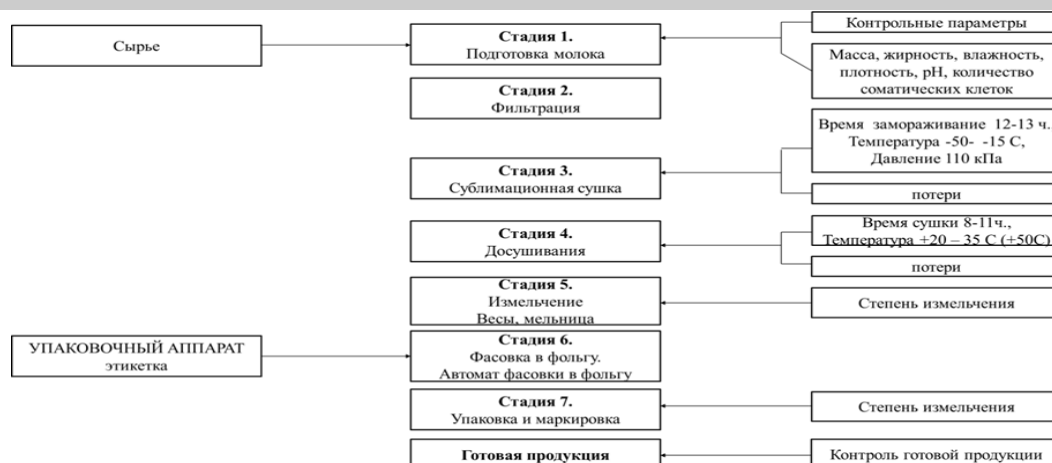


Рис. 2 – Технологическая схема производства сухого цельного молока

Результаты и обсуждение. Определение оптимальных режимов сушки на вакуум-сублимационной сушилке направлено на достижение наилучших условий для сохранения качества продукта. Для успешной сублимации важно поддерживать оптимальные параметры, как температура, давление и время сушки. Также важно проанализировать основные показатели качества, такие как влажность, структура и органолептические характеристики, так как молоко при сублимации может подвергаться агрегации белков.

Важно отметить, что качество получаемого сухого продукта и продолжительность сушки зависят от предварительного замораживания. Чем быстрее и глубже замораживается продукт, тем меньше образуется кристаллов льда, что способствует их более быстрому испарению на этапе сушки и, соответственно, повышает качество конечного продукта [10, 11]. Поскольку основная часть влаги удаляется при отрицательных температурах (-10...-50°C), а последующая сушка проходит при щадящем температурном режиме (не превышающем +50°C), это позволяет максимально сохранить все биологически ценные компоненты исходного сырья. При приеме и подготовке

верблюжьего молока проводятся измерения его массы и качественных характеристик. При сублимационной сушке материал обезвоживается в замороженном состоянии в условиях глубокого вакуума. По результатам исследований ученых [10, 11, 12] относительно оптимального нижнего предела температуры сублимации и технической характеристики вакуум-сублимационной сушилки модели ZLGJ-300 экспериментальным путем были рассмотрены и определены режимы сублимационной сушки верблюжьего молока (продолжительность, температурный режим и толщина слоя) (табл. 1).

Молоко разливалось в стальные лотки размером 50x45x3 см на разной высоте, а затем лотки помещались в сушильную камеру. Во время процесса сублимационной сушки в камере поддерживались условия высокого вакуума, а на полках поддерживалась низкая температура. Эксперименты проводились по отдельности с разной толщиной слоя молока на уровне 0,9, 1,0 и 1,5 см. После установки датчика температуры внутрь образца начинается эксперимент по сублимационной сушке в соответствии с режимами таблицы 1.

Таблица 1 - Режимы сублимационной сушки верблюжьего молока (продолжительность, температурный режим и толщина слоя)

Этапы перехода температурного режима	Тестовый, толщина слоя 0,9 см		I вариант, толщина слоя 1,0 см		II вариант, толщина слоя 1,5 см		III вариант, толщина слоя 0,9 см		IV вариант, толщина слоя 0,9 см	
	Время, ч	Температура, °C	Время, ч	Температура, °C	Время, ч	Температура, °C	Время, ч	Температура, °C	Время, ч	Температура, °C
1	6	-50	6	-45	6	-40	7	-55	6	-50
2	2	-40	2	-35	2	-30	2	-45	2	-35
3	2	-30	2	-25	2	-20	2	-35	2	-25
4	2	-15	2	-15	2	-10	2	-25	2	-15
5	2	0	2	0	2	0	2	-15	2	0
6	3	+20	1	+5	1	+10	2	0	2	+10
7	5	+35	1	+15	2	+20	2	+30	2	+30
8			2	+25	3	+30	2	+40	4	+50
9			3	+35	4	+40	4	+50		
10			3	+45						
Итого	21		24		24		25		22	

В ходе эксперимента были исследованы пять температурных режимов вакуум-сублимационной сушки цельного верблюжьего молока с различной толщиной слоя продукта (от 0,9 до 1,5 см). В таблице представлены этапы температурного воздействия — от глубокой заморозки (-55°C) до завершающей стадии сушки при положительных температурах ($+50^{\circ}\text{C}$). Например, в I варианте первый этап перехода температурного режима от -45°C до -35°C составлял 6 часов. Каждый режим включал пошаговое изменение температуры — от замораживания при $-50...-55^{\circ}\text{C}$ до финального прогрева при $+30...+50^{\circ}\text{C}$. Длительность процессов варьировалась от 21 до 25 часов.

Сублимационная сушка обеспечивает



сохранение уникальных терапевтических свойств верблюжьего молока.

Существует два ключевых аспекта, по которым осуществляется сушка пищевых продуктов:

- первостепенная задача заключается в предотвращении (или замедлении) размножения и активности микроорганизмов, что помогает сохранить продукт;

- второстепенная причина состоит в уменьшении массы и объема пищевых товаров, что делает их более экономичными для транспортировки и хранения.

Полученный высушенный продукт показан на рисунке 3.



Рис. 3 – Сухое верблюжье молоко сразу после сублимационной сушки

Время сублимации имеет важное значение для достижения оптимальной влажности конечного продукта. Более продолжительное время сушки может привести к излишней деградации белков, особенно казеина, что ухудшает питательные и функциональные свойства молока.

По результатам таблиц 5 и 6 оптимальными режимами признаны режимы IV варианта (толщина слоя 0,9 см), который обеспечил оптимальное сочетание качества готового продукта и продолжительности сушки (22 ч). Этот режим включал глубокую заморозку (-50°C), плавный прогрев с 8-этапами перехода температурного режима и завершающую сушку при $+30...+50^{\circ}\text{C}$. Результаты подтверждают, что соблюдение тонкого слоя и постепенное температурное повышение способствуют получению продукта с сохранёнными питательными свойствами и минимальными потерями влаги в соответствии с требованиями СТ РК 3386-2019. Слой 0,9 см привело к приемлемой влажности в 4-5% так как в остальных вариантах наблюдалось отклонение от требований стандарта (не более 5,0).

В ходе проведения исследований были определены органолептические показатели верблюжьего молока до и после вакуум-сублимационной сушки (табл. 2). Органолептические показатели исследуемого молока отвечает требованиям стандартов СТ РК 166-2015 Молоко верблюжье для переработки. Исследуемое молоко по консистенции однородная, без осадка и хлопьев, без привкусов и запахов, белого цвета.

В результате сравнительного анализа по органолептическим показателям сухого верблюжьего молока было установлено, что высушенное молоко соответствует требованиям стандартов СТ РК 3386-2019. Молоко сухое верблюжье.

Молоко обладает стабильной структурой, характерным цветом, запахом и вкусом, что соответствует установленным стандартам качества. Показатели органолептики, такие как отсутствие посторонних запахов и привкусов, а также соответствующая консистенция, подтверждают, что продукт отвечает предъявляемым требованиям безопасности и потребительских характеристик.

Таблица 2 - Органолептические показатели сухого верблюжьего молока

Наименование параметров	Верблюжье молоко сухое	СТ РК 3386-2019
Внешний вид	Однородный пористый порошок	Однородный порошок
Вкус и запах	Чистый, свойственный свежему нативному молоку	Чистый, свойственный свежему пастеризованному молоку
Консистенция	Мелкий сухой порошок	Мелкий сухой порошок
Цвет	Белый, ближе к молочному	Белый, ближе к молочному-белому

Соматические клетки – показатель соблюдения санитарно-гигиенических стандартов качества. Количество соматических клеток в молоке определено при помощи вискозиметрического

анализатора молока «Соматос-Мини». Результаты подсчета через 58 секунд высветились на индикаторе: время истечения смеси и количество соматических клеток в молоке (табл. 3).

Таблица 3 - Результаты определения количества соматических клеток в молоке

№	Наименование показателя	Верблюжье молоко
1	Условная вязкость ($C = 8,3 \pm 5$)	8,6
2	Количество соматических клеток в 1 см ³ молока (N= от 90 до 1500)	268

Результаты исследования показывают, что исследуемое свежее молоко микробиологически чистая, получено от здоровых животных не подверженных инфекционным болезням, соответствует требованиям ТР ТС 033/2013 О безопасности молока и молочной продукции (решение Совета ЕЭК от 09,10,13 №67).

На химический состав влияют сезонность, кормление и генетические особенности. Определение химического состава свежего и сублимированного верблюжьего молока проведено

на анализаторе качества молока «Лактан 1-4М». Важной особенностью данного анализатора является возможность измерения белка, так как традиционный метод определения белка занимает около 6 часов и требует использования дополнительных расходных материалов (табл. 4, 5).

По согласованию с предприятиями молочной промышленности допускается сдача молока без охлаждения в течение одного часа после дойки.

Таблица 4 - Результаты химического анализа свежего цельного верблюжьего молока на приборе «Лактан 1-4М» при температуре образца 23°C

№	Наименование исследуемого образца	Жир, %	СОМО, %	Белок, %	Плотность, %	Вода, %
1	Образец №1	4,56	6,24	2,93	26,7	0
2	Образец №2	4,57	6,22	2,92	26,8	0
3	Образец №3	4,56	6,23	2,95	26,8	0
	Среднее значение	4,56	6,23	2,93	26,8	0

Результаты химического анализа свежего цельного верблюжьего молока, проведенного с использованием прибора «Лактан 1-4М» при температуре образца 23°C, показали, что молоко содержит: жир – 4,56%, СОМО – 6,23%, белок – 2,93%, плотность – 26,8%. Эти показатели соответствуют

требованиям стандарта СТ РК 166-2015, который устанавливает минимальное содержание жира в 3%. Также было замечено, что в зимний период содержание жира в молоке может увеличиваться, а содержание белка снижаться. Содержание белка и СОМО в пределах нормы.

Таблица 5 - Результаты химического анализа восстановленного верблюжьего молока на приборе «Лактан 1-4М» при температуре образца 23°C

№	Наименование образца	Жир, %	СОМО, %	Белок, %	Плотность	Вода, %
1	Образец №1	6,60	7,29	3,34	29,53	13
2	Образец №2	6,84	7,62	3,47	30,64	9
3	Образец №3	6,82	7,61	3,46	30,61	9
	Среднее значение	6,75	7,50	3,42	30,26	10,3

Анализ сухого верблюжьего молока после восстановления в соотношении 1:9, показал следующие результаты: жир – 6,75%, СОМО – 7,50%, белок – 3,42%, плотность – 30,26%, вода – 10,3%. Эти показатели соответствуют нормам и подтверждают высокое качество сублимированного верблюжьего молока после восстановления.

Все образцы свежего цельного верблюжьего и сухого молока соответствовали требованиям соответствующих стандартов.

В таблице 6 представлены показатели влажности свежего цельного и сублимированного верблюжьего молока по вариантам эксперимента, полученные на приборе «Эвлас-2М».

Таблица 6 - Показатели влажности свежего и сухого верблюжьего молока

Наименование продукта	Влажность, %				
	I вариант	II вариант	III вариант	IV вариант	СТ РК 3386-2019
Свежее верблюжье молоко	84,3	85,62	84,16	86,44	87±0,8
Сухое верблюжье молоко	3,69	5,14	3,33	4,11	не более 5,0

Показатели влажности свежего верблюжьего молока в различных вариантах варьировались от 84,16% до 86,44%, что соответствует стандарту СТ РК 3386-2019, где допустимая влажность свежего молока составляет $87 \pm 0,8\%$. Влажность сухого верблюжьего молока в разных вариантах колебалась от 3,33% до 5,14%, что соответствует допустимому стандарту, который ограничивает влажность не более 5%. Срок хранения свежего верблюжьего молока составляет от 48 до 96 часов, в зависимости от условий хранения, в то время как сублимированное молоко может храниться от 18 месяцев до 10 лет, что подтверждает его долговечность и устойчивость при надлежащих условиях транспортировки и хранения.

В ходе исследования определены оптимальные режимы вакуум-сублимационной сушки верблюжьего молока с учетом температуры, времени и толщины слоя продукта. Лабораторным путем (таблицы 1, 5 и 6) установлено, что предварительное замораживание оказывает значительное влияние на качество сухого молока: более глубокая и быстрая заморозка способствует лучшему сохранению структуры и органолептических свойств.

Органолептические показатели высушенного молока — вкус, запах, цвет, консистенция — соответствуют стандартам, продукт стабилен, без посторонних запахов и осадка. Молоко микробиологически чистое, с допустимым уровнем соматических клеток (268 тыс./см^3), что подтверждает соблюдение санитарно-гигиенических норм.

Химический состав сухого и свежего молока был исследован на приборе «Лактан 1-4М». Показатели жира (в среднем 6,75% в сухом молоке), белка (3,42%) и СОМО соответствуют нормативам. Уровень влажности сухого молока в большинстве вариантов не превышает допустимые 5%, за исключением одного варианта с незначительным отклонением (5,14%).

Таким образом, на модернизированной вакуум-сублимационной сушилке Модели ZLGJ-300 сушка состоит из двух основных этапов: заморозка до -50°C , и сушка продукта при включенном вакууме, а также дополнительный этап досушивания до $+50^\circ\text{C}$. Поэтапное повышение температуры минимизирует тепловое воздействие на белки и жиры, что позволяет сохранить биологическую активность и питательную ценность молока.

Выводы. Технология производства сублимированного верблюжьего молока состоит из следующих операций: приемка и подготовка сырья; фильтрация; сублимационная сушка; досушивание;

измельчение; фасовка, упаковка и маркировка готовой продукции.

Исследованы пять вариантов температурных режимов вакуум-сублимационной сушки цельного верблюжьего молока от -50°C до $+50^\circ\text{C}$ с различной толщиной слоя продукта от 0,9 до 1,5 см и продолжительностью сушки от 21 до 25 часов. По результатам исследований оптимальным режимом признан IV вариант со следующими параметрами: толщина слоя 0,9 см с 8-ью этапами перехода температурного режима от -50°C до $+50^\circ\text{C}$ продолжительностью 22 часа.

Органолептические показатели сухого верблюжьего молока соответствуют требованиям стандарта СТ РК 3386-2019 Молоко сухое верблюжье.

Анализ сухого верблюжьего молока после восстановления в соотношении 1:9, показал следующие результаты: жир — 6,75%, СОМО — 7,50%, белок — 3,42%, плотность — 30,26%, вода — 10,3%. Эти показатели соответствуют нормам и подтверждают высокое качество сублимированного верблюжьего молока после восстановления.

Анализ показателей влажности свежего и высушенного верблюжьего молока позволяет оценить эффективность выбранного режима сушки. Результаты подтверждают, что соблюдение тонкого слоя и постепенное температурное повышение способствуют получению продукта с сохранёнными питательными свойствами и минимальными потерями влаги в соответствии с требованиями СТ РК 3386-2019. В оптимальном IV варианте влажность составляла 4,11%, так как в остальных вариантах наблюдалось пересушка или превышение требований стандарта.

В результате, верблюжье молоко, прошедшее процедуру сублимационной сушки, может стать основным сырьем для разработки и производства различных молочных и кисломолочных изделий, включая сухие смеси. Исследования по изучению режимов сушки верблюжьего молока продолжится в рамках научно-исследовательской работы докторанта и будет разработана технология производства сухой смеси на основе сухого верблюжьего молока для производство мороженого.

Источник финансирования. Статья подготовлена в рамках НТП BR21881957-ОТ-23 Разработка технологии глубокой переработки и оборудования вакуум-сублимационной сушки кобыльего и верблюжьего молока, реализуемый в рамках программно-целевого финансирования на 2023–2025 года МНиВО РК. № госрегистрации 0123РК01190.

Литература

1. Habtegebriel H, Wawire M, Sila D. The Effect of Pretreatment (Spray Drying) on the Yield and Selected Nutritional Components of Whole Camel Milk Powder. J Food Sci. 2018 Dec;83(12):2983-2991. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14361>. Epub 2018 Nov 15. PMID: 30440084.
2. Якубова Ф. Т. Изучение химического состава верблюжьего молока и его биологическое значение //

Монография. Ташкент: "metodist nashriyoti". 2023. с. 9-12

3. Херасков С. Н. Состав, свойства и питательная ценность верблюжьего молока // Вопросы питания. 1961. №5. С.69-72.

4. Тимакова Р. Т., Ильюхина Ю. В., Старцев В. Г. Сублимационная сушка кобыльего молозива // Журнал «Молочная промышленность» 2022. №12. стр.51-56 <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-5>

5. Oyinloye TM, Yoon WB. Effect of Freeze-Drying on Quality and Grinding Process of Food Produce: A Review. Processes. 2020; 8(3):354. <https://doi.org/10.3390/pr8030354>

6. Туякова А. Р., Аманжолов С. А., Бектурганова А. А. Перспективы производства сухих молочных продуктов на основе верблюжьего молока полученных разными методами сушки // «Вопросы развития современной науки и техники» III Международная научно-практическая конференция. с. 53-56

7. Антипов А. В., Дугаров Ц. Б. Сублимационная сушка как метод консервирования продуктов // Переработка молока, 2012. № 11. С.11-30

8. Донская Г. А., Захарова Е. В. Использование концентратов сублимационной сушки при производстве функциональных молочных продуктов // Журнал «Молочная промышленность» 2013. №1. Стр.161-164. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-161-164>

9. Использование сухого козьего молока в производстве мороженого / А. В. Ландиховская, З. В. Волокитина, И. С. Краснова и др. // Молочная промышленность. 2023. Т.1. С. 24-25. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-01-24-25>

10. Dikhanbayeva F. T. Biological value of dairy products based on camel milk // Modern Scientific Journal (Belgorod). 2009. № 26(82). Pp. 24-26.

11. Main characteristics of camel milk and vitamin composition of shubat / A. B. Rakhmatulina, A. B. Abuova, F. T. Dikhanbaeva, et al. // BULETIN of the Korkyt Ata Kyzylorda University. №1 (68), 2024. P.167-177.

12. Tastemirova, U., Ciprovica, I., & Shingisov, A. The comparison of the spray-drying and freeze-drying techniques for camel milk // Research for Rural Development, 35, 102-105. <http://dx.doi.org/10.22616/rrd.26.2020.015>.

Сведения об авторах:

Ибраихан Акниет Толеген кызы - магистр технических наук, PhD докторант кафедры технологии и инжиниринга пищевых производств, e-mail: ibraikhan.akniet0195@mail.ru

Абуова Алтынай Бурхатовна – автор-корреспондент, доктор сельскохозяйственных наук, профессор-исследователь кафедры технологии и инжиниринга пищевых производств, e-mail: a_burkhatovna@mail.ru
Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан

Рахматуллина Аяулым Багдатовна – PhD, ассоциированный профессор, руководитель научного проекта института механики и машиноведения им. акад. У.А.Джолдасбекова, e-mail: kazrah@mail.ru

Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

Диханбаева Фатима Тохтаровна – доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, e-mail: fatima6363@mail.ru

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

Есембекова Зинагул Турсункалиевна – магистр сельскохозяйственных наук, ведущий специалист испытательного центра анализа молока и качество кормов, e-mail: zina_jk@mail.ru

Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан

OPTIMAL MODES OF VACUUM-SUBLIMATION DRYING

A. T. Ibraikhan, A. B. Abuova, A. B. Rakhmatullina, F. T. Dikhanbaeva, Z. T. Esembekova

Abstract. The aim of the study is to identify optimal drying modes for camel milk using a built-in vacuum-sublimation drying unit and to analyze the main quality indicators of the final finished product. The objects of the study – fresh whole camel milk and a vacuum-sublimation dryer Model: ZLGJ-300. The sublimation dryer has a preliminary freezing function and removes up to 90% of moisture at temperatures below 0°C, moving from a solid state of ice to a gaseous state. The quality studies of raw and dry camel milk were conducted in accordance with the requirements of GOST 3626-73, ST RK 166-2015, ST RK 3386-2019, TR CU 033/2013. Five drying temperature modes with different thicknesses of the camel milk layer (from 0.9 to 1.5 cm) and step-by-step temperature exposure were studied - from deep freezing (-55°C) to the final stage of drying at positive temperatures (+ 50°C). Mode IV (layer thickness of 0.9 cm) was recognized as the most effective, which provided the optimal combination of the quality of the finished product and the duration of drying (22 hours). The results confirm that maintaining a thin layer and a gradual temperature increase contribute to obtaining a product with preserved nutritional properties in accordance with the requirements of ST RK 3386-2019. In dry milk, the moisture content is from 2.5 to 5%, which makes it impossible for microorganisms to develop. The studied camel milk microbiologically complies with the requirements of TR CU 033/2013, which indicates the health of animals not susceptible to infectious diseases. Chemical analysis of fresh milk showed: fat - 4.56%, SNF - 6.23%, protein - 2.93%, density - 26.8%, which corresponds to the standard. In dry milk obtained according to the optimal mode, after reconstitution, the fat content is 6.75%, SNF - 7.50%, protein - 3.42%, water - 10.3%, which confirms its high quality and compliance with standards.

Key words: vacuum-sublimation drying, milk powder, whole camel milk, humidity, temperature regime.

References

1. Habtegebriel H, Wawire M, Sila D. The effect of pretreatment (spray drying) on the yield and selected nutritional components of whole camel milk powder. J Food Sci. 2018 Dec; 83(12). 2983-2991. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14361>. Epub 2018, Nov.15. PMID: 30440084.

2. Yakubova FT. Izuchenie khimicheskogo sostava verblyuzhego moloka i ego biologicheskoe znachenie. [Study of the chemical composition of camel milk and its biological significance]. Monografiya. Tashkent: "Metodist nashriyoti". 2023; 9-12 p.

3. Kheraskov SN. [Composition, properties and nutritional value of camel milk]. Voprosy pitaniya. 1961; 5. 69-72 p.

4. Timakova RT, Ilyukhina YuV, Startsev VG. [Freeze-drying of mare's colostrum]. Zhurnal "Molochnaya promyshlennost". 2022; 12. 51-56 p. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-5>
5. Oyinloye TM, Yoon WB. Effect of freeze-drying on quality and grinding process of food produce: a review. processes. 2020; 8(3). 354 p. <https://doi.org/10.3390/pr8030354>
6. Tuyakova AR, Amanzholov SA, Bekturganova AA. [Prospects for the production of dry dairy products based on camel milk obtained by different drying methods]. Voprosy razvitiya sovremennoy nauki i tekhniki. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. 53-56 p.
7. Antipov AV, Dugarov TsB. [Freeze-drying as a method of preserving products]. Pererabotka moloka. 2012; 11. 11-30 p.
8. Donskaya GA, Zakharova EV. [Use of freeze-drying concentrates in the production of functional dairy products]. Zhurnal "Molochnaya promyshlennost". 2013; 1. 161-164 p. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-161-164>
9. Landikhovskaya AV, Volokitina ZV, Krasnova IS. [Use of dry goat milk in ice cream production]. Molochnaya promyshlennost. 2023; Vol.1. 24-25 p. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-01-24-25>
10. Dikhanbaeva FT. Biological value of dairy products based on camel milk. Modern Scientific Journal (Belgorod). 2009; 26(82). 24-26 p.
11. Rakhmatulina AB, Abuova AB, Dikhanbaeva FT. Main characteristics of camel milk and vitamin composition of shubat. BULETIN of Korkyt Ata Kyzylorda University. 1 (68). 2024; 167-177 p.
12. Tastemirova U, Ciprovica I, Shingisov A. The comparison of the spray-drying and freeze-drying techniques for camel milk. Research for Rural Development. 35. 102-105 p. <http://dx.doi.org/10.22616/rrd.26.2020.015>

Authors:

Ibraikhan Akniet Tolegen kyzy - Master of Engineering Sciences, Doctoral student of Technology and Engineering of Food Production Department, e-mail: ibraikhan.akniet0195@mail.ru

Abuova Altynay Burkhatovna - corresponding author, Doctor of Agricultural Sciences, research professor of Technology and Engineering of Food Production Department, e-mail: a_burkhatovna@mail.ru

International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan

Rakhmatullina Ayaulym Bagdatovna – Ph.D., Associate Professor, Head of the scientific project of Institute of Mechanics and of Mechanical Engineering named after academician U.A. Dzholdasbekov, e-mail: kazrah@mail.ru
Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after academician U.A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan

Dikhanbaeva Fatima Tokhtarovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of Food Technology Department, e-mail: fatima6363@mail.ru

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

Esembekova Zinagul Tursunkalieva – Master of Agricultural Sciences, leading specialist of Testing Center for milk analysis and feed quality, e-mail: zina_jk@mail.ru

Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Forage Production, Almaty, Kazakhstan.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СЕМЯН НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ, АПРОБАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

М. М. Нафиков, Р. Р. Хузина, М. М. Хисматуллин

Реферат. Целью исследования является разработка источника низкотемпературной плазмы коронного разряда и установить влияние плазмы на ростовые процессы в семенах яровой пшеницы сорта Архат. Исследования проводили в Институте искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии "Казанский (Приволжский) федеральный университет" (КФУ) в 2022–2024 годах в лаборатории кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах. Обработку семян коронным разрядом проводили при следующих параметрах: напряжение 4 и 8 кВ; частота 0,2 кГц; 0,3 кГц; 0,5 кГц; расстояние семян от плазмотрона 3 см; время обработки семян 20, 25, 30, 35 секунд. Семена контрольного варианта без обработки плазмой и варианты с обработкой коронной атмосферной плазмой проращивали рулонным методом в ламинарном шкафу Lamsystem. При напряжении 4 кВ, наибольший прирост длины проростков по отношению к контролю наблюдали при частоте 0,5 кГц и времени 30 секунд. За семь дней, длина проростков обработанных плазмой семян в среднем достигает до 34,4 см, а длина контроля – 11,7 см, что на 22,7 см меньше. Наибольшая длина проростков при напряжении 8 кВ и частоте 0,5 кГц при времени обработки 30 секунд, где длина проростка достигает 36,2 см, что больше на 24,5 см от контроля. На этом варианте получена наибольшая всхожесть – 99,0%, что выше на 4,0% от контроля, а также длина, масса корней и проростков. При дальнейшем увеличении времени обработки эффект в сравнении с контролем нивелируется или становится отрицательным. Обработка семян яровой пшеницы эффективна при сравнительно низких по времени облучения. Увеличение по времени воздействия оказывает отрицательное влияние на семена ультрафиолета, что снижает её эффективность.

Ключевые слова: пшеница яровая (*Triticum aestivum* L.), низкотемпературная плазма, коронный разряд, напряжение, время обработки.

Введение. Высокая полевая всхожесть, энергия прорастания, нормы и способы посева, высокий процент сохранности до уборки – залог формирования высоких стабильных урожаев с хорошим качеством зерна. Следовательно, повышение всхожести и посев высококачественных семян имеют важное практическое значение в сельскохозяйственном производстве [1, 2, 3].

На практике в целях повышения всхожести семян используются несколько методов, в том числе химическая обработка (химикаты, фунгициды и др.) и физическая обработка (ультразвуковая обработка, обработка электрическим полем, магнитная обработка, обработка ионным пучком и др.). Химические методы, как правило, трудоёмкие и дорогостоящие, к тому же химические пестициды, нанесённые в процессе инкрустации на оболочку семян, способствуют загрязнению почв, грунтовых вод, а также они представляют опасность работающему персоналу.

Учеными-исследователями создаются устройства генерирующие плазму и генераторы излучения различного типа. В последние годы большое внимание уделяется физическим методам обеззараживания и защиты семян от вредоносных патогенов, в том числе низкотемпературной (холодной) плазмой. Несмотря на то, что экспериментальные установки могут различаться в зависимости от цели исследования и лабораторного оборудования, существует несколько методов, которые обычно используются в сельскохозяйственных исследованиях для получения низкотемпературной плазмы. В генераторах плазмы

используют барьерный, скользящий дуговой, искровой и коронный электрический разряды.

Большинство исследователей проводят эксперименты с коронным электрическим разрядом, который описывают таким образом: если между гладкими проводниками линии передачи или между концентрическими цилиндрами приложить потенциал и постепенно увеличивать его, то в конце концов будет достигнуто напряжение, при котором будет слышен шипящий шум, а если темно, то можно будет увидеть бледно-фиолетовый свет, окружающий проводники. Это напряжение называется критической точкой визуальной короны. Если в линию вставить ваттметр, то будут замечены потери. Потери очень быстро увеличиваются по мере того, как напряжение поднимается выше этой точки. Свечение или пробой начинаются сначала вблизи поверхности проводника, так как там наибольшая плотность потока или градиент диэлектрика. Поскольку разрушенный воздух вблизи поверхности становится проводящим, размер проводника, по сути, увеличивается за счет проводящей короны. Это увеличивается для данного напряжения до тех пор, пока плотность потока или градиент не станет ниже градиента разрыва, когда он больше не может распространяться. Если проводники расположены очень близко друг к другу, между ними немедленно возникает искра, и корона не может образоваться. Если проводники находятся далеко друг от друга, сначала образуется корона, а затем, если напряжение достаточно увеличено, искра пробивается поперек [4, 5].

Также в качестве физических методов

применяют ультразвуковую и ионно-лучевую обработки, которые повышают всхожесть семян, электромагнитная обработка так же влияет на биохимические процессы, такие как активность белков и ферментов. Однако у этих физических методов наряду с положительными влияниями на семена имеются и отрицательные. Например, сильное ультразвуковое колебание или столкновение с ионным пучком повреждают клетки семян, что приводит к уменьшению их всхожести в полевых условиях при несоблюдении агротехнических мероприятий во время проведения посевных и последующих технологических процессов [6].

Приоритетным направлением является обработка семян низкотемпературной плазмой, как высокопроизводительный, экономичный и экологичный метод, который способствует улучшению прорастания семян и их быстрому росту, что приводит к увеличению урожайности. Ряд исследователей отмечают, что при обработке семян низкотемпературной плазмой не происходило их разрушения, поскольку активные частицы проникали на глубину всего около 10 нм. Кроме того, после обработки семян низкотемпературной плазмой не выделяются загрязняющие окружающую среду вещества, поскольку для этого не применяют химические препараты [7, 8, 9].

Изучение биологического воздействия низкотемпературной плазмы, это новая и многообещающая технология в области сельского хозяйства, которая может улучшить растительный материал путем модуляции экспрессии различных генов, участвующих в прорастании семян, иммунном ответе растений на абиотический стресс. Чаще всего обрабатывают семена, чтобы улучшить их способность к росту и развитию, но можно обрабатывать и все растение в целом, чтобы обеспечить быструю адаптивную реакцию на стрессовые природные факторы [10, 11, 12].

В источниках литературы указывают, что термин «НТП» (низкотемпературная плазма, холодная плазма) обозначает состояние ионизированного газа при температуре окружающей среды с доминирующим коллективным поведением заряженных частиц. Распространенными способами получения НТП считают электрические разряды – коронный, диэлектрический барьерный, радиочастотные, микроволновые и др.

Газоразрядная низкотемпературная плазма содержит различные заряженные (ионы и электроны), нейтральные (молекулы и атомы) частицы и продукты активации плазмохимических реакций, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение. Плазма может окислять различные микроорганизмы и разрушать не только их оболочки, но и ДНК вирусов и бактерий. Коронный разряд (КР) обычно генерирует высокое напряжение на острых электродах, таких как наконечники, острия или тонкие проволоки. Вблизи таких точек формируется электрическое поле, и возникает активная

область коронного разряда и генерации плазмы. Активная область коронного разряда появляется только вблизи точечного электрода, поэтому необходимо рассчитать расстояние от точки генерации плазмы до поверхности обрабатываемых семян. Так как близкое расположение семян к разряду действует губительно для зародыша, а ее удаленность не дает положительного эффекта [13].

Пшеница – одна из важнейших зерновых культур и широко выращивается по всему миру в качестве основного продукта питания, спрос на неё постоянно растёт. Поэтому, повышение всхожести и получение высококачественных семян пшеницы становится актуальной проблемой.

Цель исследования – разработать источник низкотемпературной плазмы и установить влияние коронного разряда плазмы на ростовые процессы в семенах яровой пшеницы.

Условия, материал и методы. Исследования проводили на базе Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии КФУ в 2022–2024 годах. В 2022 году разработали устройство для обеззараживания семян низкотемпературной плазмой и в 2023–2024 годах провели эксперименты на семенах сельскохозяйственных культур.

Объектом исследований были откалиброванные, без макротрещин и не имеющих признаков повреждения зародыша, семена яровой пшеницы сорта Архат первой репродукции. Для проведения опытов в лаборатории кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах Института ИИРСИ КФУ разработали схему и собрали установку генерации коронного разряда низкотемпературной атмосферной плазмы [14]. Семена контрольного варианта (без обработки) и варианты с обработкой коронной атмосферной плазмой проращивали рулонным методом при температуре +20°C в ламинарном шкафу Lamsystem (страна производства Россия). Лабораторную всхожесть семян, длину проростков и корней, массу проростков и корней определяли через семь суток по ГОСТ 12038-84 [15].

Опыты проводили в десятикратной повторности, на одну повторность закладывали по 100 семян. Обработку семян коронным разрядом проводили при следующих параметрах: напряжение 4 и 8 кВ; частота 0,2 кГц; 0,3 кГц; 0,5 кГц; время обработки семян: 20, 25, 30, 35 секунд. Контролем в опытах служил вариант семян пшеницы без обработки плазмой.

Для получения плазмы с помощью коронного разряда необходим источник электрического тока с напряжением 2...10 кВ и электродная система, в которой электроды имеют большую кривизну.

Была выбрана схема низкочастотного блока питания, которая характеризуется простотой и надежностью. Недостаток низкочастотного блока – большие габариты, поскольку необходимо использовать высоковольтные

конденсаторы большой емкости. Тем не менее, была выбрана низкочастотная схема, поскольку для лабораторной установки

большие габариты не имеют большого значения. Блок-схема установки состоит из 5 частей (рис. 1).

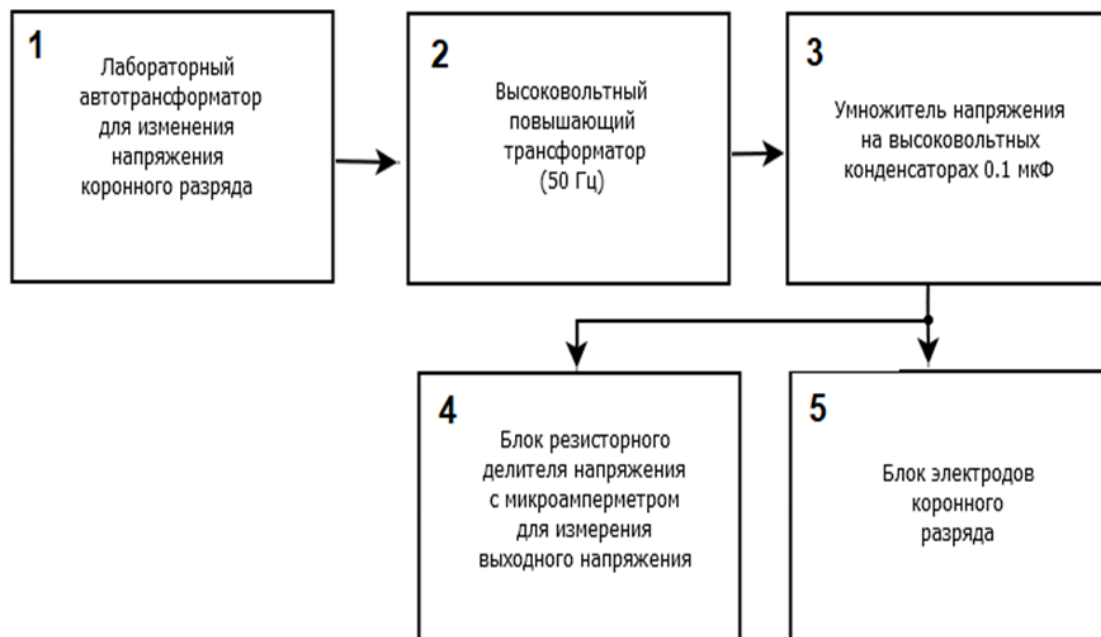


Рис. 1 – Блок схема установки

Напряжение сети поступает на лабораторный автотрансформатор, далее регулируемое напряжение подается на высоковольтный трансформатор, который повышает напряжение в десять раз.

Основной частью блока питания является умножитель, выполненный на конденсаторах C1 – C6 и диодах D1 – D6. Каждый конденсатор заряжается до амплитудного значения входного напряжения, таким образом, выходное напряжение умножается в 6 раз. Вся цепь последовательно соединенных конденсаторов заряжается за шесть периодов, то есть за 120 мс, при выходном напряжении 10 КВ, общий заряд цепи:

$$Q = \frac{CU}{n} = 0.1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10^4}{6} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ К}$$

При разряде конденсаторов величина тока может быть около 1 мА, таким образом на процессы коронного разряда может быть затрачена мощность порядка 10 Вт.

Для измерения выходного напряжения на резисторах R1...R12 и микроамперметре реализован вольтметр для измерения высокого напряжения. Делитель напряжения на резисторах R1...R11 уменьшает выходное напряжение в 100 раз, резистором R12 ток подается на микроамперметр, показания которого пропорциональны высокому напряжению на выходе.

Полная принципиальная схема установки представлена на рис. 2.

Выходное напряжение блока питания создается умножением входного и регулируется входным лабораторным автотрансформатором.

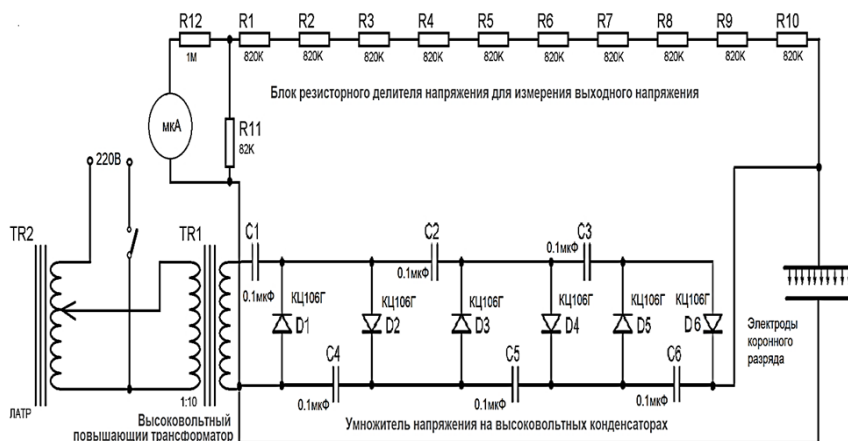


Рис. 2 – Полная принципиальная схема установки

Основным блоком, повышающим напряжение, является умножитель на диодах КЦ106Г и высоковольтных конденсатах емкостью 0,1 мкФ.

Такая большая емкость конденсаторов необходима, поскольку умножитель работает на низкой частоте 50 Гц. Предварительное увеличение напряжения обеспечивает высоковольтный трансформатор (до 2 кВ), расположенный между автотрансформатором и умножителем.

Выходное напряжение с блока питания поступает на блок электродов, большое количество игольчатых элементов верхнего электрода обеспечивает достаточно большой

объемный коронный разряд.

Семена пшеницы имеют продолговатую форму с плотной структурой. Экспериментальную обработку проводили с изменением рабочего напряжения коронного разряда и времени экспозиции семян.

Математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [16].

Результаты и обсуждение. Для выполнения исследований был разработан и изготовлен источник постоянного напряжения с регулируемым выходом 2...10 кВ и блок с игольчатыми электродами для обработки семян коронным разрядом (рис. 3).

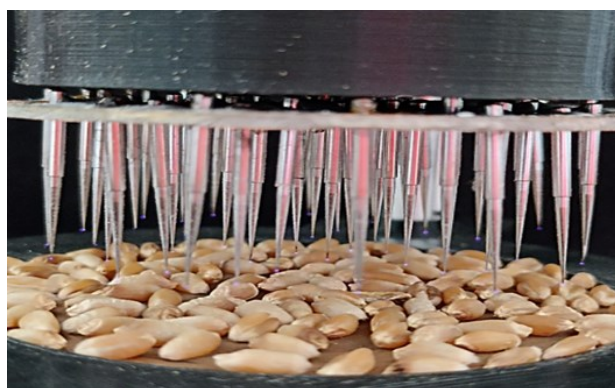


Рис. 3 – Блок электродов коронного разряда. Обработка семян яровой пшеницы

Высокое напряжение выбирали таким образом, чтобы не допустить дугового разряда между иглой верхнего электрода и основания. Коронный разряд зажигался, начиная с 2 кВ. В зависимости от расстояния между электродами дуговой разряд не возникал до 4...8 кВ, поэтому рабочее напряжение на электродах устанавливали в пределах 2...8 кВ.

Основной частью нашей установки был высоковольтный блок питания, позволяющий подавать на электроды коронного разряда (КР) напряжение до 12 кВ.

Установка представляет комплекс пяти узлов:

1. Лабораторный автотрансформатор для изменения напряжения коронного разряда;
2. Высоковольтный повышающий трансформатор (50 Гц);
3. Умножитель напряжения на высоковольтных конденсаторах 0.1 мкФ;
4. Блок резисторного делителя напряжения с микроампером для измерения выходного напряжения;
5. Блок электродов коронного разряда.

В таблице 1 представлена зависимость длины проростков от времени и частоты обработки семян плазмой при напряжении 4 кВ.

Таблица 1 – Влияние низкотемпературной плазмы на семена пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) – напряжение 4 кВ, средние показатели за 2023-2024 годов

№ п/п	Напря- жение, кВ	Частота, кГц	Время обработки, сек.	Длина пророст- ков, см	Длина корней, см	Масса пророст- ков, г	Масса корней, г	Всхожесть, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Контроль (без обработки)			11,7	5,1	0,036	0,031	95,0
1.	4 кВ	0,2 кГц	20 сек.	15,8	5,6	0,047	0,035	95,2
			25 сек.	19,4	7,7	0,052	0,046	95,7
			30 сек.	21,8	9,8	0,054	0,049	96,2
			35 сек.	20,1	8,4	0,048	0,046	95,9
2.		0,3 кГц	20 сек.	22,7	10,4	0,052	0,048	96,0
			25 сек.	24,2	11,1	0,059	0,053	96,5
			30 сек.	27,1	12,3	0,067	0,061	97,0
			35 сек.	26,1	12	0,065	0,059	96,7
3.		0,5 кГц	20 сек.	27,9	11,8	0,069	0,063	96,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4 кВ		25 сек.	29,2	12,3	0,077	0,068	97,3
			30 сек.	34,4	13,3	0,081	0,073	98,5
			35 сек.	30,9	12,7	0,076	0,068	97,3
НСР _{0,5}				8,5	6,7	0,03	0,02	1,4

При оценке зависимости длины проростков от времени и частоты обработки при напряжении 4 кВ, наибольший прирост проростков по отношению к контролю без обработки плазмой (рис. 4) наблюдали при частоте 0,5 кГц и времени обработки 30 секунд. При этом длина проростков за семь суток, обработанных

коронным разрядом семян в среднем достигает до 34,4 см (рис. 5), а длина на контрольном варианте опыта 11,7 см, что на 22,7 см короче. Наибольшая всхожесть семян наблюдается на этом же варианте – 98,5%, что больше на 3,5% от контроля без обработки плазмой.

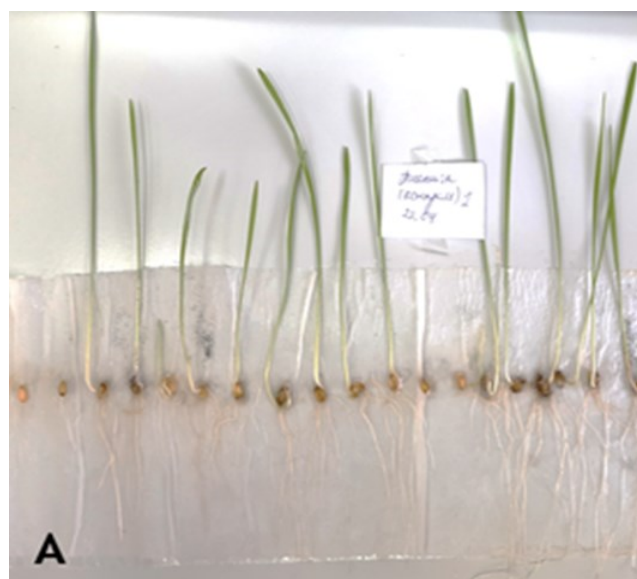


Рис. 4 – Контроль, без обработки плазмой

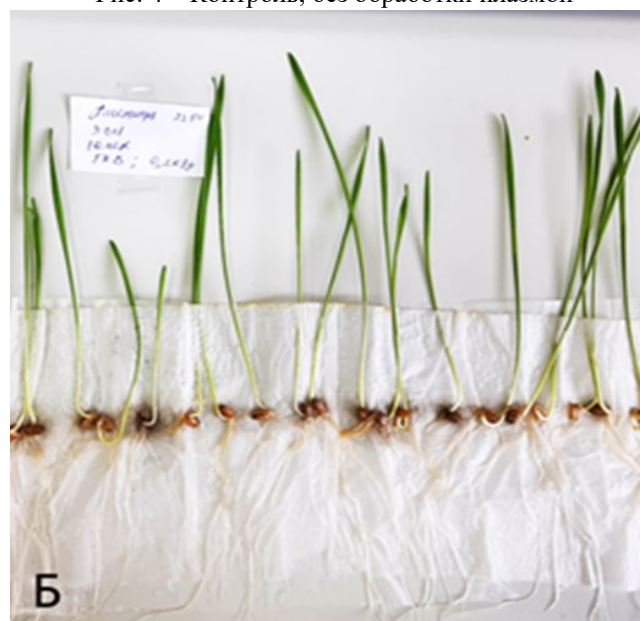


Рис. 5 – Семена пшеницы, обработанные низкотемпературной плазмой, напряжение 4 кВ

По длине корней – 13,3 см, массе проростков – 0,081 г и корней – 0,073 г наибольшие показатели так же на этом варианте опыта.

При дальнейшем увеличении времени обработки семян плазмой эффект в сравнении с контролем нивелируется или становится отрицательным. Обработка семян яровой пшеницы

эффективна при сравнительно низких по времени облучения. Увеличение по времени воздействия оказывает отрицательное влияние на семена ультрафиолета, что

снижает её эффективность.

В представленной таблице 2 и рисунке 6 закономерность наблюдаемых параметров повторяется.

Таблица 2 – Влияние низкотемпературной плазмы на семена пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) – напряжение 8 кВ, средние показатели за 2023-2024 годы

№ п/п	Напряжение, кВ	Частота, кГц	Время обработки, сек.	Длина проростков, см	Длина корней, см	Масса проростков, гр	Масса корней, гр	Всхожесть, %
	Контроль (без обработки)			10,4	4,3	0,031	0,027	95,0
1.	8 кВ	0,2 кГц	20 сек.	17,5	4,2	0,05	0,039	95,3
			25 сек.	20,7	7,3	0,054	0,048	95,9
			30 сек.	22,9	9,2	0,058	0,052	96,4
			35 сек.	21	8,2	0,053	0,047	96,0
2.		0,3 кГц	20 сек.	24,7	11,8	0,058	0,054	96,1
			25 сек.	27,5	13,4	0,068	0,063	96,6
			30 сек.	30,9	14,7	0,072	0,069	98,0
			35 сек.	28,7	13,5	0,069	0,064	96,8
3.		0,5 кГц	20 сек.	32,8	15,3	0,073	0,068	96,0
			25 сек.	33,7	15,7	0,077	0,07	97,4
			30 сек.	36,2	16,6	0,086	0,084	99,0
				35 сек.	34,8	15,9	0,081	0,079
НСР _{0,5}				10,2	6,9	0,02	0,022	1,65

В данном варианте опыта, в котором длина проростков при применении напряжении 8 кВ и частоте 0,5 кГц наибольшая

наблюдается при времени обработки 30 секунд, длина проростка достигает 36,2 см, что больше на 24,5 см от контроля.

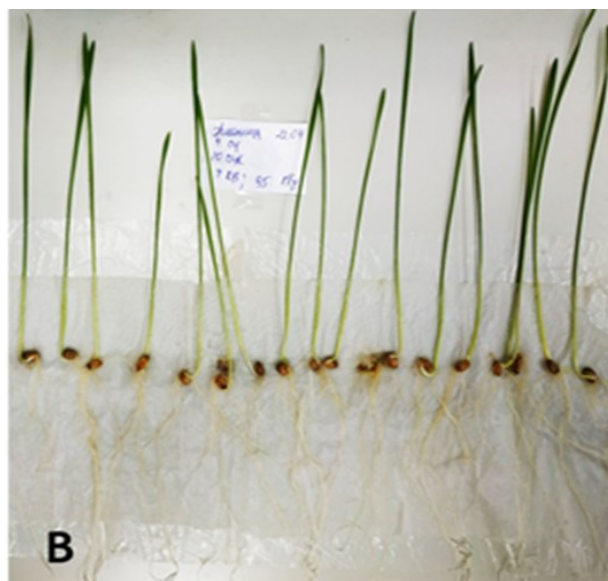


Рис. 6 – Семена пшеницы, обработанные низкотемпературной плазмой, напряжение 8 кВ

По всхожести лучший результат – 99,0% получен также на этом варианте, который превышает контроль без обработки на 4,0%.

Полученные результаты опыта обработаны статистическим методом по Б.А. Доспехову [16].

Выводы. Разработанная установка генерации коронного разряда низкотемпературной атмосферной плазмы позволяет обрабатывать семена при следующих параметрах: напряжение от 4 до 8 кВ; частота 0,2 кГц; 0,3 кГц; 0,5 кГц; время обработки семян: 20, 25, 30, 35 секунд.

Результаты, полученные в проведенном исследовании, показывают, что при обработке семян яровой пшеницы сорта Архат низкотемпературной плазмой коронного разряда с напряжением 8 кВ, частоте 0,5 кГц и времени обработки 30 секунд получены лучшие результаты по всем исследуемым параметрам. Длина проростков на данном варианте опыта достигала 36,2 см, что больше на 24,5 см от контроля. По длине, массе корней и проростков лучшие результаты также получены на этом варианте.

Обработанные низкотемпературной

плазмой коронного разряда семена 30 секунд показали всхожесть – пшеницы с напряжением 8 кВ, часто- 99,0%, что выше на 4,0% контрольного те 0,5 кГц и времени обработки варианта.

Литература

1. Изменение морфогенеза и продуктивности *Lactuca sativa* L. предпосевной обработкой семян плазмой барьерного разряда / Минич А. С., Минич И. Б., Чурсина Н. Л. и др. // Химия высоких энергий. 2021. Т. 55, № 3. С. 241–246.
2. Physicochemical surface analysis and germination at different irrigation conditions of DBD plasma-treated wheat seeds / Molina R., Lalueza A., López-Santos C., Ghobeira R., Cools P., Morent R., De Geyter N., González-Elise A. R. // Plasma Process Polym. 2021. Vol. 18. Article e2000086. https://www.researchgate.net/publication/343936432_Physicochemical_surface_analysis_and_germination_at_different_irrigation_conditions_of_DBD_plasma-treated_wheat_seeds (дата обращения 21.05.2025). doi: 10.1002/ppap.202000086
3. The modulatory effects of non-thermal plasma on seed's morphology, germination and genetics—A review / Leti L. I. et al. // Plants. 2022. Vol. 11, No. 16. P. 2181. https://www.researchgate.net/publication/362869222_The_Modulatory_Effects_of_Non-Thermal_Plasma_on_Seeds'_Morphology_Germination_and_Genetics-A_Review (дата обращения 21.05.2025) doi: 10.3390/plants11162181.
4. Development of Cold Plasma Technologies for Surface Decontamination of Seed Fungal Pathogens: Present Status and Perspectives / J. Mravljje, M. Regvar, K. Vogel-Mikuš // Journal of Fungi. 2021. No. 7(8) Article no. 650. 3. https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972 (дата обращения 21.05.2025).
5. Disinfection from pine seeds contaminated with *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell using non-thermal plasma treatment / B. Šerá, A. Zahoranová, H. Bujdaková, M. Šerý // Romanian Reports in Physics. 2019. No. 71. Article no. 701. https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972 (дата обращения 21.05.2025).
6. Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне / Нафиков М. М., Смирнов С. Г., Краснов А. В. и др. // Аграрная наука. 2024. № 4. С. 70–74. doi: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74.
7. Влияние обработки семян биофизическим методом на всхожесть и фитосанитарное состояние / Нафиков М. М., Хузина Р. Р., Нафиков Ман. Мак. // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (24). С. 14–20. doi: 10.48612/vch/h9a9-rdze-lrev.
8. Оценка глобального потепления на климат Татарстана / Шайтанов О. Л., Низамов Р. М., Захарова Е. И. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 102–112. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112.
9. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / Валиев А. Р., Низамов Р. М., Сафин Р. И. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 1 (65). С. 97–107. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
10. Развитие сельского хозяйства России и направления повышения его конкурентоспособности на международном рынке / Минаков А. В., Сафиуллин И. Н., Михайлова Л. В. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 191–198. doi: 10.12737/2073-0462-2023-191-198.
11. Химический состав кормов в зависимости от способов основной обработки почвы и фонов питания / Медведев В. В., Фомин В. Н., Нафиков М. М. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 1(57). С. 32–37. doi: 10.12737/2073-0462-2020-32–37.
12. Динамика макроэлементов в серой лесной почве под посевами кукурузы на зеленую массу в условиях Предволжья Республики Татарстан при внесении повышенных доз минеральных удобрений / Михайлова М. Ю., Миникаев Р. В. // Плодородие. 2020. № 3(114). С. 12–14. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.03.
13. Various DC-driven point-to-plane discharges as non-thermal plasma sources and their bactericidal effects / Khun J., Scholtz V., Hozak P., et al. // Plasma Sources Science and Technology. 2018. Vol. 27, No. 6. Article 065002. URL: <https://www.researchgate.net/publication/324494585> (дата обращения: 21.05.2025). doi: 10.1088/1361-6595/aacba2.
14. Пат. 2781971 Российская Федерация, МПК A01C 1/02. Устройство для обеззараживания семян холодной атмосферной воздушной плазмой и способ его работы / Н. Ф. Кашапов, М. М. Нафиков, С. Г. Смирнов, Нафиков Ман. Мак.; патентообладатель: ФГАОУ ВО К(П)ФУ. - № 2022105160 : заявл. 26.02.2022 : опубл. 21.10.2022. Бюл. № 25. – 13 с.
15. ГОСТ 12038-84 - 2011. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. 2011-07-05. М.: Изд-во стандартов, 2011. 64 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., стереотип., перепеч. с 5-го изд. М.: Альянс, 2014. 352 с.

Сведения об авторах:

Нафиков Макарым Махасимович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах, e-mail: nafikov_makarim@mail.ru
 Хузина Роза Рифатовна – ассистент кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах, e-mail: khuzinaroza@yandex.ru
 Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
 Хисматуллин Марсель Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры управления, государственной и муниципальной службы, e-mail: marselmansurovic@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

DEVICE FOR DISINFECTING SEEDS WITH LOW-TEMPERATURE PLASMA, TESTING AND WORK RESULTS

M. M. Nafikov, R. R. Khuzina, M. M. Khismatullin

Abstract. The aim of the study is to develop a source of low-temperature corona discharge plasma and to establish the effect of plasma on growth processes in spring wheat seeds of Arkhat variety. The studies were carried out at Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering of Kazan (Volga region) Federal University" (KFU) in 2022-2024 in the laboratory of Biomedical Engineering and Artificial Intelligence in Biotechnical Systems Department. Seed treatment with corona discharge was carried out under the following parameters: voltage of 4 and 8 kV; frequency of

0.2 kHz; 0.3 kHz; 0.5 kHz; the distance of seeds from the plasma torch is 3 cm; seed treatment time 20, 25, 30, 35 seconds. The seeds of the control variant without plasma treatment and variants with atmospheric corona plasma treatment were germinated by the roll method in a Lamsystem laminar cabinet. At a voltage of 4 kV, the greatest increase in the length of sprouts in relation to the control was observed at a frequency of 0.5 kHz and a time of 30 seconds. In seven days, the length of the sprouts of plasma-treated seeds on average reaches 34.4 cm, and the length of the control variant is 11.7 cm, which is 22.7 cm less. The greatest length of sprouts is at a voltage of 8 kV and a frequency of 0.5 kHz with a treatment time of 30 seconds, where the length of the sprout reaches 36.2 cm, which is 24.5 cm more than the control. This variant yielded the highest germination rate – 99.0%, which is 4.0% higher than the control, as well as the length and weight of roots and sprouts. With a further increase in the treatment time, the effect in comparison with the control variant is leveled or becomes negative. Treatment of spring wheat seeds is effective at relatively low irradiation times. An increase in the exposure time has a negative effect on the seeds of ultraviolet radiation, which reduces its effectiveness.

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum* L.), low-temperature plasma, corona discharge, voltage, treatment time.

References

1. Minich AS, Minich IB, Chursina NL. [Changes in *Lactuca sativa* L. morphogenesis and productivity by pre-sowing treatment of seeds with barrier discharge plasma]. *Khimiya vysokikh energiy*. 2021; Vol.55. 3. 241-246 p.
2. Molina R, Lalueza A, Lopez-Santos C, Ghobeira R, Cools P, Morent R, De Geyter N, Gonzalez-Elipse AR. Physico-chemical surface analysis and germination at different irrigation conditions of DBD plasma-treated wheat seeds. [Internet]. *Plasma Process Polym*. 2021; Vol.18. Article e2000086. [cited 2025, May 21]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/343936432_Physicochemical_surface_analysis_and_germination_at_different_irrigation_conditions_of_DBD_plasma-treated_wheat_seeds. doi: 10.1002/ppap.202000086
3. Leti LI. The modulatory effects of non-thermal plasma on seed's morphology, germination and genetics. A review. [Internet]. *Plants*. 2022; Vol.11. 16. 2181 p. [cited 2025, May 21]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/362869222_The_Modulatory_Effects_of_Non-Thermal_Plasma_on_Seeds'_Morphology_Germination_and_Genetics-A_Review. doi: 10.3390/plants11162181
4. Mravlje J, Regvar M, Vogel-Mikus K. Development of cold plasma technologies for surface decontamination of seed fungal pathogens: present status and perspectives. [Internet]. *Journal of Fungi*. 2021; 7(8) Article no.650. 3. [cited 2025, May 21]. Available from: https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972.
5. Sera B, Zahoranova A, Bujdakova H, Sery M. Disinfection from pine seeds contaminated with *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell using non-thermal plasma treatment. [Internet]. *Romanian Reports in Physics*. 2019; No.71. Article no.701. [cited 2025, May 21]. Available from: https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972.
6. Nafikov MM, Smirnov SG, Krasnov AV. [Features of soil cultivation methods application in soybeans cultivation in the forest-steppe zone]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 4. 70-74 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74.
7. Nafikov MM, Khuzina RR, Nafikov Man.Mak. [The effect of seed treatment by biophysical method on germination and phytosanitary condition]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 1(24). 14-20 p. doi: 10.48612/vch/h9a9-rdze-lrev.
8. Shaytanov OL, Nizamov RM, Zakharova EI. [Assessment of global warming on the climate of Tatarstan]. *Zernobobovye i krupyanye kultury*. 2021; 4(40). 102-112 p. doi: 10.24412/2309-348Kh-2021-4-102-112.
9. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for the agro-industrial complex development and tasks of agricultural science and education]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 1(65). 97-107 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
10. Minakov AV, Safiullin IN, Mikhaylova LV. [Development of Russian agriculture and directions for increasing its competitiveness in the international market]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2(70). 191-198 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-191-198.
11. Medvedev VV, Fomin VN, Nafikov MM. [Chemical composition of feed depending on the methods of primary tillage and nutritional backgrounds]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.15. 1(57). 32-37 p. doi: 10.12737/2073-0462-2020-32-37.
12. Mikhaylova MYu, Minikaev RV. [Dynamics of macronutrients in gray forest soil under corn crops for green mass in the conditions of Volga region of the Republic of Tatarstan with the application of increased doses of mineral fertilizers]. *Plodorodie*. 2020; 3(114). 12-14 p. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.03.
13. Khun J, Scholtz V, Hozak P, Various DC-driven point-to-plane discharges as non-thermal plasma sources and their bactericidal effects. [Internet]. *Plasma Sources Science and Technology*. 2018; Vol.27. 6. Article 065002. [cited 2025, May 21]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/324494585>. doi: 10.1088/1361-6595/aacba2.
14. Kashapov NF, Nafikov MM, Smirnov SG, Nafikov Man.Mak. [Device for disinfecting seeds with cold atmospheric air plasma and its method of operation]. Patent № 2781971 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01C 1/02. patentooblada-tel: FGAOU VO K(P)FU. № 2022105160: declared 26.02.2022: published 21.10.2022. bulletin № 25. 13 p.
15. GOST 12038-84-2011. Mezhhgosudarstvennuy standart. Semena sel'skokhozyaystvennykh kultur. Metody oprede-leniya vskhozhesti. [Interstate standard. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination]. 2011-07-05. Moscow: Izd-vo standartov. 2011; 64 p.
16. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. 6th edition, stereotype., reprinted from the 5th edition. Moscow: Alyans. 2014; 352 p.

Authors:

Nafikov Makarim Makhasimovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Biomedical engineering and artificial intelligence in biotechnological systems Department, e-mail: nafikov_makarim@mail.ru
 Khuzina Roza Rifatovna – Assistant of Biomedical engineering and artificial intelligence in biotechnological systems Department, e-mail: khuzinaroza@yandex.ru
 Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
 Khismatullin Marsel Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of Department of public and municipal service management, e-mail: marselmansurovic@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГЕНЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

**Р. И. Сафин, А. Р. Валиев, Э. Г. Нуруллин, Ю. В. Еров,
М. М. Хисматуллин, В. А. Воробьев, Н. Н. Зезин., В. Г. Захаров,
М. Ш. Тагиров, В. И. Блохин**

Реферат. Рассмотрена новая система управления генетическими ресурсами зерновых культур в условиях растущих природно-климатических рисков, внедрённая в регионах Российской Федерации – Республике Татарстан, Свердловской, Ульяновской, Иркутской и Томской областях. Цель созданной системы – повышение эффективности и обеспечение конкурентоспособности производства зерна на внутреннем и внешнем рынках в условиях возросших рисков на основе научно-обоснованного, эффективного использования генетического потенциала отечественных сортов и инновационных разработок в области семеноводства. Техническое обеспечение является важной составляющей, которая в совокупности с другими элементами обеспечивает эффективное функционирование разработанной системы. Разработаны принципы, на основе которых созданы и внедрены новые технические средства для подготовки семян зерновых культур и орошения посевов, обеспечивающие сохранение их генетического потенциала и прибавку урожайности. Представлены конструкции, созданных серийно выпускаемых семясортировальных машин марки СМВО обеспечивающих отбор наиболее полноценных семян высокого качества по удельной плотности с сохранением их генетического потенциала за счёт снижения микротравмирования репродуктивных анатомических частей (зародыша, хохолка, эндосперма). Семена, подготовленные на этих машинах, дают полевую всхожесть на 5...10% больше и увеличение урожайности на 4...8 ц/га по сравнению с аналогами. Кроме того, они имеют меньшую ресурсоёмкость и стоимость по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами. Всего выпущено и внедрено в регионах России 554 единиц трёх модельных рядов семяочистительных машин данной марки. Приведена информация о разработанных опытных образцах машин и оборудования для предпосевной защитной обработки семян зерновых культур, защищённых патентами РФ и обеспечивающих сохранение генетического потенциала семян, высокое качество защиты за счёт увеличения степени удерживаемости препарата на 24,0...28,8% и повышение урожайности на 2,4...3,5 ц/га. Кроме того, они обеспечивают высокую эффективность биопрепаратов, применяемых для обработки семян. Представлены результаты технического обеспечения орошения семенных посевов – разработаны и поставлены на серийное производство семь моделей автоматизированных дождевальных машин кругового действия, опыт эксплуатации которых показал, что они обеспечивают эффективный полив большого спектра сельскохозяйственных культур в разные периоды вегетации и могут обеспечивать увеличение урожайности зерновых культур до 29 ц/га. Более 400 таких машин внедрены в разных регионах Российской Федерации. Определены основные направления перспективных научных исследований и практической работы по развитию разработанной системы, охватывающие большой спектр, в том числе применение цифровых технологий, робототехники и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: зерновые культуры, управление генетическим потенциалом, техническое обеспечение семеноводства, семяочистительные машины, протравливатели семян, дождевальные машины.

Введение. Повышение эффективности и обеспечение конкурентоспособности производства зерна на внутреннем и внешнем рынках в условиях возросших природно-климатических рисков является важнейшей задачей агропромышленного комплекса страны [1].

Одним из основных путей решения данной задачи является: селекция зерновых культур на получение новых генотипов (сортов, гибридов) с высокой экологической пластичностью и адаптивностью; эффективная реализация их генетического потенциала в производственных условиях [2, 3].

В этом направлении в результате многолетней научно-исследовательской работы (1997-2024 годы) на основе системного подхода с применением общенаучных, частных и специально разработанных коллективом авторов специфических методов научных

исследований с учётом наиболее перспективных достижений отечественной и зарубежной науки и практики в области сельского хозяйства разработана система управления генетическими ресурсами основных злаковых зерновых культур (рис.1) [4, 5].

Условия, материалы и методы. В исследованиях и практической реализации результатов под руководством авторов данной работы принимали участие учёные и практики ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Красноуфимского селекционного центра, Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН, Татарского НИИСХ - обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, Ассоциации по производству семян зерновых культур «Элитные семена Татарстана», ФГБУ «Управление «ПРИВОЛЖСКОМЛИОВОДХОЗ», ООО «Агротехнологии».

Результаты и обсуждение. Теоретические и экспериментальные исследования, другие научно-технические разработки и практические результаты опубликованы в 785 научных

работах. Совместно всеми авторами изданы две итоговые монографии общим объемом 39,75 п. л. По теме работы получено 74 патента и авторских свидетельств.



Рис.1 – Схема системы управления генетическими ресурсами зерновых культур

Результаты исследований с положительным эффектом внедрены в Республике Татарстан, Свердловской, Ульяновской, Иркутской и Томской областях Российской Федерации.

Разработанная система включает четыре основополагающие подсистемы, каждая из которых содержит отдельные элементы, которые в совокупности обеспечивают её эффективное функционирование. Важнейшей составляющей разработанной системы выступает техническое обеспечение семеноводства и орошения посевов.

По результатам многолетних теоретических и экспериментальных исследований обоснованы основные принципы создания этих групп сельскохозяйственных машин, обеспечивающих эффективную реализацию разработанной системы, в том числе в области создания адаптированных сортов зерновых культур [6, 7, 8].

Эти принципы являются основой разработки и создания новых конструкций технических средств для подготовки семян и орошения посевов зерновых культур. Рассмотрим технологические и технические предпосылки разработки этих принципов.

Основными этапами подготовки семян зерновых культур являются: уборка посевов с обмолотом хлебной массы; послеуборочная обработка зерна с выделением семенного материала; окончательная подготовка семян, в том числе, предпосевная обработка защитными средствами от вредных организмов. На каждом этапе применяются различные технологии и техника. По результатам наших многолетних исследований выявлено, что на каждом этапе происходит микротравмирование (незаметные человеческому взгляду трещины) семян, в том числе репродуктивных

анатомических частей (например, у семян пшеницы суммарная степень микротравмирования зародыша, хохолка, эндосперма при попадании в почву составляет 56-61%) [9].

Рассмотрим основные причины снижения генетического потенциала семян зерновых культур на сельскохозяйственных машинах и некоторые технические и технологические пути решения данной проблемы.

При уборке зерновых культур в России в основном применяются однофазная (прямая) и (или) двухфазная (раздельная) комбайновые технологии. Современные комбайны представляют собой сложную технику с различными вращающимися и колеблющимися механическими рабочими органами (молотильный барабан с декой, шнеки, скребковые элеваторы, соломотделитель и др.), оказывающими сильное травмирующее воздействие на зерно. В зерноуборочных комбайнах происходит наибольшее микротравмирование семенного материала. Разработка и внедрение принципиально новых технических решений, обеспечивающих снижение механического повреждения семян в зерноуборочных комбайнах в настоящее время затруднительно по ряду объективных факторов, среди которых основным является биология зерновых культур, в частности, трудность извлечения зерна из цветоложа. В настоящее время адаптация зерноуборочных комбайнов для сохранения репродуктивного потенциала семян зерновых культур за счёт снижения степени травмированности осуществляется в основном путём совершенствования некоторых конструктивных элементов (например, домолачивающее устройство) технологических приёмов и регулировок, обеспечивающих мягкий режим обмолота (например, «двойной» обмолот, снижение

оборотов молотильного барабана, увеличение зазоров между бичами молотильного барабана и декой и др.).

Этап послеуборочной обработки зерна с выделением семенного материала включает предварительную и (или) первичную очистку, сушку (при необходимости), вторичную очистку с выделением семенного материала. В современных условиях в основном применяются технологии послеуборочной обработки на стационарных зерноочистительных комплексах с зерносушилкой или без зерносушилки, состоящих из зерноочистительных машин различной конструкции и вспомогательного оборудования. Также могут быть созданы мобильные технологические линии, которые komponуются из отдельных мобильных зерноочистительных машин. Зерноочистительные машины и вспомогательное оборудование также травмируют семена, снижая их репродуктивную способность. Здесь задача снижения степени травмированности решается путём создания зерноочистительных машин и оборудования, принцип действия которых основан, наряду с решётными и другими рабочими органами, на преимущественном применении воздушного потока при выполнении рабочих процессов, также материалов, снижающих травмирующее действие рабочих поверхностей. Данный принцип эффективно используется в стационарных технологических линиях при их компоновке, путём использования пневмотранспортирующих и гравитационных устройств для перемещения обрабатываемого зерна между зерноочистительными машинами [10].

В области окончательной подготовки семян и их предпосевной обработки многолетние исследования показали наибольшую эффективность применения пневматических и пневмомеханических рабочих органов, принцип действия которых основан только на применении воздушного потока. В технических средствах с такими рабочими органами, разработанных авторами работы, отсутствуют движущиеся механические части, оказывающие травмирующее воздействие на семена. Неподвижные механические части в таких машинах в основном предназначены для управления потоком воздуха, и они выполнены из материалов или приспособлений, обеспечивающих смягчение ударных воздействий в случае взаимодействия семян с ними, что практически исключает их травмирование. При этом воздушный поток может быть всасывающего или нагнетательного типа, также разного направления (вертикальный, горизонтальный, наклонный).

Важным преимуществом применения воздушного потока при окончательной подготовке семян является возможность отбора зёрен с наибольшим удельным весом (удельной плотностью), которые имеют наибольший репродуктивный потенциал.

Исследования авторов работы в области

разработки и создания машин для предпосевной обработки семян (протравливателей семян) также показали эффективность применения пневматических и пневмомеханических рабочих органов, обеспечивающих снижение степени травмированности готовых семян. Новое поколение протравочных машин и устройств к ним пневматического и пневмомеханического типов, защищённых патентами Российской Федерации, позволяют обеспечить качество обработки, за счёт очищения протравливаемых семян от пыли непосредственно перед мелкодисперсным (также обеспечивается потоком воздуха) нанесением рабочей жидкости и без соприкосновения с пыльной средой от забора из бурта до загрузки в мешки [11].

На основании вышеизложенных суждений систематизированы основные принципы создания новых технических средств для адаптивного семеноводства.

1. Сохранение репродуктивного потенциала семян зерновых культур на всех этапах производства, за счёт снижения степени микротравмирования их анатомических частей, путём применения пневматических и (или) пневмомеханических рабочих органов и устройств, механические части которых неподвижны и изготовлены из материалов, обеспечивающих мягкое воздействие на зерно.

2. Отбор наиболее полноценных зёрен с высоким репродуктивным потенциалом из семенного материала путём сортирования их по удельной плотности в воздушном потоке.

3. Обеспечение высокого качества подготовки семян по чистоте и содержанию сорных примесей в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов.

4. Обеспечение высоких показателей качества предпосевной обработки (полнота протравливания, степень удерживаемости и равномерность распределения препарата, степень покрытия) семян защитными средствами путём мелкодисперсного (20...25 мкм) нанесения препарата с наименьшим расходом на предварительно очищенные в воздушном потоке от пыли семена и соприкосновения с пыльной средой.

5. Обеспечение высокой производительности и качества при малой энергоёмкости. Безопасность, надёжность, эргономичность.

Наряду с принципами, обеспечивающими высокое качество работы, при создании новых технических средств для подготовки семян важными характеристиками являются высокая производительность, низкая энергоёмкость. Оптимальное соотношение этих характеристик и качественных показателей работы обеспечивает улучшение технико-экономических показателей процесса подготовки семян. Кроме того, важное значение имеют безопасность, надёжность и эргономичность технических средств, применяемых на всех этапах производства семян.

На основе разработанных принципов

созданы универсальные зерноочистительно-семясортительные машины нового поколения пневмомеханического типа под брендом СМВО, позволяющие выделить наиболее полноценные семена и снижение травмирования семян, что обеспечивает сохранение генетического потенциала, соответственно

увеличение урожайности и качества зерна. С 2004 по 2008 годы в Республике Татарстан освоено серийное производство трёх модельных рядов машин данного типа – стационарных, передвижных и малогабаритных (для семеноводческих хозяйств) (рис. 2).



СМВО-10К «Идеал»



СМВО-10Б «Идеал»



СМВО-30Б «Батыр»



СМВО-10П «Идеал»



СМВО-5П «Идеал»



СМВО-1 «Идеал»

Рис. 2 – Фотографии серийно выпускаемых семяочистительных машин марки СМВО

С начала освоения производства выпущено и реализовано в разных регионах России всего 554 единиц машин, которые обеспечили реализацию ресурсосберегающих и экологически чистых технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян.

Применение стационарных машин СМВО-10К «Идеал», СМВО-10Б «Идеал» и СМВО-30Б «Батыр» в составе зерносемяочистительных линий повышает полевую всхожесть семян на 5...10%, что в конечном

итоге увеличивает урожайность на 4...8 ц/га.

Машины типа СМВО имеют меньшую энергоёмкость по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами при одинаковой производительности и делят зерно на четыре фракции (у аналогов только три) (табл.). При этом они выделяют семена без травмирования и по удельной плотности, что обеспечивает отбор наиболее полноценных семян с сохранением их генетического потенциала.

Таблица – Результаты сравнительных исследований технических и технологических характеристик СМВО-10Б «Идеал»

Параметры	СМВО-10Б «Идеал» (Россия)	МВО-20 (Россия)	ПСМ-10М (Россия)	К-547А10 «Петкус» (Германия)
Средняя производительность на вторичной очистке зерна пшеницы при испытаниях, т/ч	10	10	10	10
Энергоёмкость*, кВт*ч/т	1,6	2,1	1,8	1,3
Металлоёмкость**, кг/т	73,0	236,0	74,0	230,0
Выполняемые операции за один пропуск зерна	Вторичная очистка плотности семян	Вторичная очистка по размерам семян	Вторичная очистка по плотности семян	Вторичная очистка по размерам семян
Количество фракций	4	3	3	3
Выделение трудноотделимых примесей, в т. ч. склеротии спорыньи по требованиям ГОСТ Р 52325-2005	Соответствует требованиям ГОСТ Р 52325-2005	Не всегда соответствует требованиям ГОСТ Р 52325-2005	Не всегда соответствует Требованиям ГОСТ Р 52325-2005	Не всегда соответствует требованиям ГОСТ Р 52325-2005

* Энергоёмкость всех машин определялась по установленным мощностям при одинаковой максимальной производительности (в данных испытаниях в среднем 10 т/ч), обеспечивающей агротехнические требования по вторичной очистке зерна. Такой подход связан с тем, что в технических характеристиках зерноочистительных машин приводится максимальная производительность, которая в большинстве случаев не обеспечивает агротехнические требования к выполняемому процессу из-за повышенной засорённости обрабатываемого зерна.

** Металлоёмкость определялась также при данной производительности.

Кроме семяочистительных машин, на основе изложенных выше принципов создания машин для подготовки семян зерновых культур разработаны и внедрены опытные образцы протравочных машин нового поколения пневматического и пневмомеханического типа, пневмозагрузочно-пылеочистительного устройства для существующих протравливателей семян, не имеющих аналогов в мире и защищённые патентами Российской Федерации. Опытные производственные испытания новых технических средств для предпосевной обработки семян зерновых культур показали, что они травмируют семена в 12,0...13,5 раза меньше, сохраняя генетический потенциал семян, и повышают степень удерживаемости препарата на 24,0...28,8%, чем на серийных протравливателях, что повышает урожайность на 2,4...3,5 ц/га. Кроме того, они обеспечивают повышение эффективности био-препаратов, сохраняя жизнедеятельность микроорганизмов, уничтожающих вредные организмы [11].

Эффективная реализация генетического потенциала селекционных достижений по части получения высоких урожаев качественного зерна в условиях природно-климатических рисков, основной из которых является недостаток влаги в период вегетации растений [12], невозможна без применения

техники для полива [13, 14, 15]. В процессе многолетней научно-исследовательской и практической работы разработаны и основаны принципы создания технических средств для полива:

1. Обеспечение равномерности распределения воды по поливаемой площади за счёт новой конструкции дождевального аппарата [4].
2. Обеспечение нормы полива с учётом фильтрации жидкости в различных почвенных условиях [5].
3. Мобильность поливальных установок.
4. Модульность конструкций дождевальной машины в целом и её агрегатов по отдельности.
5. Автоматизация выполнения технологического процесса на основе цифровых технологий.

6. Использование системы умного управления на основе цифрового аппаратно-программного комплекса [16, 17].

Перечисленные принципы нашли воплощение в новых конструкциях широкозахватных поливных машин кругового действия «Казанка» [4, 5]. После успешных Государственных испытаний начато серийное производство этих машин на машиностроительном предприятии ООО «Казанский завод оросительной техники» в Республике Татарстан (рис.3).



Рис. 3 – Широкозахватная дождевальная машина кругового действия типа «Казанка»

Выпускаемые машины сертифицированы по требованиям Таможенного союза и Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Машины модельного ряда «Казанка» с трубопроводами диаметром 177,8 мм, 168,0 и 152,0 предназначены для полива дождеванием зерновых, овощных и технических культур, многолетних трав и пастбищ, а также других культур, включая высокостебельные. Машины, автоматизированные на цифровой основе, и осуществляют полив в движении, вокруг неподвижной опоры. Водозабор осуществляется от гидранта закрытой оросительной сети с водоподачей из открытого водоема насосной станцией или скважины.

В период срока реализации работы изготовлено и внедрено в разных регионах Российской Федерации 410 единиц машин. Создано качественное сервисное обслуживание и сопровождающее обучение.

Орошение посевов зерновых культур с применением машин «Казанка» обеспечило в среднем увеличение урожайности на 29 ц/га.

Выводы. Научно обоснована, разработана и практически реализована в регионах Российской Федерации система управления генетическими ресурсами семян зерновых культур, обеспечивающая повышение урожайности и качество зерна.

Одним из важнейших элементов разработанной системы выступают техническое обеспечение семеноводства и орошения посевов, которые в совокупности с другими элементами обеспечивают её эффективное функционирование.

Разработаны основные принципы, на основе которых созданы и внедрены новые технические средства для подготовки семян зерновых культур и орошения посевов, обеспечивающие сохранение генетического потенциала семян зерновых культур и прирост урожайности.

Созданы новые машины для подготовки семян (семясортировальные и протравочные) пневмомеханического типа, обеспечивающие отбор наиболее полноценных семян высокого качества по удельной плотности с сохранением их генетического потенциала за счёт снижения микротравмирования репродуктивных анатомических частей (зародыша, хохолка, эндосперма).

Освоено серийное производство трёх модельных рядов семяочистительных машин марки СМВО. Произведено и реализовано в разных регионах России всего 554 единиц машин. Семена, подготовленные с применением новых семяочистительных машин пневмомеханического типа, повышает полевою всхожесть семян на 5...10%, что даёт прибавку урожая на 4...8 ц/га. Кроме того, они имеют меньшую ресурсоёмкость и стоимость по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами.

Разработаны и внедрены опытные образцы протравливателей семян зерновых культур нового поколения пневматического и пневмомеханического типа, пневмозагрузочно-пылеочистительного устройства для существующих протравливателей семян, не имеющих аналогов в мире, которые защищены патентами (патенты РФ 2380876, 111380, 130777, 2692642, 184960). Производственные испытания и полевые опыты показали снижение степени травмированности в 12,0...13,5 раз при сохранении генетического потенциала семян и повышают степень удерживаемости препарата на 24,0...28,8%, по сравнению с серийными протравочными машинами, что обеспечило повышение урожайности семян пшеницы на 2,4...3,5 ц/га. Кроме того, они обеспечивают высокую эффективность биопрепаратов, применяемых для обработки семян.

Разработаны и поставлены на серийное производство семь моделей

автоматизированных дождевальных машин кругового действия, по своим техническим характеристикам не уступающие отечественным и зарубежным аналогам. Опыт эксплуатации созданных машин показывает, что они обеспечивают эффективный полив большого спектра сельскохозяйственных культур в разные периоды вегетации и могут обеспечивать увеличение урожайности зерновых культур до 29 ц/га. Более 400 машин внедрены в разных регионах Российской Федерации.

В перспективе будет продолжена междисциплинарная научно-исследовательская и практическая работа по развитию разработанной системы в следующих основных направлениях:

- систематический мониторинг и анализ природных рисков, отрицательно влияющих на производство зерна и разработка научно-обоснованных направлений адаптации зерновых культур к ним;
- селекция новых генотипов (сортов, гибридов) зерновых культур с высокой продуктивностью, экологической пластичностью, адаптивностью и устойчивостью к природным рискам;
- исследование свойств семян (семеноведение) зерновых культур как основы адаптивного семеноводства;
- совершенствование технических средств и технологий подготовки семян зерновых культур, обеспечивающих максимальное сохранение генетического потенциала зерновых культур;
- разработка новых биологических препаратов на основе эндофитных бактерий, полученных из семян зерновых культур;

– научное обоснование и внедрение новых ресурсосберегающих агротехнологий производства и интегрированных систем защиты с минимальной пестицидной нагрузкой для семеноводческих посевов зерновых культур;

– совершенствование оросительной техники и разработка на их основе новых агротехнологий семеноводства зерновых культур с орошением;

– развитие разработанной новой модели регионального семеноводства зерновых культур, обеспечивающей эффективное взаимодействие всех звеньев научно-производственной системы на основе ускоренного сортообновления и сортосмены, для полного удовлетворения зернового производства семенами высших категорий, обеспечивающих повышение урожайности и качества продукции;

– разработка мер, направленных на совершенствование системы подготовки высококвалифицированных кадров с высшим образованием для селекции и семеноводства;

– распространение научно-технических и практических результатов работы в других регионах Российской Федерации;

– продолжение исследований по изучению достижений международной науки и практики в данном направлении и кооперация с наиболее передовыми зарубежными научно-исследовательскими центрами и учёными.

Все перспективные научные исследования и практическая работа будут проводиться на основе самых передовых достижений науки и техники во всех смежных областях с применением цифровых технологий, робототехники и искусственного интеллекта.

Литература

1. Полухин А. А., Сидоренко В. С., Панарина В. И. Современная селекция и семеноводство в государственном секторе экономики // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 8. С. 64-69.
2. Грабовец А. И. Проблемы селекции и семеноводства зерновых культур и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 8. С. 10-13.
3. Система увеличения производства высококачественного зерна пшеницы / Е. В. Журавлева, Н. З. Милашенко, С. Н. Сапожников, С. В. Трушкин // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 3. С. 7-10.
4. Сафин Р. И., Валиев А. Р., Нуруллин Э. Г. и др. Научные основы системы управления генетическими ресурсами зерновых культур. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2025. 520 с.
5. Сафин Р. И., Зезин Н. Н., Еров Ю. В. и др. Разработка и внедрение системы управления генетическими ресурсами сельскохозяйственных культур в условиях растущих климатических рисков. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. 104 с.
6. Валиев А. Р., Хисматуллин М. М., Сержанов И. М. и др. Организация семеноводства сельскохозяйственных культур на орошении и техника полива // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 3. С. 7-15.
7. Горянин О. И., Щербинина Е. В., Джангабаев Б. Ж. Оптимизация сортовых технологий яровой твёрдой пшеницы в чернозёмной степи Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 3. С. 10-15.
8. Еремин Д. И., Любимова А. В., Ахтямова А. А. Элементы структуры урожайности как способ выявления засухоустойчивости современных сортов овса // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 7. С. 50-57.
9. Влияние травмирования на посевные качества семян сортов озимой мягкой пшеницы при уборке и послеуборочной доработке / Ю. Г. Скворцова, Н. В. Калинина, Т. И. Фирсова, Г. А. Филенко // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 5. С. 56-62.
10. Бейлис В. М., Московский М. Н., Лавров А. В. Система технологий и машин в современных условиях ФГБНУ ФНАЦ ВИМ // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 70-72.
11. Nurullin E. G., Zainutdinov I. R. Pneumatic loading device for mobile seed dressers of cereal crops // Volga Region Farmland. 2021. No. 3(11). P. 104-110.
12. Дорохов Б. А., Васильева Н. М. Селекция озимой пшеницы и устойчивость к полеганию // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3(55). С. 96-101.
13. Водопотребление и продуктивность яровой пшеницы на разных технологиях возделывания в услови-

ях лесостепи Среднего Поволжья / А. Л. Тойгильдин, И. А. Тойгильдина, Н. А. Богданов, Н. А. Хайртдинова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4(64). С. 13-20.

14. Сабитов М. М. Влияние обработки почвы и удобрений на урожайность яровой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 4(72). С. 38-45.

15. Гулянов Ю. А., Чибилев А. А., Левыкин С. В. Новационные подходы к снижению природозатратности в высокопродуктивных агротехнологиях степной зоны России // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4(68). С. 6-16.

16. Разработка интеллектуальной системы управления поливом для экспериментального семеноводства / С. М. Бакиров, О. В. Михеева, Д. А. Колганов и др. // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 108-111.

17. Land reclamation development under conditions of climate aridity growth: Experience of the Republic of Tatarstan / M. Khismatullin, M. Khismatullin, Ch. Kurakova et al. // BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2024), Kazan, 28–29 ноября 2024 года. Kazan: EDP Sciences, 2025. P. 00058.

Сведения об авторах:

Сафин Радик Ильясович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: radiksaf2@mail.ru

Валиев Айрат Расимович – доктор технических наук, профессор, первый проректор, чл.-корр. АН РТ, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Нуруллин Эльмас Габбасович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: nureg@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Еров Юрий Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, генеральный директор, e-mail: erov1950@mail.ru

Ассоциация по производству семян зерновых культур «Элитные семена Татарстана», Казань, Россия

Хисматуллин Марс Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, директор, e-mail: rezi-almet@yandex.ru

Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Приволжскому федеральному округу, Казань, Россия

Воробьев Владимир Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, e-mail: selektsiya@bk.ru

Зезин Никита Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, e-mail: nikitazezin@yandex.ru

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

Захаров Владимир Григорьевич – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: ulniish@mail.ru

Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Самарского научного центра РАН, Ульяновск, Россия

Тагиров Марсель Шарипзянович – доктор сельскохозяйственных наук, руководитель, e-mail: Marsel.tagirov2019@yandex.ru

Общество с ограниченной ответственностью «Агротехнологии», Казань, Россия

Блохин Василий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: bvikazan@bk.ru

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Казань, Россия

TECHNICAL SUPPORT FOR THE MANAGEMENT SYSTEM OF GENETIC RESOURCES OF CROP PLANTS

R. I. Safin, A. R. Valiev, E. G. Nurullin, Yu. V. Erov, M. M. Khismatullin, V. A. Vorobev, N. N. Zezin,
V. G. Zakharov, M. Sh. Tagirov, V. I. Blokhin

Abstract. The article considers a new system of management of genetic resources of grain crops in the conditions of growing natural and climatic risks, implemented in the regions of the Russian Federation - the Republic of Tatarstan, Sverdlovsk, Ulyanovsk, Irkutsk and Tomsk regions. The purpose of the created system is to increase the efficiency and ensure the competitiveness of grain production in the domestic and foreign markets in the conditions of increased risks based on scientifically substantiated, effective use of the genetic potential of domestic varieties and innovative developments in the field of seed production. Technical support is an important component, which in combination with other elements ensures the effective functioning of the developed system. The principles have been developed, based on which new technical means for the preparation of grain crop seeds and irrigation of crops have been created and implemented, ensuring the preservation of their genetic potential and an increase in yield. The designs of the created serially produced seed sorting machines of SMVO model are presented, ensuring the selection of the most complete high-quality seeds by specific density while preserving their genetic potential due to the reduction of microtrauma of the reproductive anatomical parts (embryo, crest, endosperm). Seeds prepared on these machines provide field germination by 5...10% more and an increase in yield by 4...8 c/ha compared to analogues. Additionally, they have lower resource intensity and cost compared to domestic and foreign analogues. A total of 554 units of three model ranges of seed cleaning machines have been produced and implemented in the regions of Russia. The article provides information about the developed prototypes of machines and equipment for pre-sowing protective treatment of crop seeds, protected by Russian patents and ensuring the preservation of the genetic potential of seeds, high quality of protection due to an increase in the degree of drug retention by 24.0...28.8% and an increase in yield by 2.4...3.5 c/ha. In addition, they ensure high efficiency of biological products used for seed treatment. The results of technical support for seed crops irrigation are presented - seven models of automated circular sprinkler machines have been developed and put into serial production, the operating experience of which has shown that they provide effective irrigation of a wide range of agricultural crops in different periods of vegetation and can increase the yield of grain crops up to 29 c/ha. More than 400 such machines have been implemented in different regions of the Russian Federation. The main directions of promising scientific research and practical work on the development of

the developed system have been defined, covering a wide range, including the use of digital technologies, robotics and artificial intelligence.

Key words: grain crops, genetic potential management, technical support for seed production, seed cleaning machines, seed treaters, sprinkler machines.

References

1. Polukhin AA, Sidorenko VS, Panarina VI. [Modern selection and seed production in the public sector of the economy]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2023; 8. 64-69 p.
2. Grabovets AI. [Problems of selection and seed production of grain crops and prospects for scientific and innovative support of the agro-industrial complex of the regions]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022. T. 36. № 8. S. 10-13.
3. Zhuravleva EV, Milashchenko NZ, Sapozhnikov SN, Trushkin SV. [System for increasing the production of high-quality wheat grain]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020; Vol.34. 3. 7-10 p.
4. Safin RI, Valiev AR, Nurullin EG. *Nauchnye osnovy sistemy upravleniya geneticheskimi resursami zernovykh kultur*. [Scientific foundations of the management system of grain crops genetic resources]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2025; 520 p.
5. Safin RI, Zezin NN, Erova YuV. *Razrabotka i vnedrenie sistemy upravleniya geneticheskimi resursami selskokhozyaystvennykh kultur v usloviyakh rastushchikh klimaticheskikh riskov*. [Development and implementation of a management system for genetic resources of agricultural crops in the context of growing climatic risks]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 104 p.
6. Valiev AR, Khismatullin MM, Serzhanov IM. [Organization of seed production of agricultural crops under irrigation and irrigation technology]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2024; 3. 7-15 p.
7. Goryanin OI, Shcherbinina EV, Dzhangabaev BZh. [Optimization of varietal technologies of spring durum wheat in the chernozem steppe of Volga region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 3. 10-15 p.
8. Eremin DI, Lyubimova AV, Akhtyamova AA. [Elements of yield structure as a way to identify drought resistance of modern oat varieties]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 7. 50-57 p.
9. Skvortsova YuG, Kalinina NV, Firsova TI, Filenko GA. [The influence of injury on the sowing qualities of seeds of winter soft wheat varieties during harvesting and post-harvest processing]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2023; Vol.15. 5. 56-62 p.
10. Beylis VM, Moskovskiy MN, Lavrov AV. [The system of technologies and machines in modern conditions of Federal State Budgetary Scientific Institution FNATs VIM]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2022; 12. 70-72 p.
11. Nurullin EG, Zaynutdinov IR. Pneumatic loading device for mobile seed dressers of cereal crops. *Volga Region Farmland*. 2021; No.3(11). 104-110 p.
12. Dorokhov BA, Vasileva NM. [Breeding of winter wheat and resistance to lodging]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 3(55). 96-101 p.
13. Toygildin AL, Toygildina IA, Bogdanov NA, Khayrtdinova NA. [Water consumption and productivity of spring wheat under different cultivation technologies in the forest-steppe conditions of Middle Volga region]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 4(64). 13-20 p.
14. Sabitov MM. [Effect of soil cultivation and fertilizers on spring wheat yield in the forest-steppe conditions of Middle Volga region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 4(72). 38-45 p.
15. Gulyanov YuA, Chibilev AA, Levykin SV. [Innovative approaches to reducing environmental costs in highly productive agricultural technologies of the steppe zone of Russia]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 4(68). 6-16 p.
16. Bakirov SM, Mikheeva OV, Kolganov DA. [Development of an intelligent irrigation control system for experimental seed production]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2023; 2. 108-111 p.
17. Khismatullin M, Khismatullin M, Kurakova Ch. Land reclamation development under conditions of climate aridity growth: experience of the Republic of Tatarstan. BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2024), Kazan, 28-29 noyabrya 2024 goda. Kazan: EDP Sciences. 2025; 00058 p.

Authors:

Safin Radik Ilyasovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: radiksaf2@mail.ru

Valiev Ayrat Rasimovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector, Corresponding Member of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Nurullin Elmas Gabbasovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: nureg@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Erova Yuriy Vasilevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, General Director, e-mail: erov1950@mail.ru

Association of grain seeds production "Elite seeds of Tatarstan", Kazan, Russia

Khismatullin Mars Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, Director, e-mail: rezi-almat@yandex.ru

Land reclamation and agricultural water supply Department of Volga Federal District, Kazan, Russia

Vorobev Vladimir Aleksandrovich – Ph.D. in Agricultural Sciences, chief researcher, e-mail: selektsiya@bk.ru

Zezin Nikita Nikolaevich – Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: nikitazezin@yandex.ru

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

Zakharov Vladimir Grigorevich – Doctor of Agriculture Sciences, leading researcher, e-mail: ulniish@mail.ru

Ulyanovsk Research Institute of Agriculture - branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia

Tagirov Marsel Sharipzyanovich – Doctor of Agricultural Sciences, director, e-mail: Marsel.tagirov2019@yandex.ru

LLC Agrotechnologies, Kazan, Russia

Blokhin Vasily Ivanovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, leading researcher; e-mail: bvikazan@bk.ru

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, Kazan, Russia.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ НА ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА «БЕЛАРУСЬ»**К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов, А. А. Нурмиев**

Реферат. В исследовании представлен комплексный анализ зависимости оптимальных параметров тракторов серии «Беларусь» от энергоемкости выполняемых сельскохозяйственных операций. Научная новизна работы заключается в применении системного энергетического подхода к оптимизации параметров машинно-тракторных агрегатов через призму совокупных энергетических затрат, включающих не только прямые эксплуатационные расходы, но и энергетическую оценку потенциальных потерь урожая. Исследование базируется на серии вычислительных экспериментов с использованием верифицированной математической модели, учитывающей взаимосвязь между основными параметрами трактора (масса, мощность двигателя), характеристиками агрегата (ширина захвата, рабочая скорость) и энергоемкостью различных технологических операций. Экспериментальная часть охватывает широкий спектр сельскохозяйственных работ: от ранневесенних операций с минимальной энергоемкостью (боронование, закрытие влаги) до энергозатратных операций основной обработки почвы (глубокое рыхление, вспашка). Установлены четкие количественные зависимости между удельным сопротивлением почвы и оптимальными параметрами трактора. В частности, выявлено, что увеличение удельного сопротивления на каждый кН/м требует пропорционального увеличения массы трактора на 5,1 кН и мощности двигателя на 19 л.с. Впервые установлена существенная дифференциация в характере влияния энергоемкости операций на оптимальные параметры тракторов в зависимости от сезона проведения работ. На основе полученных результатов предложена научно обоснованная сегментация тракторного парка на три специализированные группы: легкие тракторы (25-35 кН, 80-150 л.с. - МТЗ серии 800, 900) для ранневесенних работ (боронование, культивация), средние (100-120 кН, 250-350 л.с. - МТЗ серии 3000) для прямых посевных работ и дискования почвы, и тяжелые (130-150 кН, 400-500 л.с. - МТЗ серии 4000) для основной обработки почвы (вспашка, глубокое рыхление почвы). Данная сегментация обеспечивает оптимальное использование энергетического потенциала техники при минимизации суммарных энергозатрат, а значит и потерь урожая в различных производственных условиях.

Ключевые слова: энергоемкость, агрегат, оптимизация, анализ, затраты, сезонная, эффективность.

Введение. Современное развитие агропромышленного комплекса характеризуется возрастающими требованиями к энергетической эффективности сельскохозяйственных операций при одновременном повышении их производительности и качества выполнения [1]. В этом контексте особую актуальность приобретает оптимизация параметров тракторной техники с учетом специфики выполняемых технологических операций и условий их проведения.

Холдинг «МТЗ-ХОЛДИНГ» за свою почти 70-летнюю историю прошел значительный путь развития от производителя универсально-пропашных тракторов одного тягового класса до создания широкой линейки современной техники, охватывающей практически все классы тракторов, востребованные в сельском хозяйстве. Данная трансформация актуализирует необходимость научного обоснования параметров выпускаемой техники с учетом энергоемкости выполняемых операций и специфики их сезонного распределения.

Особенность представленного исследования заключается в применении системного энергетического подхода, позволяющего оценить эффективность использования тракторов не только через призму прямых энергетических затрат, но и с учетом энергетической оценки потенциальных потерь урожая, возникающих при неоптимальном выборе параметров техники.

Исследования [2, 3, 4] показывают, что несоответствие массы и мощности трактора условиям эксплуатации может привести к перерасходу топлива до 25-30% и снижению производительности на 15-20%. Особенно актуальна данная проблема для тракторов серии "Беларусь", которые широко используются в различных технологических операциях с существенно различающейся энергоемкостью.

Энергоемкость технологической операции, представляет собой количество энергии, затрачиваемой на выполнение единицы работы [5]. При этом данный показатель существенно варьируется в зависимости от вида выполняемых работ: от 2,5-3,5 кВт·ч/га при бороновании до 15-20 кВт·ч/га при вспашке тяжелых почв. В наших исследованиях для выражения энергоемкости технологической операции мы будем принимать удельное сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м.

Таким образом целью исследования является выявление характера влияния энергоемкости технологической операции на основные параметры трактора МТЗ.

Условия, материалы и методы. Исследование базируется на системном энергетическом анализе, рассматривающем машинно-тракторный агрегат (МТА) как комплексную систему преобразования энергии в процессе выполнения технологических операций [6, 7, 8]. Ключевой особенностью

предложенного подхода является интеграция энергетических потерь урожая в общую систему оценки эффективности МТА, что позволяет оптимизировать параметры техники с учетом её влияния на конечный результат сельскохозяйственного производства.

Разработанная математическая модель [9, 10, 11] оперирует следующим критерием оптимизации:

$$\Sigma \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{изг.тр}} + \mathcal{E}_{\text{изг.сх}} + \mathcal{E}_{\text{кр.тр}} + \mathcal{E}_{\text{ТОР.тр}} + \mathcal{E}_{\text{ТОР.сх}} + \mathcal{E}_{\text{упр}} + \mathcal{E}_{\text{тсм}} + \mathcal{E}_{\text{агр}} + \mathcal{E}_{\text{упл}} \rightarrow \min$$

где:

$\Sigma \mathcal{E}$ - удельные суммарные энергетические затраты, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{изг.тр}}$, $\mathcal{E}_{\text{изг.сх}}$ - энергия на изготовление трактора и сельхозмашины, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{кр.тр}}$ - энергозатраты на капитальный ремонт трактора, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{ТОР.тр}}$, $\mathcal{E}_{\text{ТОР.сх}}$ - энергозатраты на техническое обслуживание и ремонт, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{упр}}$ - энергозатраты на управление агрегатом, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{тсм}}$ - энергия топливно-смазочных материалов, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{агр}}$ - энергопотери с урожаем из-за нарушения агросроков, МДж/га;

$\mathcal{E}_{\text{упл}}$ - энергопотери с урожаем от уплотнения почвы, МДж/га.

Исследование реализовано через серию вычислительных экспериментов в среде MATLAB, охватывающих основной спектр полевых операций [12, 13, 14]:

Ранневесенние работы: Боронование (закрытие влаги); Предпосевная культивация;

Посевные работы: Посев по подготовленной почве; Прямой посев;

Основная обработка почвы: Дискование; Вспашка; Глубокое рыхление.

Для каждой операции варьировались следующие параметры: Удельное сопротивление почвы (кН/м); Масса трактора; Мощность двигателя; Рабочая скорость; Ширина захвата агрегата.

Базовые условия моделирования включали: Площадь поля: 100 га; Длина гона: 1 км;

Расстояние между полями: 3 км; Время работы в сутки: 16 ч; Планируемая урожайность: 40 ц/га.

Специфические параметры по типам операций систематизированы в матрицу технологических коэффициентов, учитывающую: Сезонные особенности почвенных условий; Характеристики движителей; Агротехнические требования; Временные ограничения.

Обработка результатов включала: Построение функциональных зависимостей параметров трактора от энергоёмкости операций; Анализ сезонной дифференциации энергозатрат; Оценку влияния параметров МТА на потери урожая; Определение оптимальных диапазонов параметров для различных условий.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования выявили существенную дифференциацию энергоёмкости различных технологических операций, что определяет специфические требования к параметрам используемых тракторов. Установлено три четко выраженных кластера операций по уровню энергоёмкости:

- низкоэнергоёмкие операции (ранневесенние работы): Боронование: 1,1-1,5 кН/м; Предпосевная культивация: 2,0-4,0 кН/м;

- среднеэнергоёмкие операции (посевные работы): Посев по подготовленной почве: 1,8-3,0 кН/м; Прямой посев: 5,0-9,0 кН/м;

- высокоэнергоёмкие операции (основная обработка почвы): Дискование: 7,0-11,0 кН/м; Вспашка: 40,0-80,0 кН/м²; Глубокое рыхление: 16,0-21,0 кН/м.

Результаты расчетов приведены в таблицах 1-7.

Первая серия вычислительных экспериментов была направлена на исследование влияния удельного сопротивления почвы при бороновании на оптимальные параметры трактора. Боронование как технологическая операция представляет особый интерес, поскольку характеризуется сравнительно низкой энергоёмкостью, но высокой чувствительностью к срокам проведения работ.

Таблица 1 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам бороновального агрегата на вес трактора и мощность его двигателя

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметра при росте энергоёмкости операции *
	1,1	1,3	1,5	
1	2	3	4	5
Оптимальный вес трактора (Mt), кН	26,29	26,29	26,29	const
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	100,11	86,72	98,26	$N \rightarrow \approx \langle N \rangle *$
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	12,00	12,00	12,00	$V \rightarrow \approx \langle V \rangle$
Оптимизированная ширина захвата (B) агрегата, м	9,14	6,57	6,57	$B \rightarrow \downarrow$

1	2	3	4	5
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	7,05	5,28	5,28	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (G_h), кг/га	3,81	4,62	4,66	$G_h \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_Σ), МДж/га	2433,35	3186,87	3188,80	$E_\Sigma \rightarrow \uparrow$

* Примечание: $\rightarrow \approx$ колеблется около; $\langle N \rangle$ - среднее значение; $\rightarrow \downarrow$ - стремится к понижению; $\rightarrow \uparrow$ - стремится к повышению; $[\delta]$ - допустимое значение

Анализ полученных результатов (табл. 1), выявил ряд принципиально важных закономерностей. Прежде всего, обращает на себя внимание стабильность оптимального веса трактора, который сохраняет значение 26,29 кН во всем исследованном диапазоне удельных сопротивлений почвы (1,1-1,5 кН/м). Эта особенность указывает на существование устойчивой зоны оптимума массы трактора для данного типа технологических операций.

При этом потребная мощность двигателя демонстрирует нелинейный характер изменения, колеблясь в диапазоне 86,72-100,11 л.с. Такое поведение объясняется комплексным влиянием двух противоположно направленных факторов: с одной стороны, рост удельного сопротивления требует увеличения мощности, с другой – адаптивное уменьшение ширины захвата агрегата частично компенсирует это требование.

Особого внимания заслуживает установленная закономерность изменения ширины захвата агрегата. При увеличении удельного

сопротивления почвы происходит ступенчатое снижение оптимальной ширины захвата с 9,14 м до 6,57 м, что сопровождается соответствующим снижением производительности с 7,05 до 5,28 га/ч. Данная адаптация параметров агрегата направлена на поддержание оптимального баланса между энергетическими затратами и производительностью.

Энергетическая эффективность процесса боронования отражается в динамике удельного расхода топлива и суммарных энергозатрат. Установлено, что увеличение удельного сопротивления почвы на 0,4 кН/м приводит к росту расхода топлива на 0,85 кг/га (с 3,81 до 4,66 кг/га) и увеличению суммарных энергозатрат на 755,45 МДж/га (с 2433,35 до 3188,80 МДж/га). Эта закономерность имеет практическое значение для прогнозирования энергетических затрат при работе в различных почвенных условиях.

Характер изменения суммарных энергетических затрат в зависимости от массы трактора (вариант с сопротивлением агрегата 1,1 кН/м) представлен на рисунке 1.

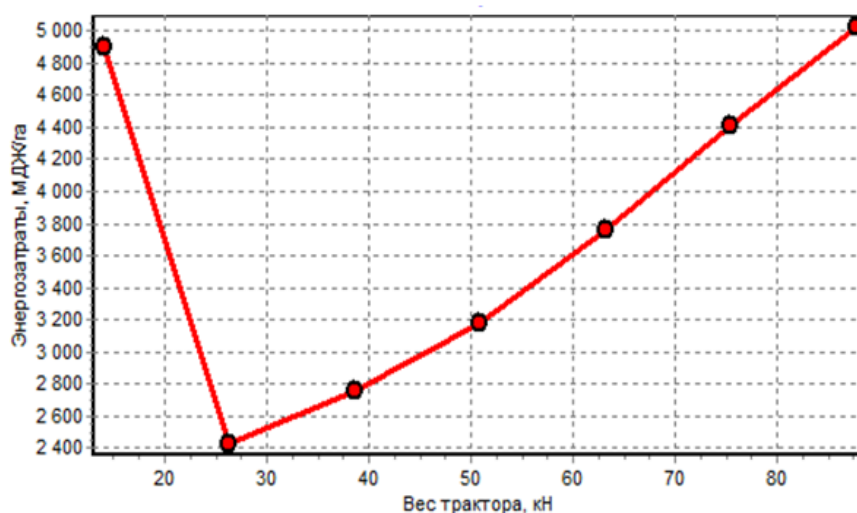


Рис. 1 - Оптимальный вес трактора по суммарным энергозатратам на бороновании-закрытии влаги

Минимальное значение суммарных энергетических затрат 2425,98 МДж/га достигается при массе трактора 2628 кг и мощности его двигателя 100 л.с. Следующим этапом исследования стал анализ влияния удельного сопротивления почвы при культивации

на оптимальные параметры трактора. Культивация представляет собой более энергоемкую операцию по сравнению с боронованием, что существенно влияет на характер оптимизации параметров машинно-тракторного агрегата.

Исследование культивации (табл.2), выявил ряд существенных особенностей в оптимизации параметров машинно-тракторного агрегата. В первую очередь следует отметить, что оптимальный вес трактора, как и при бороновании, сохраняет постоянное значение

в исследованном диапазоне удельных сопротивлений, но на более высоком уровне - 31,43 кН. Это значение на 19,6% превышает оптимальный вес трактора для боронования, что количественно отражает возросшие требования к тяговым характеристикам агрегата.

Таблица 2 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам культиваторного агрегата на параметры трактора

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметра при росте энергоемкости операции
	2	3	4	
Оптимальный вес трактора (M_t), кН	31,43	31,43	31,43	const
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	125,88	123,50	148,69	$N \rightarrow \uparrow$
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	12	12	11,13	$V \rightarrow \approx \langle V \rangle$
Оптимизированная ширина захвата (B) агрегата, м	6,57	4,29	4,29	$B \rightarrow \downarrow$
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	5,08	3,50	3,26	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (G_h), кг/га	5,52	8,24	9,24	$G_h \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_Σ), МДж/га	3494,55	5034,34	5358,45	$E_\Sigma \rightarrow \uparrow$

Принципиальное отличие от боронования проявляется в характере изменения потребной мощности двигателя. При культивации наблюдается устойчивый рост этого показателя с увеличением удельного сопротивления почвы - от 125,88 до 148,69 л.с. Особенно заметное увеличение мощности (на 20,4%) происходит при переходе от среднего (3 кН/м) к высокому (4 кН/м) значению удельного сопротивления. Высокая мощность двигателя определяется необходимостью повышения рабочей скорости агрегата, с целью увеличения производительности агрегата и снижения потерь урожая от нарушения агротехнических сроков выполнения данной операции.

Анализ скоростного режима работы агрегата показывает, что оптимальная скорость сохраняет максимальное значение (12 км/ч) при удельном сопротивлении до 3 кН/м, но снижается до 11,13 км/ч при дальнейшем увеличении сопротивления. Это свидетельствует о достижении энергетических пределов агрегата при росте энергоемкости процесса.

Особого внимания заслуживает динамика производительности агрегата. При увеличении удельного сопротивления почвы с 2 до 4 кН/м

происходит существенное снижение производительности - с 5,08 до 3,26 га/ч (на 35,8%), что обусловлено комбинированным эффектом уменьшения ширины захвата (с 6,57 до 4,29 м) и снижения рабочей скорости агрегата.

Энергетическая эффективность процесса культивации демонстрирует значительно более высокую чувствительность к изменению условий работы по сравнению с боронованием. Увеличение удельного сопротивления почвы на 2 кН/м приводит к росту удельного расхода топлива на 67,4% (с 5,52 до 9,24 кг/га) и увеличению суммарных энергозатрат на 53,3% (с 3494,55 до 5358,45 МДж/га). Эта закономерность имеет принципиальное значение для планирования энергетических затрат и выбора оптимальных сроков проведения культивации.

Особый научный и практический интерес представляет исследование влияния удельного сопротивления почвы на оптимальные параметры посевных агрегатов. Специфика посевных работ заключается в существовании двух принципиально различных технологий – посева по подготовленной почве и прямого посева, что требует дифференцированного подхода к анализу (табл. 3 и 4).

Таблица 3 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам посевного агрегата на параметры трактора

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметра при росте энергоемкости операции
	1,8	2,4	3	
1	2	3	4	5
Оптимальный вес трактора (M_t), кН	74,29	102,86	117,14	$M_t \rightarrow \uparrow$
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	152,47	224,46	205,06	$N \rightarrow \uparrow$

1	2	3	4	5
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	6,31	6,75	5,44	$V \rightarrow \downarrow$
Оптимизированная ширина захвата (B) агрегата, м	18	18	18	const
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	5,50	5,74	4,97	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (Gh), кг/га	4,74	5,18	6,06	$G_h \rightarrow \uparrow$
Энергия, потерянная с урожаем из-за уплотнения почвы (Eur), МДж/га	3045,78	4427,53	5130,11	$E_{ur} \rightarrow \uparrow$
Энергия, потерянная с урожаем из-за нарушения агросроков (Eua), МДж/га	2577,28	2467,92	2828,99	$E_{ua} \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_{Σ}), МДж/га	6123,15	7416,83	8566,61	$E_{\Sigma} \rightarrow \uparrow$

Сравнительный анализ данных по двум технологиям посева (табл. 3 и 4), раскрывает принципиальные различия в характере оптимизации параметров тракторов. При посеве по подготовленной почве наблюдается выраженная зависимость оптимального веса трактора от удельного сопротивления - увеличение с 74,29 до

117,14 кН при росте сопротивления с 1,8 до 3,0 кН/м, что составляет прирост в 57,7%. При прямом посеве, несмотря на значительно более высокие абсолютные значения оптимального веса (114,29-148,57 кН), относительный прирост при увеличении удельного сопротивления с 5 до 9 кН/м составляет только 30%.

Таблица 4 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегата прямого посева на параметры трактора

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметров при росте энергоёмкости операции
	5	7	9	
Оптимальный вес трактора (M_t), кН	114,29	131,42	148,57	$M_t \rightarrow \approx \langle M_t \rangle$
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	237,65	254,84	311,18	$N \rightarrow \uparrow$
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	5,44	5,00	5,44	$V \rightarrow \approx \langle V \rangle$
Оптимизированная ширина захвата (B) агрегата, м	12,57	10,86	9,14	$B \rightarrow \downarrow$
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	4,22	3,46	3,26	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (Gh), кг/га	8,76	11,25	13,76	$G_h \rightarrow \uparrow$
Энергия, потерянная с урожаем из-за уплотнения почвы (Eur), МДж/га	6294,82	8807,26	12407,8	$E_{ur} \rightarrow \uparrow$
Энергия, потерянная с урожаем из-за нарушения агросроков (Eua), МДж/га	3312,15	3992,96	4228,42	$E_{ua} \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_{Σ}), МДж/га	10347,20	13708,00	17664,90	$E_{\Sigma} \rightarrow \uparrow$

Особого внимания заслуживает анализ энергетических потерь урожая. При прямом посеве энергия, потерянная из-за уплотнения почвы, достигает 17664,9 МДж/га, что в 2,4 раза превышает аналогичный показатель при посеве по подготовленной почве (7416,83 МДж/га). Это различие объясняется как более высокой массой трактора, так и повышенной чувствительностью необработанной почвы к уплотняющему воздействию движителей.

Использование более тяжелого трактора на прямом посеве ведет к росту энергии,

потерянной с урожаем из-за уплотнения почвы (Eur) и нарушения агросрока выполнения технологической операции (Eua). Если при удельном сопротивлении почвы на посеве по подготовленной почве 3 кН/м $E_{ur}=5130,11$ МДж/га, то на прямом посеве при удельном сопротивлении почвы 9 кН/м эта составляющая суммарных энергетических возрастает до 12407,8 МДж/га. Энергия, потерянная с урожаем из-за нарушения агросроков (Eua) при этом возрастает с 2828,99 до 4228,42 МДж/га, что вызвано снижением производительности агрегата для прямого посева

по сравнению с посевным агрегатом по обработанной поверхности до 3,26 га/ч вместо 4,97 га/ч.

Заключительный этап исследований был посвящен анализу операций основной обработки почвы, включающих

дискование, вспашку и глубокое рыхление (табл. 5, 6, 7). Эти операции характеризуются максимальной энергоемкостью и предъявляют наиболее высокие требования к тяговым характеристикам тракторов.

Таблица 5 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегата с дисковой бороной на параметры трактора

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметра при росте энергоемкости операции
	7	9	11	
Оптимальный вес трактора (Mt), кН	102,86	102,86	102,86	const
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	423,88	423,88	436,48	$N \rightarrow \approx \langle N \rangle$
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	9,81	9,38	10,25	$V \rightarrow \uparrow$
Оптимизированная ширина захвата (B) агрегата, м	9,14	7,43	5,71	$B \rightarrow \downarrow$
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	5,74	4,61	3,96	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (Gh), кг/га	9,44	12,04	14,56	$G_h \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_{Σ}), МДж/га	2028,49	2507,13	3011,59	$E_{\Sigma} \rightarrow \uparrow$

Сравнительный анализ операций основной обработки почвы выявил существенные различия в характере оптимизации параметров тракторов. При дисковании оптимальный вес трактора остается постоянным (102,86 кН) во всем диапазоне удельных сопротивлений, тогда как при вспашке наблюдается выраженная зависимость – увеличение с 102,86 до 165,71 кН при росте удельного сопротивления с 40 до 80 кН/м². Глубокое рыхление характеризуется стабильным оптимальным весом трактора на уровне 145,71 кН.

Для всех трех операций требуется значительная мощность – от 400 до 500 л.с., однако характер её изменения различен. При дисковании наблюдается незначительный рост мощности (с 423,88 до 436,48 л.с.), при вспашке – нелинейное изменение с максимумом при среднем значении удельного сопротивления (441,93 л.с.), а при глубоком рыхлении – слабое снижение мощности (с 498,44 до 488,28 л.с.) при увеличении удельного

сопротивления.

Производительность агрегатов демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению с ростом удельного сопротивления почвы для всех операций. Однако интенсивность этого снижения различна: при дисковании – с 5,74 до 3,96 га/ч (на 31%), при вспашке – с 2,97 до 1,97 га/ч (на 34%), при глубоком рыхлении – с 2,66 до 2,11 га/ч (на 21%).

Особый интерес представляет характер изменения мощности двигателя. Энергетическая эффективность операций характеризуется существенными различиями в удельном расходе топлива и суммарных энергозатратах. Минимальные значения наблюдаются при дисковании (9,44-14,56 кг/га), максимальные – при глубоком рыхлении (22,04-28,77 кг/га). Вспашка занимает промежуточное положение с диапазоном 15,95-26,67 кг/га, но характеризуется наибольшей чувствительностью к изменению удельного сопротивления почвы.

Таблица 6 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам пахотного агрегата на параметры трактора

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметра при росте энергоемкости операции
	40	60	80	
1	2	3	4	5
Оптимальный вес трактора (Mt), кН	102,86	134,29	165,71	$M_t \rightarrow \uparrow$
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	395,40	441,93	436,67	$N \rightarrow \approx \langle N \rangle$
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	10	8,44	6,25	$V \rightarrow \downarrow$

1	2	3	4	5
Оптимизированная ширина захвата (В) агрегата, м	5,25	4,9	5,25	$B \rightarrow \downarrow$
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	2,97	2,44	1,97	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (Gh), кг/га	15,95	21,42	26,67	$G_h \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_Σ), МДж/га	3204,05	4072,86	5065,18	$E_\Sigma \rightarrow \uparrow$

Таблица 7 - Влияние удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегата для глубокого рыхления почвы на параметры трактора

Параметры	Удельное сопротивление почвы, кН/м			Изменение параметра при росте энергоёмкости операции
	16	19	21	
Оптимальный вес трактора (Mt), кН	145,71	145,71	145,71	const
Потребная мощность двигателя (N), л.с.	498,44	489,15	488,28	$N \rightarrow \approx \langle N \rangle$
Оптимизированная скорость (V) агрегата, км/ч	7,81	8,13	8,13	$V \rightarrow \approx \langle V \rangle$
Оптимизированная ширина захвата (В) агрегата, м	5,57	4,43	4	$B \rightarrow \downarrow$
Оптимизированная производительность (W) агрегата, га/ч	2,66	2,30	2,11	$W \rightarrow \downarrow$
Удельный расход топлива (Gh), кг/га	22,04	26,11	28,77	$G_h \rightarrow \uparrow$
Минимальные удельные суммарные энергозатраты (E_Σ), МДж/га	3711,14	4316,09	5288,68	$E_\Sigma \rightarrow \uparrow$

Комплексный анализ полученных результатов позволяет выявить фундаментальные закономерности влияния энергоёмкости технологических операций на оптимальные параметры тракторной техники. Для наглядного представления этих закономерностей рассмотрим графические зависимости ключевых параметров.

Рисунки 2 и 3 демонстрируют зависимость оптимального веса трактора от удельного сопротивления почвы для различных технологических операций. Анализ этой зависимости позволяет выделить три характерные зоны:

Зона низкой энергоёмкости

(1 - 4 кН/м) - характерна для ранневесенних работ. В этой зоне оптимальный вес трактора относительно стабилен и находится в пределах 25-35 кН. Стабильность оптимального веса объясняется малым уплотняющим воздействием трактора на почву, которое находится в пределах допустимого значения.

Зона средней энергоёмкости (4-12 кН/м) - соответствует посевным работам и дискованию.

Зона высокой энергоёмкости (свыше 12 кН/м) - характерна для глубокой обработки почвы.

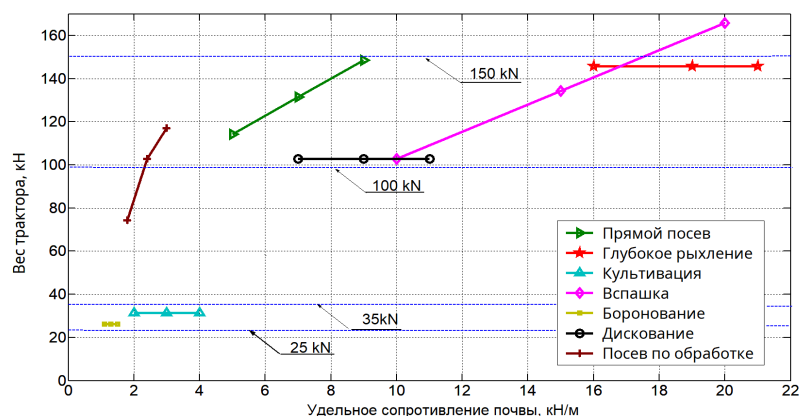


Рис.2 – Влияние энергоёмкости отдельных технологических операций на оптимальный вес трактора

Из рисунков 2 и 3 видно, что вес трактора зависит не только от энергоемкости технологической операции, но и от вида технологической операции и времени проведения технологической операции. В связи с этим возможно разделение тракторов на три класса по весу и мощности двигателя: для проведения ранневесенних технологических операций

(боронование, культивация, прикатывание посевов); для проведения посева по подготовленной почве и прямого посева; для проведения основной обработки почвы в осенний период (глубокое рыхление, вспашка, дискование, культивация, обработка комбинированными орудиями на глубину от 16 до 35 см).

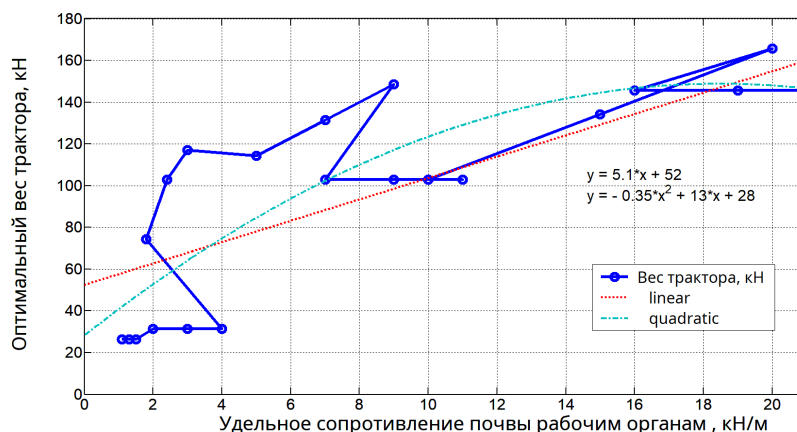


Рис. 3 – Линейная и квадратичная зависимость оптимального веса трактора от энергоемкости обработки почвы

Из рисунка 3 видно, что оптимизированный вес трактора от энергоемкости технологической операции можно примерно рассчитать по линейной зависимости:

$$G_T = 5,1 \cdot K_{уд} + 5$$

где:

G_T – вес трактора, кН;

$K_{уд}$ – удельное сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м (энергоемкость технологической операции).

Из уравнения вытекает, что увеличение сопротивления почвы на 1 кН/м ведет к необходимости повышения оптимизированного веса трактора примерно на 5,1 кН. Использование квадратного уравнения для аппроксимации результатов вычислительных экспериментов позволяет улучшить результаты предсказания веса трактора от энергоемкости

технологического процесса.

Связь между потребляемой мощностью двигателя и удельным сопротивлением почвы иллюстрирует графики на рисунках 4 и 5. Характер этой зависимости существенно различается для разных технологических операций:

- для ранневесенних работ мощность определяется преимущественно необходимостью поддержания высокой рабочей скорости;
- при посевных работах наблюдается близкая к линейной зависимость с коэффициентом около 19 л.с./(кН/м);

Для операций основной обработки почвы зависимость носит более сложный характер, что связано с необходимостью оптимизации скоростного режима из-за необходимости снижения потерь урожая от нарушения агротехнических сроков выполнения технологических операций.

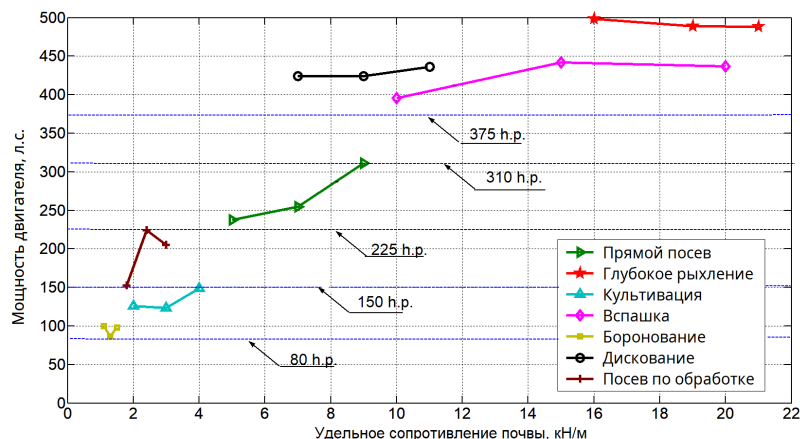


Рис. 4 – Влияние энергоемкости отдельных технологических операций на потребляемую мощность двигателя трактора с учетом его влияния на формируемый урожай зерновых культур

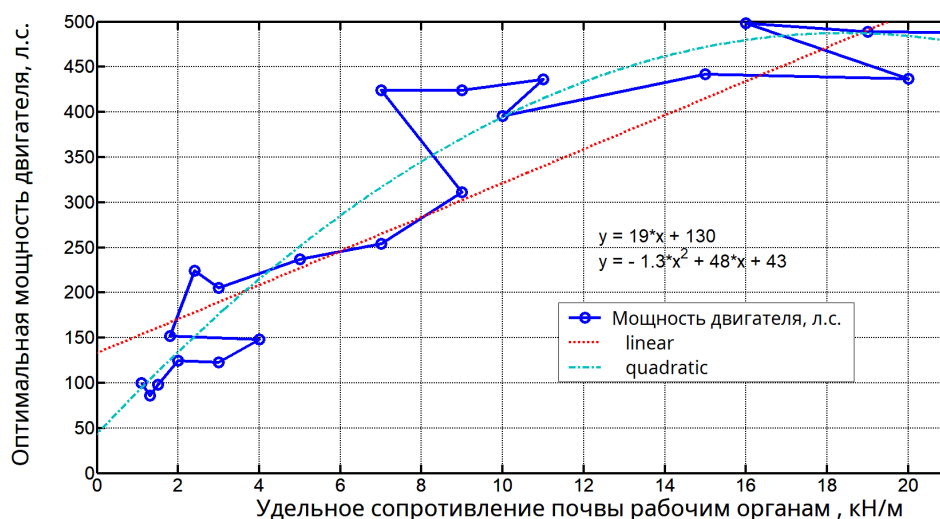


Рис. 5 – Линейная и квадратичная зависимость потребной мощности двигателя трактора от энергоёмкости обработки почвы

Анализ суммарных энергетических затрат (рис. 6) позволил выявить существенную дифференциацию интенсивности роста энергозатрат.

Из рисунка видно, что на ранневесенних работах интенсивность увеличения суммарных энергетических затрат с ростом энергоёмкости технологической операции происходит гораздо интенсивнее (боронование,

предпосевная культивация, посев по подготовленной почве и прямой посев) – до 2000 МДж/га на единицу увеличения удельного сопротивления, чем на осенних технологических операциях по основной обработке почвы (дискование, вспашка, глубокое рыхление почвы) – около 200 МДж/га на единицу увеличения сопротивления.

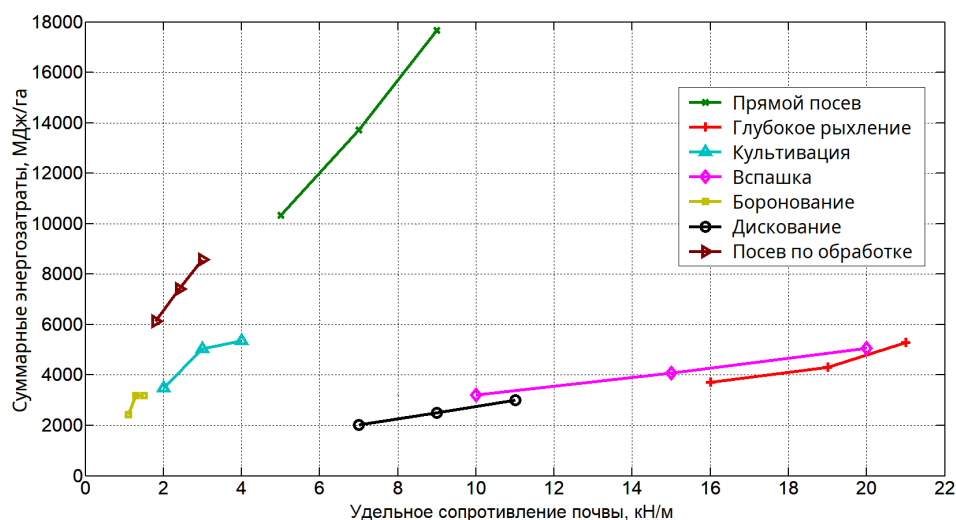


Рис. 6 – Зависимость суммарных энергетических затрат на выполнение отдельных технологических операций от удельного сопротивления почвы

Характер изменения величины суммарных энергетических затрат в зависимости от вида технологической операции, энергоёмкости технологической операции и времени проведения технологической операции подтверждает необходимость разделения тракторов на два или три класса по величине веса (с возможностью догрузки) и необходимости иметь внутри каждого весового класса модификации тракторов с различной мощностью двигателя.

Проведенное исследование раскрывает

фундаментальную взаимосвязь между энергоёмкостью технологических операций и оптимальными параметрами тракторной техники. Особую значимость представляет выявленная сезонная дифференциация требований к параметрам машинно-тракторных агрегатов, что существенно влияет на эффективность использования техники в течение агротехнического цикла.

Анализ результатов вычислительных экспериментов показал, что увеличение

удельного сопротивления почвы на каждый килоньютон на метр требует пропорционального увеличения массы трактора приблизительно на 5,1 кН. Эта закономерность носит устойчивый характер в широком диапазоне условий, однако имеет существенные особенности в зависимости от типа выполняемой операции и сезона работ.

Наиболее значимым открытием стала существенная разница в интенсивности роста суммарных энергетических затрат между весенними и осенними полевыми работами. В весенний период увеличение удельного сопротивления почвы на единицу приводит к росту энергозатрат примерно на 2000 МДж/га, тогда как для осенних работ этот показатель составляет около 200 МДж/га. Данное различие объясняется повышенной чувствительностью формирующегося урожая к качеству выполнения весенних полевых работ и более жестким временным ограничениям на их проведение.

Особого внимания заслуживает выявленная закономерность в требованиях к мощности двигателя. Установлено, что оптимальное соотношение массы трактора и мощности двигателя существенно варьируется в зависимости от характера выполняемой операции. При выполнении ранневесенних работ определяющим фактором становится необходимость повышения рабочей скорости для соблюдения агротехнических сроков, что требует повышенной энерговооруженности трактора. В то же время, при выполнении операций основной обработки почвы ключевое значение приобретает обеспечение необходимого тягового усилия, что смещает акцент в сторону оптимизации массы трактора.

Результаты исследования позволяют обосновать необходимость дифференцированного подхода к формированию тракторного парка сельскохозяйственных предприятий. Оптимальная структура машинно-тракторного парка должна включать три основные категории тракторов, различающихся по массе и мощности. Легкие тракторы массой 25-35 кН с двигателями мощностью 80-150 л.с. обеспечивают максимальную эффективность на ранневесенних работах. Тракторы средней категории массой 100-120 кН и мощностью 250-350 л.с. оптимальны для посевных работ. Тяжелые тракторы массой 130-150 кН с двигателями мощностью 400-500 л.с. необходимы для выполнения энергоемких операций по основной обработке почвы.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности научно обоснованного выбора параметров тракторной техники с учетом специфики почвенно-климатических условий и структуры севооборотов конкретных хозяйств. Предложенный подход к оценке эффективности использования тракторов через призму суммарных энергетических затрат позволяет оптимизировать состав машинно-тракторного парка с учетом сезонной неравномерности использования

техники и различной значимости отдельных технологических операций в формировании конечного урожая.

Выводы. 1. Проведенное исследование существенно расширяет понимание взаимосвязи между энергоемкостью сельскохозяйственных операций и оптимальными параметрами тракторной техники. Применение системного энергетического подхода позволило выявить и количественно описать ряд фундаментальных закономерностей, имеющих важное значение как для теории проектирования сельскохозяйственной техники, так и для практики её эффективного использования.

2. Ключевым научным достижением работы является установление количественной зависимости между энергоемкостью технологических операций и оптимальными параметрами трактора. Впервые доказано, что увеличение удельного сопротивления почвы на единицу требует пропорционального увеличения массы трактора на 5,1 кН и мощности двигателя на 19 л.с. Эта закономерность носит универсальный характер, однако её практическая реализация существенно модифицируется в зависимости от сезона проведения работ и специфики выполняемых операций.

3. Особую научную ценность представляет выявленное различие в характере влияния энергоемкости операций на суммарные энергетические затраты в зависимости от сезона проведения работ. Установленная десятикратная разница в интенсивности роста энергозатрат между весенними и осенними операциями (2000 МДж/га против 200 МДж/га на единицу увеличения удельного сопротивления) имеет принципиальное значение для оптимизации структуры машинно-тракторного парка.

4. Разработанная методология энергетической оценки эффективности использования тракторной техники, учитывающая не только прямые эксплуатационные затраты, но и энергетический эквивалент потенциальных потерь урожая, создает научную основу для дифференцированного подхода к формированию технического парка сельскохозяйственных предприятий. Предложенная сегментация тракторов на три весовые категории (25-35 кН, 100-120 кН и 130-150 кН) с соответствующими диапазонами мощности обеспечивает оптимальное соответствие параметров техники характеру выполняемых операций.

5. Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности научно обоснованного выбора параметров тракторной техники с учетом конкретных производственных условий. Разработанные рекомендации позволяют оптимизировать состав машинно-тракторного парка не только по критерию минимизации прямых энергозатрат, но и с учетом влияния параметров техники на конечную урожайность сельскохозяйственных культур.

6. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением спектра анализируемых технологических операций, уточнением

влияния почвенно-климатических условий на оптимальные параметры техники и разработкой методологии оптимизации машинно-тракторного парка с учетом многолетней динамики севооборотов.

Особый интерес представляет исследование возможностей адаптации параметров тракторной техники к условиям точного земледелия и цифровизации сельскохозяйственного производства.

Литература

1. Концептуальные направления развития беспилотных мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения / И. А. Старостин, А. В. Ещин, Т. З. Годжаев и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 1. С. 23-38. doi: 10.17816/0321-4443-567812.
2. Кадухин А.И. Повышение эффективности эксплуатации машинно-тракторных агрегатов за счет выбора рационального режима движения (на примере пахотных агрегатов): дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Саратов, 2016. - Режим доступа: <https://www.vavilovsar.ru/files/pages/28625/14771159870.pdf>
3. Лахович А. Е., Кецо В.Н. Эффективность комплектования мобильных машинно-тракторных агрегатов на базе тракторов "Беларус" // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2018. № 1(17). С. 213-218.
4. Load characteristics analysis of tractor drivetrain under field plowing operation considering tire-soil interaction / X. Shao, Z. Yang, S. Mowafy, et al. // Soil Tillage Res. 2023, 227, 105620.
5. Сравнительная энерго-экологическая оценка почвообрабатывающих агрегатов / Н. И. Джаббаров, Р. А. Косульников, А. В. Добринов и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 1(73). С. 251-263. doi:10.32786/2071-9485-2024-01-29.
6. Research progress of no/minimum tillage corn seeding technology and machine in northeast black land of China / Q. Wang, X. Cao, C. Wang, et al. // Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 2021, 52, 1–15.
7. Жданович Ч. И., Калинин Н. В. Обоснование параметров физической модели электромеханической трансмиссии трактора // Актуальные вопросы машиноведения. 2023. Т. 12. С. 121-126.
8. Обоснование параметров элементов поддрессирования лесохозяйственного трактора на основе анализа его динамических качеств / С. Ш. Саая, С. Н. Орловский, С. Н. Долматов и др. // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 2(62). С. 34-39. doi: 10.18324/2077-5415-2024-2-34-39.
9. Хафизов К. А., Адигамова Н. Р., Хафизов Р. Н. Оптимизация основных параметров колесного трактора, работающего в составе посевного // Техника и оборудование для села. 2017. № 4. С. 30-33.
10. Хафизов, К. А. Методика расчета МТА по критерию "совокупные энергозатраты" // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 3. С. 46-51.
11. Хафизов, К. А. Оптимизация параметров и режимов работы МТА на основе энергетического анализа // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 7. С. 32-34.
12. Писарева, О. М., Белоусова М. Н., Стефановский Д. В. Современные тенденции цифровой трансформации российских предприятий АПК полного цикла производства // Российский журнал менеджмента. 2024. Т. 22, № 3. С. 541-572. doi: 10.21638/spbu18.2024.308.
13. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations / D. T. Khaliullin, A. V. Belinsky, I. Kh. Gayfullin [et al.] // Vol. 1212, 2023. P. 12055. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055.
14. Energy Justification of the Number of Tractors for Agricultural Operations / K. A. Khafizov, R. N. Khafizov, A. A. Nurmiev, et al. // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. Т. 37. С. 00136. doi: 10.1051/bioconf/20213700136.

Сведения об авторах:

Хафизов Камилль Абдулхакович – доктор технических наук, заведующий кафедрой тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: fts-kgau@mail.ru

Хафизов Рамиль Наилевич – кандидат технических наук, доцент кафедры тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: ramilajz@mail.ru

Нурмиев Азат Ахиярович – старший преподаватель кафедры тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов, e-mail: azat-nurmiev@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE ENERGY INTENSITY OF TECHNOLOGICAL OPERATION ON OPTIMAL VALUES OF BASIC PARAMETERS OF "BELARUS" TRACTOR

K. A. Khafizov, R. N. Khafizov, A. A. Nurmiev

Abstract. The study presents a comprehensive analysis of the dependence of optimal parameters of "Belarus" series tractors on the energy intensity of the agricultural operations performed. The scientific novelty of the work lies in the application of a systemic energy approach to optimizing the parameters of machine and tractor units through the prism of total energy costs, including not only direct operating costs, but also an energy assessment of potential crop losses. The study is based on a series of computational experiments using a verified mathematical model that takes into account the relationship between the main parameters of the tractor (weight, engine power), device characteristics (working width, operating speed) and the energy intensity of various technological operations. The experimental part covers a wide range of agricultural operations: from early spring operations with minimal energy intensity (harrowing, moisture closure) to energy-intensive operations of primary soil cultivation (deep loosening, plowing). Clear quantitative relationships between the specific soil resistance and the optimal tractor parameters have been established. In particular, it has been found that an increase in specific resistance by each kN/m requires a proportional increase in tractor weight by 5.1 kN and engine power by 19 hp. For the first time, a significant differentiation has been established in the nature of the influence of the energy intensity of operations on the optimal tractor parameters depending on the season of work. Based on the obtained results, a scientifically substantiated segmentation of the tractor fleet into three specialized groups is proposed: light tractors (25-35 kN, 80-150 hp - MTZ series 800, 900) for early spring work (harrowing, cultivation), medium (100-120 kN, 250-350 hp - MTZ series 3000) for direct seeding and disking, and heavy (130-150 kN, 400-500 hp - MTZ series 4000) for

primary tillage (plowing, deep loosening of the soil). This segmentation ensures optimal use of the energy potential of the equipment while minimizing total energy costs, and therefore crop losses in various production conditions.

Key words: energy intensity, aggregate, optimization, analysis, costs, seasonal, efficiency.

References

1. Starostin IA, Eshchin AV, Godzhaev TZ. [Conceptual directions of development of unmanned mobile energy vehicles for agricultural purposes]. *Traktory i selkhoz mashiny*. 2024; Vol.91. 1. 23-38 p. doi: 10.17816/0321-4443-567812.
2. Kadukhin AI. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii mashinno-traktornykh agregatov za schet vybora ratsionalnogo rezhima dvizheniya (na primere pakhotnykh agregatov): dis. na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Increasing the efficiency of operation of machine and tractor units by choosing a rational driving mode (using arable units as an example): dissertation for a degree of Ph.D. of Technical sciences]. Saratov. 2016; Available from: <https://www.vavilovsar.ru/files/pages/28625/14771159870.pdf>
3. Lakhovich AE, Ketsko VN. [Efficiency of completing mobile machine-tractor units based on “Belarus” tractors]. *Konstruirovaniye, ispolzovaniye i nadezhnost mashin selskokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2018; 1(17). 213-218 p.
4. Shao Kh, Yang Z, Mowafy S. Load characteristics analysis of tractor drivetrain under field plowing operation considering tire-soil interaction. *Soil Tillage Res*. 2023; 227. 105620.
5. Dzhaborov NI, Kosulnikov RA, Dobrinov AV. [Comparative energy and environmental assessment of tillage units]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2024; 1(73). 251-263 p. doi: 10.32786/2071-9485-2024-01-29.
6. Wang Q, Cao X, Wang C. Research progress of no/minimum tillage corn seeding technology and machine in north-east black land of China. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach*. 2021; 52. 1-15 p.
7. Zhdanovich ChI, Kalinin NV. [Justification of the parameters of the physical model of the electromechanical transmission of tractor]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*. 2023; Vol.12. 121-126 p.
8. Saaya SSh, Orlovskiy SN, Dolmatov SN. [Justification of the parameters of the suspension elements of the forestry tractor based on the analysis of its dynamic qualities]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2024; 2(62). 34-39 p. doi: 10.18324/2077-5415-2024-2-34-39.
9. Khafizov KA, Adigamov NR, Khafizov RN. [Optimization of the main parameters of a wheeled tractor operating as part of a sowing]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2017; 4. 30-33 p.
10. Khafizov KA. [Methodology for calculating the MTA based on the criterion “total energy consumption”]. *Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny*. 2006; 3. 46-51 p.
11. Khafizov KA. [Optimization of parameters and operating modes of MTA based on energy analysis]. *Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny*. 2006; 7. 32-34 p.
12. Pisareva OM, Belousova MN, Stefanovskiy DV. [Modern trends in the digital transformation of Russian agro-industrial complex enterprises with a full production cycle]. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta*. 2024; Vol.22. 3. 541-572 p. doi: 10.21638/spbu18.2024.308.
13. Khaliullin DT, Belinskiy AV, Gayfullin IKh. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations. Vol.1212. 2023; 12055 p. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055.
14. Khafizov KA, Khafizov RN, Nurmiev AA. Energy justification of the number of tractors for agricultural operations. *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences. 2021; Vol.37. 00136 p. doi: 10.1051/bioconf/20213700136

Authors:

Khafizov Kamil Abdulkhakovich – Doctor of Engineering, Head of Department of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes, e-mail: fts-kgau@mail.ru
 Khafizov Ramil Nailovich – Ph.D. in Engineering, Associate Professor of Department of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes, e-mail: ramilajz@mail.ru
 Nurmiev Azat Akhbarovich – Senior Lecturer of Department of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes, e-mail: azat-nurmiev@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛИТИКИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

М. Е. Коновалова, О. Ю. Кузьмина, С. А. Жиронкин

Реферат. Развитие агропромышленного комплекса России является первоочередной задачей с позиции обеспечения продовольственной и экономической безопасности страны. Традиционно производство сельскохозяйственной продукции является дотационным, что накладывает ограничения на масштабы его развития. В этой связи поиск новых источников фондирования сельскохозяйственной отрасли весьма актуален и своевременен. В таких условиях особенно остро встает вопрос оценки отраслевой инвестиционной привлекательности, а также инвестиционной привлекательности отдельно взятых сельскохозяйственных товаропроизводителей. Нарастающая геополитическая напряженность обусловила необходимость скорейшего развития агропромышленного комплекса России, что предопределило разработку государством ряда программных документов о мерах поддержки ключевых отраслей сельского хозяйства. Одной из наиболее важных задач, стоящих перед правительством, является привлечение инвестиционных ресурсов в целях устойчивого развития агробизнеса. Ключевым источником фондирования агрохолдингов является выпуск ценных бумаг – акций и корпоративных облигаций, оценка инвестиционной привлекательности которых может служить отправной точкой для принятия решений в пользу капитальных вложений в перспективного сельскохозяйственного производителя. В настоящее время на Московской бирже обращаются акции трех крупных агрохолдингов: ПАО «Группа Черкизово», ПАО «Инарктика» и ПАО «Группа «Русагро». Финансово-хозяйственный анализ в рассматриваемый период показал, что только первые две сельскохозяйственные организации привлекательны для капиталовложений. Оценка рыночных мультипликаторов и коэффициентов финансовой устойчивости ПАО «Группа Черкизово» и ПАО «Инарктика» продемонстрировала, что их значения выше средних по отрасли. Инвестирование в акции ПАО «Группа «Русагро» можно считать рискованным, что было связано с иностранной юрисдикцией агрохолдинга и необходимостью осуществления процедуры редомициляции.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, политика импортозамещения, инвестиционная привлекательность, инвестиции, финансовая устойчивость, рыночные мультипликаторы.

Введение. В настоящее время ключевые отрасли сельского хозяйства Российской Федерации выступают драйвером развития всей экономики в целом. Положительная динамика сельскохозяйственного производства создаёт условия для развития прочих секторов экономики, таких как обрабатывающая промышленность, ИТ-сфера и других [1].

Вместе с тем, в условиях геополитических рисков и, в целом, геополитического противостояния со странами коллективного Запада, Российская Федерация столкнулась с беспрецедентным санкционным давлением после событий 2014 года, связанными с вхождением Республики Крым в состав Российской Федерации, а также после начала Специальной военной операции в феврале 2022 года. Экономические санкции охватили все стороны хозяйственной деятельности, в том числе и сельское хозяйство [2].

В связи с угрозами, государство приняло решение о старте политики импортозамещения, ориентированной на оптимизацию аллокации собственных сельскохозяйственных производств с учетом особенностей территориального и климатического расположения регионов, уровня развития агропромышленного комплекса и специфических характеристик принятой в регионе стратегии. Целью политики импортозамещения выступает формирование высоко конкурентного сельскохозяйственного товаропроизводителя, который сможет обеспечивать продукцией и сырьем экономику страны. Использование достижений

отечественных разработок в области науки и техники выступает императивом реализации стратегии импортозамещения.

Геополитическая турбулентность, обуславливая определённые ограничения, является хорошим поводом для старта деловой активности или наращивания уже имеющихся позиций на фондовом рынке [3]. Государство сегодня создаёт необходимые условия для привлечения инвестиционных средств как населения, так и крупных предприятий. Тем не менее, необходима детальная оценка всех сильных и слабых сторон той или иной сельскохозяйственной компании, важно рассчитать риски, а также спрогнозировать итоговую доходность, прежде чем приступить к вложению средств.

Целью исследования является оценка инвестиционной привлекательности агропромышленного комплекса России в условиях реализации политики импортозамещения.

Условия, материалы и методы. В процессе написания статьи применялись частные и общенаучные методы исследования, такие как анализ, синтез, постановка гипотезы, дедукция, индукция, сравнение. Особое внимание было уделено использованию статистических инструментов анализа. Использовались стандартные методики оценки рыночных мультипликаторов: P/E (Price-to-Earnings) – Цена / Прибыль, показывающий, сколько инвесторы готовы платить за 1 рубль прибыли компании; P/S (Price-to-Sales) – Цена / Выручка, оценивающий компанию с точки зрения эффективности продажи ее продукции; EBITDA (Earnings

Before Interest, Taxes, Depreciation, Amortization), отражающий реальную операционную рентабельность компании без учета ее долгов и налогов; P/B (Price-to-Book) – Цена / Балансовая стоимость, демонстрирующий недооцененность компании рынком; ROA (Return on Assets) – Рентабельность активов, показывающий эффективность использования активов; Debt/Equity (D/E) – Долг / Собственный капитал, отражающий уровень долговой нагрузки. Оценка устойчивости предполагала расчет таких показателей, как коэффициент автономии, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, коэффициент покрытия инвестиций.

Информационной базой работы послужили данные Росстата, Московской биржи, российских рейтинговых агентств, материалы финансовой отчетности компаний агропромышленного комплекса. В процессе исследования использовались СПС «Консультант Плюс» и «Гарант».

Результаты и обсуждение. На сегодняшний день агропромышленный комплекс России представляет собой устойчивую, динамически развивающуюся систему, в рамках которой формируются экономические отношения между государством, агропромышленными предприятиями и потребителями, а также иностранными импортёрами российской сельскохозяйственной продукции. Перед государством стоит важная задача стимулировать развитие агропромышленного комплекса, способствовать привлекательности ведения бизнеса и работы в данной сфере. Так, Федеральный закон от 29.12.2006 года № 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» даёт широкое представление о задачах, которые стоят перед российским государством, среди них: устойчивое развитие экономических отношений в сельскохозяйственной деятельности; развитие сельских территорий; увеличение объёма продукции; интенсивное развитие производства; рост экспорта товаров за рубеж.

Для поддержки отрасли государство прибегает к следующим мерам:

1. Формирование стабильного доступа предприятий сельскохозяйственного сектора к поступлению необходимых финансов, а именно инвестиционных средств или же кредитных средств юридических и физических лиц как внутри страны, так и за её пределами;
2. Совершенствование российского антимонопольного законодательства и надзор за строгим его соблюдением специализированными контрольными органами;
3. Совершенствование системы регулирования в таможенно-тарифной сфере;
4. Обеспечение сохранения природного фонда, а именно плодородных почв и пресной воды;
5. Развитие семенного фонда, продуктов селективной и иной научной деятельности;
6. Популяризация имиджа аграриев среди граждан.

Строгое соблюдение вышеперечисленных мер способно привести к выполнению поставленных задач лишь в том случае, если органы власти, а именно Министерство сельского хозяйства РФ, Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Министерство финансов РФ, Федеральная таможенная служба, Федеральная антимонопольная служба и другие институты будут выполнять работу в тесной координации друг с другом [4, 5].

Наиболее важной задачей, стоящей перед правительством, профильными органами и самими товаропроизводителями, является привлечение инвестиционных ресурсов в целях устойчивого развития предприятий сельскохозяйственной отрасли. Значительные объёмы финансирования позволят увеличить масштаб производства, оптимизировать производственные процессы и расширить рынки сбыта продукции.

На современном этапе уже реализуется ряд программ льготного финансирования предприятий сельскохозяйственной отрасли. Национальный проект «Международная кооперация и экспорт» даёт возможность сельхозпроизводителю компенсировать ряд затрат с целью повышения его конкурентоспособности на международной арене и, как следствие, стимулирует сбыт его продукции за рубежом. Национальный проект «Эффективная и конкурентная экономика» позволяет начинающему производителю легко, используя гранты, открыть собственное дело и за счёт льготного кредитования успешно его развивать. Государством широко применяется субсидирование агропромышленного бизнеса, например, льготное кредитование со ставкой от 1 до 5% годовых [6].

Государственная поддержка агропромышленного комплекса важна, особенно, в условиях геоэкономической нестабильности и высокого санкционного давления.

После введения беспрецедентных санкций особо остро встал вопрос о технологическом и экономическом суверенитете. В апреле 2014 года Правительством РФ была принята государственная программа «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности», получившая в широких публицистических источниках название политики импортозамещения.

Целью данной политики является создание независимого и эффективно функционирующего сельскохозяйственного производства, при котором качество и количество сельскохозяйственной продукции определяется конкурентной средой, наблюдается активное внедрение научно-технических разработок, создание условий для востребованности инновационных продуктов в сельском хозяйстве [7, 8].

Политика импортозамещения стала весьма результативной. За последние 10 лет объём произведённой сельскохозяйственной продукции вырос

практически в 2 раза в ценовом эквиваленте (рис. 1). В среднем прирост производства в ценовом выражении составил 7,6% в год.

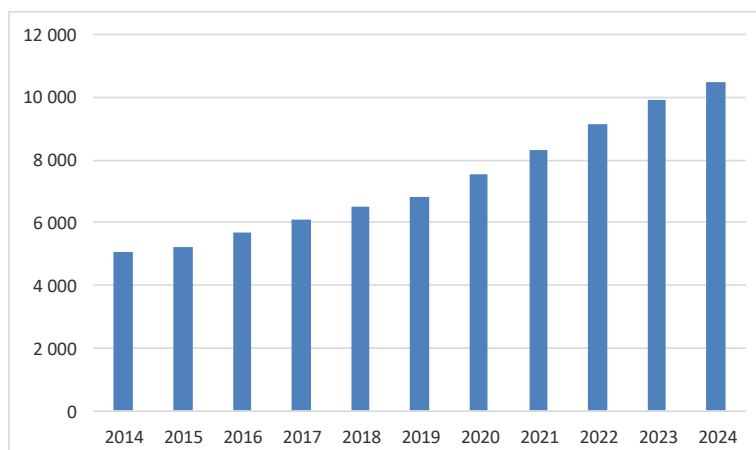


Рис. 1 - Динамика объема произведённой сельскохозяйственной продукции в РФ, в млрд руб. [9]

Результативность реализации политики импортозамещения отражается и в росте объемов производства сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств (рис. 2). Следует заметить, что за пятилетний период незначительно выросла доля сельскохозяйственных

организаций (прирост составил 2,41%). В то же время наблюдается сокращение объемов производства личных подсобных хозяйств на 5,25%, что связано со смещением акцентов в мерах государственной поддержки в сторону фермерских хозяйств и агрохолдингов.

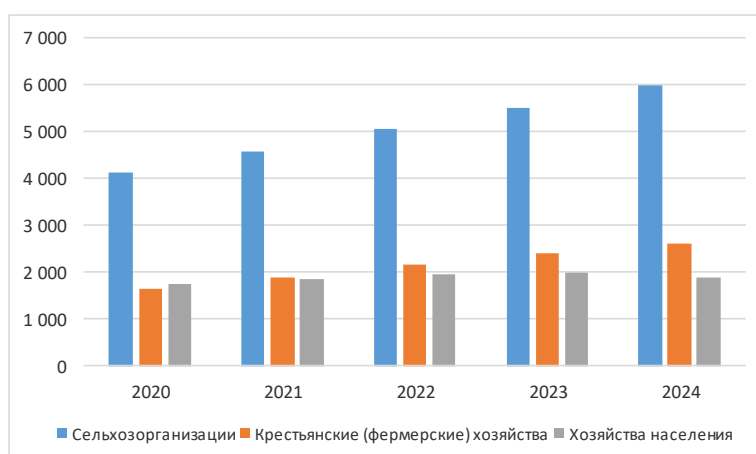


Рис. 2 - Объемы производства сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств, в млрд руб. [9]

Увеличение объемов произведенной сельскохозяйственной продукции в РФ обусловлено, во-первых, ростом спроса на данную продукцию в результате незначительного повышения реальных доходов населения, во-вторых, политикой государственной поддержки предприятий агропромышленного комплекса, к числу которых можно отнести субсидии, государственные гранты, специальные программы и льготное налогообложение [10].

В сложившихся условиях можно констатировать, что инвестиционная привлекательность агропромышленного сектора России высока. Данный вывод можно подтвердить с помощью оценки рыночных мультипликаторов крупнейших агропромышленных холдингов.

Сельскохозяйственные организации, акции которых обращаются на Московской бирже, можно разделить на следующие группы: производители сельскохозяйственной продукции, производители товаров, при изготовлении которых используется сельскохозяйственное сырьё, производители сельскохозяйственных удобрений. Остановимся на анализе инвестиционной привлекательности компаний – производителей сельскохозяйственной продукции.

Группа производителей сельскохозяйственной продукции на бирже представлена только тремя компаниями: группой компаний ПАО «Группа Черкизово», ПАО «Группа «Русгро» и ПАО «Инарктика».

Рассматривая значения финансовых

мультипликаторов, полученных на основе бухгалтерских балансов (табл. 1), можно сделать следующий вывод: по большинству показателей компании имеют сопоставимую динамику.

Таблица 1 - Финансовые мультипликаторы товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции

Наименование коэффициента	ПАО «Группа Черкизово»			ПАО «Группа Русагро»			«ПАО Инарктика»		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
P/E	7,21	8,22	4,80	3,87	13,31	3,78	6,8	4,61	5,02
P/S	0,76	0,65	0,70	0,72	0,38	0,66	2,54	2,34	2,72
EBITDA	29276	30166	49961	48060	45015	56561	6799	12932	12865
P/B	0,63	0,46	0,56	0,44	0,21	0,45	1,07	1,30	1,37
ROA	8,6	6	9,7	11,4	1,7	10,7	18,3	24,4	16,2
Debt/Equity	2,48	3,01	1,91	1,45	1,8	0,89	0,54	0,56	0,43

Источник: составлено авторами на основе финансовой отчётности товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции

Среди анализируемых агрохолдингов ПАО «Инарктика» демонстрирует устойчивое улучшение всех текущих показателей финансовой деятельности: растёт показатель P/E, за исключением кризисного 2022 года, увеличивается EBITDA, дивидендная доходность компании составляет 8,3% годовых. Из положительных моментов также можно отметить снижение долговой нагрузки. На сегодняшний день котировки компании находятся не на своих исторических максимумах, что связано, в том числе и со снижением объёма выручки, и с общим небольшим снижением показателей финансовой деятельности компании в 2023 году. Компания обладает устойчивыми источниками финансирования и учитывает интересы инвесторов, а также расширяет и оптимизирует собственный бизнес, что делает компанию удачным вариантом вложения средств инвестора.

Мультипликатор P/E ПАО «Группа Черкизово» в течение двух лет уменьшился почти вдвое, при среднем показателе по отрасли в 7,03. Из сильных сторон компании следует отметить показатель EBITDA, который за два года увеличился на 62%, что свидетельствует о существенном инвестиционном потенциале компании. За 2023 год дивидендная доходность ПАО «Группа Черкизово» достигла показателя 6,97%, что является рекордным значением за последние 5 лет, превысившим средний уровень на 3,2%. Помимо акций на Московской бирже размещены несколько

выпусков облигаций агрохолдинга, по которым инвесторы получают систематический купонный доход.

Стоит заметить, что рейтинговое агентство «Эксперт РА» повысило в июне 2023 года кредитный рейтинг ПАО «Группа Черкизово» с ruA+ до ruAA-, что также является сигналом к рассмотрению компании в качестве потенциального участника в инвестиционных портфелях трейдеров.

На фоне двух выше обозначенных игроков рынка, инвестиционная привлекательность ПАО «Группа «РусАгро» является низкой. Дело в том, что компания была зарегистрирована на Кипре, и риски, связанные с иностранной регистрацией, сильно отразились на всех показателях. Дивидендная политика ПАО «Группа «РусАгро» до кризиса 2022 года носила систематический характер с постоянной выплатой два раза в год, со средней доходностью в 8,34% годовых. На выплату дивидендов направлялось 22,5% прибыли. Однако, после февраля 2022 года и введения санкций против Национального расчетного депозитария (НРД) стало невозможно выплачивать дивиденды акционерам. Возвращение вознаграждений акционеров компании произошло после прохождения процедуры редомициляции в России.

Отдельно следует остановиться на показателях финансовой устойчивости сельскохозяйственных производителей (табл. 2).

Таблица 2 - Коэффициенты финансовой устойчивости товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции

Наименование коэффициента	ПАО «Группа Черкизово»	ПАО «Группа «Русагро»	ПАО «Инарктика»	Среднеотраслевые показатели
Коэффициент автономии	0,34	0,38	0,75	0,3
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	-0,1	-0,1	-0,4	0,1
Коэффициент покрытия инвестиций	0,8	0,6	1	0,5

Рассматриваемые товаропроизводители сельскохозяйственной продукции обеспечены собственными средствами и обладают источниками долгосрочного надёжного финансирования, о чем свидетельствуют их коэффициенты автономии и покрытия инвестиций, которые выше среднеотраслевых параметров. Отрицательные значения коэффициента обеспеченности собственными оборотными средствами агрохолдингов определяются недостаточностью ликвидных активов компаний, что вынуждает их привлекать дополнительное финансирование с целью поддержания непрерывности воспроизводственного цикла [11].

Выводы. Финансово-хозяйственный анализ деятельности ПАО «Группа Черкизово» и ПАО «Инарктика» показал их инвестиционную привлекательность, что позволяет рекомендовать финансовые инструменты данных сельскохозяйственных товаропроизводителей к включению в портфели ценных бумаг трейдеров. По показателям ПАО «Группы «РусАгро» видно, что она имеет неплохой потенциал роста. Вместе с тем, есть ряд факторов, заставляющих задуматься о целесообразности приобретения акций агрохолдинга

в рассматриваемый период времени. Регистрация данного товаропроизводителя в иностранной юрисдикции до процедуры редомициляции компании создала условия для повышенной волатильности ценных бумаг агрохолдинга.

Инвестиционная привлекательность российских сельскохозяйственных организаций во многом обусловлена существенной государственной поддержкой сектора посредством предоставления субсидий, государственных грантов и специальных режимов налогообложения. В сложившихся условиях дальнейшее наращивание масштабов государственного стимулирования сельскохозяйственного производства обеспечивает существенный положительный эффект, имеющий мультипликационный характер. Развитие отечественного агропромышленного комплекса позволяет в достаточно полной мере реализовывать политику импортозамещения, причем не только внутри самого сектора, но и в смежных отраслях и комплексах, что в целом положительно сказывается на экономической безопасности страны.

Литература

1. Villacis A.H., Bloem J.R., Mishra A.K. Aspirations, risk preferences, and investments in agricultural technologies. *Food Policy*. 2023 Volume 120. 102477. doi: 10.1016/j.foodpol.2023.102477
2. Jana R.K., Ghosh I. Time-varying relationship between geopolitical uncertainty and agricultural investment. *Finance Research Letters*. 2023. Volume 52. 103521. doi: 10.1016/j.frl.2022.103521
3. Agyeiwaa-Afrane A., Aaron K., Agyei-Henaku A.-O., Badu-Prah C., Srofenyoh F.Y., Gidiglo F.K., Djokoto J.G. The theory of the investment development path and agriculture in Eastern Europe. *Heliyon*. 2024. Volume 10, Issue 11. e31870. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31870
4. 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.
5. Евстафьева А. Х., Боровских О. Н. Оценка развития агропромышленного комплекса России и меры стимулирования его инвестиционной активности // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 3(71). С. 143-153.
6. Гасанов М.А., Гасанов Э.А., Жиронкин В.С. Концептуальная модель импортозамещения в условиях внешних ограничений // Экономика и управление инновациями. 2024. №1 (28). С. 4-15.
7. Таран Е.А., Слесаренко Е.В., Жиронкин В.С. Формирование мониторинга санкционного и шокового воздействия на воспроизводственную и технологическую сферы российской экономики в условиях активизации импортозамещения // Экономика и управление инновациями. 2023. №4 (27). С. 68-76.
8. 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.
9. Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство. Росстат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/45022>, свободный.
10. Анохина М. Е. Национальный аграрный продукт и перспективы его роста // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3(67). С. 116-129.
11. Совершенствование методики интегральной оценки финансовой устойчивости организаций / Г. И. Хаустова, Л. А. Запорожцева, М. Б. Чиркова, И. В. Шамрина // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1(73). С. 132-138.

Сведения об авторах:

Коновалова Мария Евгеньевна – доктор экономических наук, профессор, директор института национальной и мировой экономики, e-mail: mkonoval@mail.ru

Кузьмина Ольга Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории, e-mail: pisakina83@yandex.ru

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

Жиронкин Сергей Александрович – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры открытых горных работ¹, профессор кафедры торгового дела и маркетинга², e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

ANALYSIS AND EVALUATION OF RUSSIAN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX DEVELOPMENT
IN THE CONTEXT OF IMPORT SUBSTITUTION POLICY
M. E. Konovalova, O. Yu. Kuzmina, S. A. Zhironkin

Abstract. The development of the Russian agro-industrial complex is a priority task from the standpoint of ensuring food and economic security of the country. Traditionally, agricultural production is subsidized, which imposes restrictions on the scale of its development. In this regard, the search for new funding sources for the agricultural sector is very relevant and timely. In such conditions, the issue of assessing the sectoral investment attractiveness, as well as the investment attractiveness of individual agricultural producers, is especially acute. Growing geopolitical tensions have necessitated the rapid development of the Russian agro-industrial complex, which predetermined the development by the state of a number of policy documents on measures to support key sectors of agriculture. One of the most important tasks facing the government is to attract investment resources for the sustainable development of agribusiness. The key source of funding for agroholdings is the issue of securities - shares and corporate bonds, the assessment of the investment attractiveness of which can serve as a starting point for making decisions in favor of capital investments in a promising agricultural producer. Currently, shares of three large agroholdings are traded on Moscow Exchange: PJSC Cherkizovo Group, PJSC Inarktika and PJSC Rusagro Group. Financial and economic analysis in the period under review showed that only the first two agricultural organizations are attractive for capital investment. An assessment of market multipliers and financial stability coefficients of PJSC Cherkizovo Group and PJSC Inarktika demonstrated that their values are higher than the industry average. Investing in shares of PJSC Rusagro Group can be considered risky, which was due to the foreign jurisdiction of the agricultural holding and the need to carry out the redomiciliation procedure.

Key words: agro-industrial complex, import substitution policy, investment attractiveness, investments, financial stability, market multipliers.

References

1. Villacis AH, Bloem JR, Mishra AK. Aspirations, risk preferences, and investments in agricultural technologies. *Food Policy*. 2023; Volume 120. 102477. doi: 10.1016/j.foodpol.2023.102477
2. Jana RK, Ghosh I. Time-varying relationship between geopolitical uncertainty and agricultural investment. *Finance Research Letters*. 2023; Volume 52. 103521. doi: 10.1016/j.frl.2022.103521
3. Agyeiwaa-Afrane A, Aaron K, Agyei-Henaku A-O, Badu-Prah C, Srofenyoh FY, Gidiglo FK, Djokoto JG. The theory of the investment development path and agriculture in Eastern Europe. *Heliyon*. 2024; Volume 10. Issue 11. e31870. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31870
4. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Sitdikova LF. [The main trends of regional agricultural growth: from volumes to sustainability]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 1(73). 117-123 p.
5. Evstafeva AKh, Borovskikh ON. [Assessment of agro-industrial complex development in Russia and measures to stimulate its investment activity]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 3(71). 143-153 p.
6. Gasanov MA, Gasanov EA, Zhironkin VS. [Conceptual model of import substitution in the context of external restrictions]. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami*. 2024; 1 (28). 4-15 p.
7. Taran EA, Slesarenko EV, Zhironkin VS. [Formation of monitoring of sanctions and shock impact on the reproductive and technological spheres of the Russian economy in the context of intensified import substitution]. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami*. 2023; 4 (27). 68-76 p.
8. 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.
9. Agriculture, hunting, forestry. [Internet]. Rosstat. Available from: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/45022,svobodnyi>.
10. Anokhina ME. [National agricultural product and its growth prospects]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 3(67). 116-129 p.
11. Khaustova GI, Zaporozhtseva LA, Chirkova MB, Shamrina IV. [Improving the methodology for the integrated assessment of the financial stability of organizations]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 1(73). 132-138 p.

Authors:

Konovalova Mariya Evgenevna – Doctor of Economics, Professor, Director of Institute of National and World Economy, e-mail: mkonoval@mail.ru

Kuzmina Olga Yurevna – Ph.D. of Economics, Associate Professor of Economic Theory Department, e-mail: pisakina83@yandex.ru

Samara State University of Economics, Samara, Russia

Zhironkin Sergey Aleksandrovich – Doctor of Economics, Professor, Professor of Open-Pit Mining Department¹, Professor of Trade and Marketing Department², e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru

¹Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russia

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ СУБРЕГИОНОВ В РЕГИОНАЛЬНОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Е. Н. Королева, Л. А. Мустафина

Реферат. Актуальная повестка пространственного развития России обуславливает усиление внимания к исследованию причин внутрирегиональных диспропорций, изучению процессов взаимодействия территорий в контексте «центр-периферия», выявлению возможностей их кооперации и интеграции. Для периферийных сельских территорий, находящихся под слабым влиянием городских агломераций, необходимы специальные механизмы обеспечения устойчивости и сбалансированности. Это определяет необходимость выявления проблемных зон развития сельских территорий на основе оценки дифференциации их социально-экономического развития. В Самарской области сформированы и нормативно закреплены 7 субрегионов, объединяющих 23 муниципальных района преимущественно аграрной специализации. В результате оценки дифференциации социально-экономического положения субрегионов по интегральному показателю и по компонентам экономического, социального и инфраструктурного характера выделены три группы субрегионов: с высокими значениями интегрального показателя (2,0-2,5) – высокоразвитые (Сызранский), со средними значениями (1,5-2,0) – умеренно развитые (Сергиевский, Похвистневский и Южный) и с низкими значениями (1,0-1,5) – слабо развитые субрегионы (Юго-Западный, Отраденский и Нефтегорский). Оценка степени однородности за период 2017-2022 годов также подтвердила наличие диспропорций. Установлено, что наиболее существенны они по экономической и социальной компонентам: средние значения коэффициента вариации составили соответственно 37,5% и 34%, что превышает пороговое значение (33%); значения коэффициента асимметрии являются положительными и выходят за границы 0,5. Коэффициент эксцесса на протяжении всего периода имел выпадающие из общей совокупности значения, в частности, по экономической компоненте имеются сдвиги в отрицательные значения, по социальной и инфраструктурной – в положительные. Определено, что основными ограничениями для развития сельских субрегионов стали: отсутствие должной транспортной сети и узкая специализация экономики. Наряду с масштабными инфраструктурными проектами, направленными на обеспечение транспортной связности и сферы социального обслуживания, необходимо развитие новых форм диверсификации местной экономики: сельского туризма, креативных индустрий, народных промыслов и семейного бизнеса.

Ключевые слова: субрегион, сельская территория, экономическое пространство региона, оценка дифференциации, пространственные диспропорции, национальные проекты.

Введение. Различия научных подходов к исследованию экономического пространства обуславливают наличие нескольких точек зрения на его важнейшие характеристики – свойства и структуру. Среди фундаментальных особенностей российского экономического пространства П.А. Минакир и А.Н. Демьяненко [1] особо выделяют фрагментарность экономического пространства и поляризованную централизацию подчеркивая особую роль городских агломераций в формировании замыкающихся на них экономических ареалов.

Согласно ранее выполненным нашим исследованиям, можно констатировать, что в исследовании экономического пространства региона (субъекта РФ) в рамках административных границ, целесообразно учитывать следующие основные характеристики его структуры и свойств: наличие территорий двух типов – агломерационной и внеагломерационной территории; позиционирование агломерационной территории в качестве центра, следовательно, внеагломерационной – в качестве внешней (дальней) периферии; сложную пространственную структуру территории каждого типа в координатах моноцентричность-полицентричность и локализация-дисперсия, что предполагает несколько комбинаций двух пространственных измерений [2].

С учетом многослойности и иерархической природы самого экономического пространства на внутрирегиональном и локальном уровне в системе городская-сельская местность [3] именно последняя испытывает негативные эффекты периферизации.

«Периферийность» сегодня становится важнейшей характеристикой пространства большинства субъектов РФ, обостряя проблемы дифференциации социально-экономического развития городских и сельских территорий на субрегиональном уровне, определяемые не только «пространственными» свойствами самой периферийности, такими как удаленность и плотность, но и такими непространственными элементами как технологическая инфраструктура, человеческий капитал, способный использовать технологии, местные бизнес-сети, местное сообщество, а также связи с глобальными рынками и информационными сетями [4].

Важно отметить, что в последнее время усилился интерес российских ученых к исследованию проблем дифференциации не только на уровне субъектов РФ, но и на внутрирегиональном (субрегиональном) уровне. Актуальными в рамках нашего исследования являются работы С.Н. Калюгиной, О.А. Мухорьяновой, В.А. Фурсова [5], О.В. Кузнецовой [6], А.Е. Суринова и А.Б. Луппова [7].

Хотя дифференциация замедляет темпы экономического роста, «определенный уровень дифференциации социально-экономической системы полезен, поскольку облегчает общее развитие путем создания некоторой пространственной конкуренции или напряженности» [8]. Следовательно, эффективность реализации региональной политики будет определяться наряду с выравниванием уровня социально-экономического развития, стимулированием «точек роста» и активизацией потенциала развития периферийных, как правило, сельских территорий.

Одним из направлений вовлечения этих территорий в региональные проекты в составе интеграционных структур может стать развитие субрегиональных форм локализации муниципалитетов, другим – активизация межмуниципального сотрудничества [9]. Возможности интеграции предпринимательских структур в рамках субрегионов будут определять появление новых типов межотраслевых и межсубъектных взаимодействий в муниципальной экономике [10].

Выявление проблемных зон развития сельских территорий предопределило необходимость выявления дифференциации их социально-экономического развития. Апробация комплексной методики оценки дифференциации социально-экономического развития субрегиональных территориальных образований на примере Самарской области и стало целью данного исследования.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования являются субрегионы – территориальные образования субрегионального уровня. Рядом исследователей были предложены современные подходы к определению

понятия «субрегион» [11, 12]. Обобщая данные подходы нами выявлено, что сущность субрегиона имеет два исследовательских контекста: 1) субрегион, как подсистема экономического пространства (субрегиональный уровень); 2) субрегион, как инструмент пространственной организации региона, объединяющий смежные (сопредельные) внеагломерационные территории муниципального уровня [13]. В рамках данного исследования субрегион трактуется как объединение «соседствующих» смежных территорий: 1) обладающих схожими социально-экономическими характеристиками; 2) находящихся за пределами агломераций; 3) преимущественно являющихся сельской периферией, удаленной от центров влияния; 4) развитие которых базируется на межмуниципальных связях.

Несмотря на достаточно слабую изученность территорий субрегионального уровня и отсутствие единого подхода к определению понятия «субрегион», такие субъекты Российской Федерации, как Самарская и Свердловская области, Республика Башкортостан демонстрируют примеры апробации субрегиональной интеграции своих территорий. На субрегиональном уровне Самарской области сформированы и нормативно закреплены Постановлением Правительства Самарской области от 12.07.2017 № 441 «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Самарской области на период до 2030 года» Самарско-Тольяттинская агломерация и 7 субрегионов, объединяющие, как правило, сельские муниципальные районы (представлены в табл.).

Таблица – Субрегионы Самарской области (на 01.01.2024 год)

№	Субрегион	Муниципальные образования в составе субрегиона	Численность населения МО, чел.	Численность населения субрегиона, чел.
1.	Юго-Западный субрегион	Безенчукский м. р.	35844	73223
		Приволжский м. р.	21590	
		Хворостянский м. р.	15789	
2.	Сызранский субрегион	Сызрань г.о.	162372	224826
		Октябрьск г.о.	19887	
		Сызранский м. р.	23295	
		Шигонский м. р.	19272	
3.	Отраденский субрегион	Отрадный г.о.	46480	109242
		Кинель-Черкасский м. р.	40596	
		Борский м. р.	22166	
4.	Нефтегорский субрегион	Нефтегорский м. р.	31958	55509
		Богатовский м. р.	13052	
		Алексеевский м. р.	10499	
5.	Похвистневский субрегион	Похвистнево г.о.	27685	77718
		Похвистневский м. р.	25635	
		Клявлинский м. р.	13967	
		Камышлинский м. р.	10431	
6.	Сергиевский субрегион	Сергиевский м. р.	43600	112726
		Елховский м. р.	9128	
		Иса克林ский м. р.	12310	
		Кошкинский м. р.	20672	
		Челно-Вершинский м. р.	14451	
		Шенталинский м. р.	12565	
7.	Южный субрегион	Красноармейский м. р.	15788	65242
		Пестравский м. р.	14513	
		Большеглушицкий м. р.	17856	
		Большечерниговский м. р.	17085	

Обзор работ показал достаточно большое разнообразие методик для исследования пространственной дифференциации, которые имеют как преимущества, так и ограничения для использования применительно к объекту субрегионального уровня [14, 15, 16].

Одним из важных этапов проведения оценки является подбор индикаторов, характеризующих социально-экономическое положение исследуемого объекта (субрегионы Самарской области). Авторы убеждены, что индикаторы оценки должны быть сопряжены с текущими приоритетами не только региональной политики конкретного региона, но, в первую очередь, с национальными целями страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036

года, которые определены соответствующим Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309.

Сельские территории вносят особый вклад в достижение вышеуказанных целей, в связи с чем оценка осуществлялась по всем направлениям социально-экономического развития, которые были сгруппированы авторами в экономическую (Эсуб), инфраструктурную (Исуб), социальную (Ссуб) компоненты. Этапы разработанной методики оценки дифференциации социально-экономического положения территорий субрегионов на основе ключевых показателей национальных целей развития РФ представлены на рисунке 1.

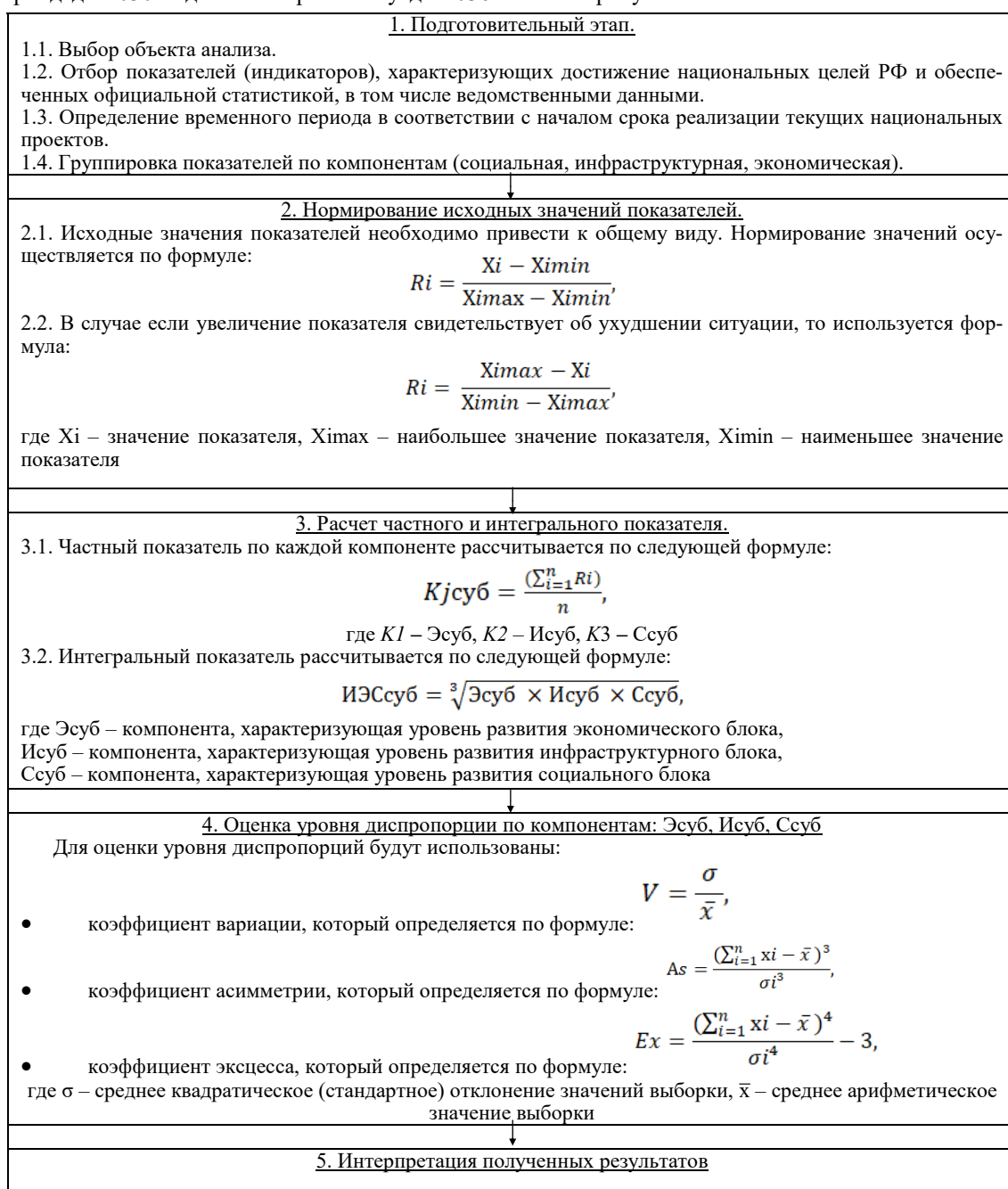


Рис. 1 – Этапы комплексной методики оценки дифференциации социально-экономического положения субрегионов на основе ключевых показателей национальных целей развития РФ

Отбор показателей (индикаторов) был выполнен согласно перечню показателей, охватывающих основные направления национальных целей Российской Федерации и будущих национальных проектов России [17].

Сбор и верификация исходных данных по каждому муниципальному образованию в составе сельских субрегионов Самарской области за период 2018-2022 годы осуществлены с использованием информации официального сайта Росстата (<https://www.gks.ru>).

Результаты и обсуждение. По результатам проведенного анализа были получены

значения интегрального показателя (ИЭСсуб), который охватывает три ключевые составляющие социально-экономического развития: социальную, экономическую и инфраструктурную компоненты.

Полученные значения позволили выделить три группы субрегионов Самарской области: с высокими значениями интегрального показателя (2,0-2,5) – высокоразвитые субрегионы, со средними значениями (1,5-2,0) – умеренно развитые субрегионы и с низкими значениями (1,0-1,5) – слабо развитые субрегионы (рис. 2).

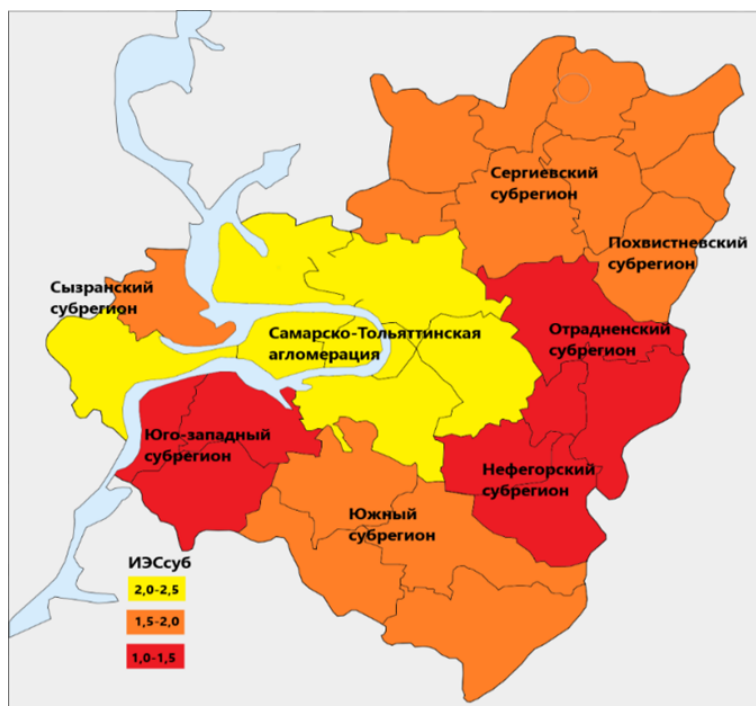


Рис. 2 – Картограмма распределения субрегионов по ИЭСсуб в 2022 году

Как и ожидалось, в первую группу вошла Самарско-Тольяттинская агломерация (далее – СТА), которая продемонстрировала наилучшие результаты по интегральному показателю. Его среднее значение за рассматриваемый период составило 2,347, что почти в 1,5 раза выше средних значений по субрегионам Самарской области в целом (1,631). СТА является одной из крупнейших агломераций страны, в пределах которой находятся два крупнейших города-ядра – Самара и Тольятти. В группу высокоразвитых субрегионов вошел Сызранский субрегион, в составе которого имеется городской центр – Сызрань, формирующий интенсивные связи с сельскими территориями.

Группу умеренно развитых субрегионов формируют Сергиевский, Похвистневский и Южный субрегионы. Среднее значение интегрального показателя по группе составило 1,606, лучшее значение выявлено для Сергиевского субрегиона (1,768). Этот субрегион имеет хорошую транспортную доступность, обеспечивая связность своих территорий с крупными городами СТА. В Похвистневском субрегионе расположен городской округ

Похвистнево, служащий точкой притяжения для близлежащих сельских территорий. Южный субрегион имеет диверсифицированную экономику, позволяющую привлекать инвестиции для развития инфраструктурных проектов и сферы обслуживания сельского населения. Основное конкурентное преимущество Южного субрегиона – его обширные земельные ресурсы, которые усиливают интересы инвесторов и бизнеса. Таким образом, входящие в данную группу субрегионы могут послужить опорным каркасом экономического пространства Самарской области.

Низкие значения интегрального показателя наблюдаются у группы в составе Юго-Западного, Отрадненского и Нефтегорского субрегионов (среднее значение по группе составило 1,425). Лучшие результаты продемонстрировал Отрадненский субрегион (1,449), отраслями специализации которого являются сельское хозяйство и нефтегазовое производство. Юго-Западный субрегион является приграничным, отдален от влияния центров СТА, что определяет сохранение сельского хозяйства в качестве его основной

отраслевой специализации, несмотря на свою связность с городскими округами Новокуйбышевск и Чапаевск (центрами нефтехимической и химической промышленности). Ведущей отраслью Нефтегорского субрегиона является нефтедобыча, также на его территории стабильно развивается аграрное производство. Данная группа субрегионов, обладая возможностями для создания устойчивых связей с соседними субъектами РФ благодаря своему расположению, характеризуется низкой плотностью дорожной сети относительно субрегионов из двух других групп. Это, а также отсутствие должных агломерационных эффектов от СТА, ввиду своей отдаленности, определяют их «отсталость».

Из широкого перечня инструментов, пригодных для оценки степени дифференциации, в рамках данного исследования были

выбраны коэффициенты вариации, асимметрии, эксцесса.

Коэффициент вариации является мерой изменчивости показателей относительно их среднего значения. Он определяется как отношение стандартного отклонения к среднему значению и выражен в процентах. Данный показатель используется для оценки степени разброса данных. В случае если, коэффициент вариации составляет менее 33%, то совокупность данных считается достаточно однородной. По результатам оценки можно сделать вывод, что по инфраструктурной составляющей за рассматриваемый период совокупность является достаточно однородной. По экономической составляющей, согласно величине среднего значения коэффициента вариации 37,5% и динамике значений за период, дифференциация субрегионов усиливается (рис.3).

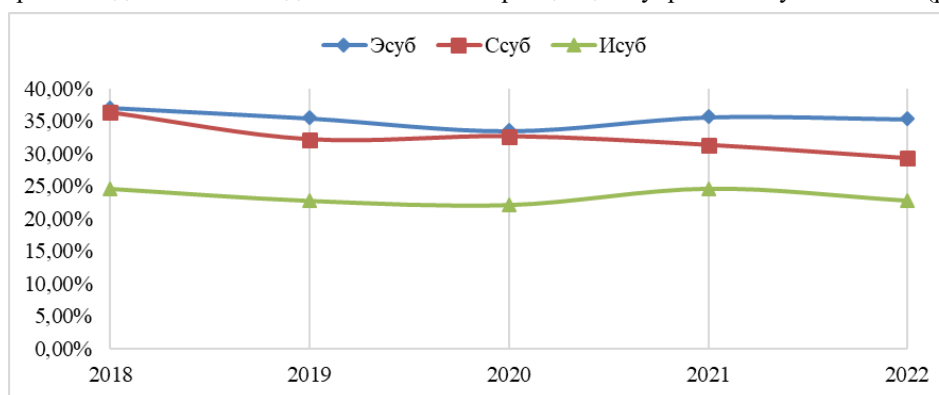


Рис. 3 – Коэффициент вариации по субрегионам Самарской области

Коэффициент асимметрии характеризует степень несимметричности распределения случайной величины относительно среднего значения. В случае, если распределение симметрично, коэффициент асимметрии равен нулю. При этом относительно симметричным считается нахождение значений в пределах от -0,5 до 0,5. Полученные значения коэффициента асимметрии по компонентам также

подтверждают относительную однородность совокупности субрегионов по инфраструктурной составляющей. Значения коэффициента по экономической и социальной компонентам демонстрируют положительные значения и выходят за границы 0,5, что, соответственно, указывает на наличие существенной дифференциации (рис.4).

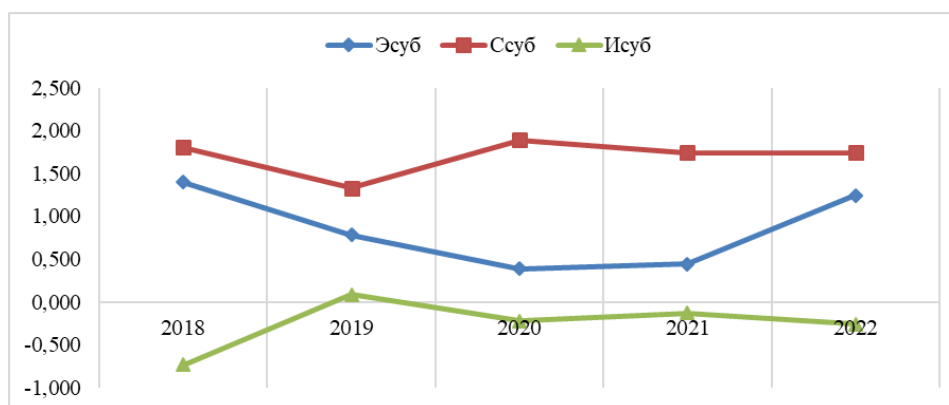


Рис. 4 – Коэффициент асимметрии по субрегионам Самарской области

Коэффициент эксцесса демонстрирует «крутизну» пика распределения вероятностей случайной величины по сравнению с нормальным распределением.

Однородным считается распределение равное нулю. При рассмотрении динамики значений данного коэффициента по компонентам установлено, что в исследуемом периоде

имеются выпадающие из общей совокупности значения. В частности, по экономической компоненте имеются сдвиги в отрицательные значения, по социальной и

инфраструктурной – в положительные. Это свидетельствует об относительной неоднородности субрегионов по всем трем компонентам (рис.5).

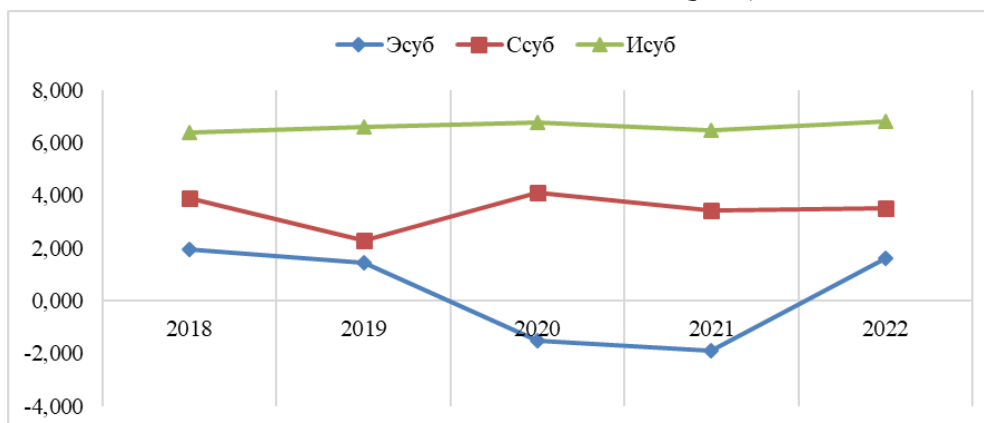


Рис. 5 – Коэффициент эксцесса по субрегионам Самарской области

Таким образом, результаты оценки дифференциации сельских субрегионов демонстрируют наличие диспропорций. Особую озабоченность вызывают результаты оценки по инфраструктурной и социальной компонентам, так как именно они отражают уровень и качество жизни, а также доступность социальных гарантий для населения сельских территорий.

Согласимся с выводами Ю.Г. Лавриковой и А.В. Суворовой [18] о невозможности использования единой унифицированной модели развития различных территорий и о необходимости применения дифференцированного подхода к определению ориентиров их пространственных трансформаций.

Тем не менее, полученные оценки позволяют спроектировать конкретные направления государственной поддержки сельских территорий, сформировать специализированные мероприятия по снижению их дифференциации, в том числе исходя из приоритетов национальных целей развития.

В рамках проведенного анализа выявлено, что основными ограничениями для развития сельских территорий являются отсутствие должной связующей транспортной сети и узконаправленная специализация экономики (преимущественно сельское хозяйство и добыча полезных ископаемых). Полагаем, что основным стимулирующим фактором развития сельских территорий станут инфраструктурные проекты, направленные на обеспечение транспортной связности и сферы социального обслуживания. В таких проектах особо нуждаются отдаленные от СТА территории, которые в нашем исследовании вошли в группу слабо развитых субрегионов.

Социально-экономические процессы развития сельских территорий опосредуют особенности жизнедеятельности сельского населения [19]. Следовательно, точки роста таких территорий должны предполагать сохранение исторически сложившегося культурного наследия, а также поддержку их

традиционной специализации, обеспечивающей преемственность экономической деятельности между поколениями местного населения. При этом, стимулирование имеющегося потенциала таких территорий в современных условиях должно приобрести новые формы – это, в первую очередь, развитие сельского туризма, креативных индустрий, народных промыслов и семейного бизнеса [20].

Таким образом, дополнительными импульсами для развития субрегионов слабо и умеренно развитых групп может стать инициирование проектов сельского туризма, формирование мероприятий, стимулирующих создание креативного кластера в сельском секторе, активизация агробизнеса с использованием существующих возможностей для предпринимательского сектора и межмуниципального сотрудничества. В качестве примера можно привести положительный опыт муниципального района Безенчукский, который входит в состав Юго-Западного субрегиона. С 2021 года на его территории реализуется мероприятие по созданию креативного кластера «Купеческая Екатериновка», реализуемое в рамках масштабного проекта по формированию центра Волжского купечества и ремесел. Его создание направлено на развитие туристической инфраструктуры с сохранением местных историко-культурных и природных ценностей. Подобные проекты способствуют повышению привлекательности территорий для развития внутреннего туризма, усилению их конкурентоспособности за счет привлечения инвестиций и создания площадок для реализации предпринимательских инициатив.

Выводы. Полученные результаты демонстрируют существующую дифференциацию социально-экономического положения сельских субрегионов Самарской области, особенно в части результатов оценки по социальной и инфраструктурной компонентам. Это позволило не только выявить пространственную неоднородность сельских территорий

субрегионального уровня, но и акцентировать проблемные зоны, на которые органам региональной власти и местного самоуправления необходимо обратить первостепенное внимание в целях недопущения возникновения социальных рисков недостижения

национальных целей. Обеспечение условий для комфортной жизни граждан и их равного доступа к получению качественных государственных услуг независимо от места проживания является основной и первостепенной задачей социального государства.

Литература

1. Минакир П.А., Демьяненко А.Н. Очерки по пространственной экономике; отв. ред. В.М. Полтерович; Рос. акад. наук, Дальневост. отд.-ние, Ин-т экон. исследований. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН. 2014. 272 с.
2. Koroleva E., Zelepukina N. The Development of Polycentric Agglomeration and the Non-agglomeration Territory in the Economic Space of a Region. In: Samoylenko, I. (eds) *Advances in Management, Business and Technological Systems. AMBT 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham. 2023. vol 582. 132–139 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20803-4_14.
3. Мищенко И.В. Пространственные аспекты устойчивого развития сельских территорий // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2012. № 3. С. 95–102.
4. Copus A.C. From Core-Periphery to Polycentric Development: Concepts of Spatial and Aspatial Peripherality // *European Planning Studies*. 2001. Vol. 9. Issue 4. Pp. 539–552. <https://doi.org/10.1080/713666491>
5. Калюгина С.Н., Мухорьянова О.А., Фурсов В.А. Оценка асимметрии социально-экономического развития муниципальных образований на региональном уровне // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2024. Т. 26. № 1. С. 31–44.
6. Кузнецова О.В. Экономическая дифференциация и восприимчивость муниципалитетов российской Арктики к федеральным преференциальным режимам // Экономика региона. 2024. № 20(2). С. 462–476.
7. Суринов А.Е., Луппов А.Б. Дифференциация доходов населения и стоимость жизни на субрегиональном уровне. Оценка для России. Экономический журнал ВШЭ. 2022; №26(4): 552–578.
8. Glinskiy V.V., Serga L.K., Alekseev M.A. Territorial Differentiation as the Factor of Sustainable Economic Development. *Procedia Manufacturing*. 2020; 43:263–268. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.152>.
9. Гайнанов Д.А., Гатауллин Р.Ф., Атаева А.Г. Методологический подход и инструментарий обеспечения сбалансированного пространственного развития региона // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2021. Т. 14. № 2. С. 75–91.
10. Улезько А.В., Недиков К.Д. Взаимодействие экономических субъектов: объективность и принципы организации // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 1(64). С. 134–139. doi: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.134.
11. Бухвальд Е.М., Бессонов И.С. Субрегионы в пространственной организации регионов Российской Федерации // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2024. № 1. С. 7–27.
12. Тажитдинов И.А., Атаева А.Г. Методологические основы изучения сущности и способов организации внутрирегиональных территориальных социально-экономических систем // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7719>
13. Мустафина Л.А., Королева Е.Н. Содержательная трактовка понятия «субрегион» в региональной экономике: сборник трудов конференции. // Право, экономика и управление: состояние, проблемы и перспективы: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (Чебоксары, 22 авг. 2024 г.) / редкол.: Э. В. Фомин [и др.]. Чебоксары: ИД «Среда». 2024. С. 54–59.
14. Лаврикова Ю.Г., Суворова А.В. Неоднородность экономического развития российских макрорегионов // Экономика региона. 2023. № 4. С. 934–948.
15. Наумов И.В., Никулина Н.Л. Оценка пространственной неоднородности экономической деятельности хозяйствующих субъектов в муниципальных образованиях Свердловской области // Экономика региона. 2022. Т. 18, вып. 3. С. 820–836.
16. Меренкова И.Н. Теоретико-методические аспекты мониторинга экономического пространства сельских территорий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 2(81). С. 149–158.
17. Мустафина Л.А., Королева Е.Н. Методические основы исследования пространственных диспропорций на субрегиональном уровне // Вестник академии знаний. 2024. № 5 (64). С.282–285.
18. Лаврикова Ю.Г., Суворова А.В. Оптимальная пространственная организация экономики региона: поиск параметров и зависимостей // Экономика региона. 2020. Т. 16, вып. 4. С. 1017–1030.
19. Газетдинов Ш.М., Газетдинов М.Х., Семичева О.С. Сельская территория как система взаимодействия экономических и социальных процессов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 4(64). С. 82–87.
20. Смыслова О.Ю. Стратегические направления повышения уровня и качества жизни населения сельских территорий России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 3(74). С. 141–155.

Сведения об авторах:

Королева Елена Николаевна – доктор экономических наук, профессор кафедры региональной экономики и управления, e-mail: KorolevaE.N@sseu.ru

Мустафина Лилия Анфаловна – аспирант кафедры региональной экономики и управления, e-mail: lilsadykva@rambler.ru

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

DIFFERENTIATION OF RURAL SUBREGION DEVELOPMENT IN THE REGIONAL ECONOMIC SPACE E. N.Koroleva, L. A. Mustafina

Abstract. The current agenda of spatial development of Russia determines increased attention to the study of the causes of intraregional disproportions, the study of the processes of interaction of territories in the context of

“center-periphery”, identifying the possibilities of their cooperation and integration. For peripheral rural areas, which are under the weak influence of urban agglomerations, special mechanisms are needed to ensure sustainability and balance. This determines the need to identify problem areas for the development of rural areas based on an assessment of the differentiation of their social and economic development. In Samara region 7 subregions have been formed and normatively fixed, uniting 23 municipal districts of predominantly agricultural specialization. As a result of the assessment of the differentiation of the social and economic situation of the subregions by the integral indicator and by the components of economic, social and infrastructural nature, three groups of subregions were identified: with high values of the integral indicator (2.0-2.5) - highly developed (Syzran), with average values (1.5-2.0) - moderately developed (Sergievskiy, Pokhvistnevskiy and Yuzhnyy) and with low values (1.0-1.5) - poorly developed subregions (Yugo-Zapadnyy, Otradnenskiy and Neftegorskiy). The assessment of homogeneity degree for the period 2017-2022 also confirmed the presence of disproportions. It was found that they are most significant for the economic and social components: the average values of the variation coefficient were 37.5% and 34%, respectively, which exceeds the threshold value (33%); the values of the asymmetry coefficient are positive and go beyond 0.5. The excess coefficient throughout the period had values that fell outside the general population, in particular, there are shifts to negative values for the economic component, and to positive values for the social and infrastructure components. It was determined that the main limitations for the development of rural subregions were: the lack of an adequate transport network and narrow specialization of the economy. Along with large-scale infrastructure projects aimed at ensuring transport connectivity and the sphere of social services, it is necessary to develop new forms of diversification of the local economy: rural tourism, creative industries, folk crafts and family business.

Key words: subregion, rural area, regional economic space, differentiation assessment, spatial disproportions, national projects.

References

1. Minakir PA, Demyanenko AN. Ocherki po prostranstvennoy ekonomike. [Essays on spatial economics]. Edited by V.M. Polterovich. Rossiyskaya akademiya nauk, Dalnevostochnoe otdelenie, Institut ekonomicheskikh issledovaniy. Khabarovsk: IEI DVO RAN. 2014; 272 p.
2. Koroleva E, Zelepukina N. The development of polycentric agglomeration and the non-agglomeration territory in the economic space of a region. In: Samoylenko, I. (eds) Advances in Management, Business and Technological Systems. AMBT 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham. 2023; Vol.582. 132-139 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20803-4_14.
3. Mishchenko IV. [Spatial aspects of sustainable development of rural areas]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. 2012; 3. 95-102 p.
4. Copus AC. From core-periphery to polycentric development: concepts of spatial and aspatial peripherality. European Planning Studies. 2001; Vol.9. Issue 4. 539-552 p. <https://doi.org/10.1080/713666491>
5. Kalyugina SN, Mukhoryanova OA, Fursov VA. [Assessment of the asymmetry of social and economic development of municipalities at the regional level]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. 2024; Vol.26. 1. 31-44 p.
6. Kuznetsova OV. [Economic differentiation and susceptibility of municipalities in the Russian Arctic to federal preferential regimes]. Ekonomika regiona. 2024; 20(2). 462-476 p.
7. Surinov AE, Luppov AB. [Differentiation of population income and the cost of living at the subregional level. Ratings for Russia]. Ekonomicheskii zhurnal VShE. 2022; 26(4). 552-578 p.
8. Glinskiy VV, Serga LK, Alekseev MA. Territorial differentiation as the factor of sustainable economic development. Procedia Manufacturing. 2020; 43. 263-268 p. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.152>.
9. Gaynanov DA, Gataullin RF, Ataeva AG. [Methodological approach and tools for ensuring balanced spatial development of the region]. Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz. 2021; Vol.14. 2. 75-91 p.
10. Ulezko AV, Nedikov KD. [Interaction of economic entities: objectivity and principles of organization]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.13. 1(64). 134-139 p. doi: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.134.
11. Bukhvald EM, Bessonov IS. [Subregions in the spatial organization of regions of the Russian Federation]. Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk. 2024; 1. 7-27 p.
12. Tazhitdinov IA, Ataeva AG. [Methodological foundations for studying the essence and methods of organizing intraregional territorial social and economic systems]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012; 6. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7719>
13. Mustafina LA, Koroleva EN. [Substantive interpretation of the “subregion” concept in the regional economy: collection of conference papers. Law, Economics and Management: Status, Problems and Prospects]. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. (Cheboksary, 22 avg. 2024). Edited by E.V. Fomin. Cheboksary: ID “Sreda”. 2024; 54-59 p.
14. Lavrikova YuG, Suvorova AV. [Heterogeneity of economic development of Russian macroregions]. Ekonomika regiona. 2023; 4. 934-948 p.
15. Naumov IV, Nikulina NL. [Assessment of spatial heterogeneity of economic activity of business entities in municipalities of Sverdlovsk region]. Ekonomika regiona. 2022; Vol.18. issue 3. 820-836 p.
16. 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.
17. Mustafina LA, Koroleva EN. [Methodological foundations for studying spatial disproportions at the subregional level]. Vestnik akademii znaniy. 2024; 5 (64). 282-285 p.
18. Lavrikova YuG, Suvorova AV. [Optimal spatial organization of the regional economy: search for parameters and dependencies]. Ekonomika regiona. 2020; Vol.16. issue 4. 1017-1030 p.
19. Gazetdinov ShM, Gazetdinov MKh, Semicheva OS. [Rural territory as a system of interaction of economic and social processes]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 4(64). 82-87 p.
20. Smyslova OYu. [Strategic directions for improving the standard and quality of life of rural territories population of Russia]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.15. 3(74). 141-155 p.

Authors:

Koroleva Elena Nikolaevna – Doctor of Economics, Professor of Regional Economics and Management Department, e-mail: KorolevaE.N@sseu.ru

Mustafina Liliya Anfalovna – post-graduate student of Regional Economics and Management Department, e-mail: lilsadykva@rambler.ru

Samara State University of Economics, Samara, Russia.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОТРАСЛЕВОЙ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

И. Н. Сафиуллин

Реферат. Современный этап развития сельского хозяйства России характеризуется значительными изменениями в отраслевой и территориальной структуре. С начала XXI века в отраслевой структуре аграрного сектора экономики увеличилась доля науко- и фондоемких производств – птицеводства, свиноводства, овощеводства закрытого грунта. Укрепляются позиции традиционных аграрных регионов страны – Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов: если в среднем за 2001-2005 годы на них приходилось 62% от общероссийского производства сельскохозяйственной продукции, то уже за 2019-2023 годы – более 70%. В Республике Татарстан, который является одним из ведущих аграрных регионов страны, за рассматриваемые периоды существенно снизилась в региональном производстве доля хозяйств населения (44,7 и 36,7% соответственно в среднем 2001-2005 годы и 2019-2023 годы), при значительном росте вклада крестьянских (фермерских) хозяйств (3,3 и 10,6% соответственно), а позиции сельскохозяйственных организаций остались практически неизменными. В отраслевой структуре более чем по 5 процентных пункта потеряли зерно и картофель при пропорциональном увеличении молока и продукции выращивания животноводства, также увеличились доли технических и плодово-ягодных культур. Основными тенденциями изменения размещения производства по природно-экономическим зонам республики стали усиление сосредоточения производства мяса птицы, яиц, свинины и картофеля в пригородных зонах, в производстве молока лидируют хозяйства Предкамской зоны, где сильно развито племенное скотоводство и довольно высокая плотность сельского населения для обеспечения кадрами. Основными факторами, определившими трансформацию отраслевой и территориальной структуры сельского хозяйства республики, выступили: концентрация производства в зонах с развитой инфраструктурой и близостью к рынкам сбыта; развитие отраслей с индустриальным типом; уровень доходности продукции и наличие каналов сбыта продукции; внедрение интенсивных технологий; автоматизация и специализация крупных животноводческих комплексов; миграция сельского населения в города; изменение потребительских предпочтений и др.

Ключевые слова: сельское хозяйство, категории хозяйств, отраслевая структура, размещение производства, Республика Татарстан.

Введение. Усиление и адресность государственной поддержки, принятие и реализация нормативно-правовых документов регулирования развития сельского хозяйства, повышение инвестиционной активности способствовали не только значительному росту самообеспечения продовольствием, но и существенно увеличить объемы и расширить ассортимент экспортной продукции АПК России.

Структурные сдвиги в аграрном секторе экономики России обусловлены взаимодействием нескольких групп факторов.

Поскольку земля в сельском хозяйстве выступают главным фактором производства, необходимо в хозяйственной практике учитывать её особенности при наиболее полном использовании действующего плодородия почв, реализовать меры по сохранению и повышению продуктивности сельскохозяйственных угодий [1, 2, 3]. Немаловажной задачей субъектов сельскохозяйственного производства и контролирующих органов является сохранению экосистем, соблюдение требований экологической безопасности [4, 5], которые приобрели особую актуальность в последние два десятилетия в связи развитием сельского хозяйства индустриального типа. Ввод в эксплуатацию значительных мощностей в птицеводстве, свиноводстве, молочном скотоводстве предопределяют рост мероприятий по химической обработке помещений [6] и разработку мероприятий по утилизации органических

отходов [7]. Отмеченные обстоятельства в определенной мере выступают как ограничивающие факторы для развития тех или иных отраслей и производств.

В некоторых сегментах агропродовольственного рынка наблюдается перенасыщенность внутреннего производства, что требует реализации мероприятий по переходу на производство другой продукции или по ориентации на экспорт, особенно ярко это проявляется на зерновом рынке России [8, 9, 10].

Внедрение элементов точного земледелия, автоматизированных животноводческих комплексов, цифровых платформ позволили с одной стороны в значительной мере повысить уровень производительности труда [11, 12], с другой – ощущается нехватка квалифицированных кадров [13].

Вместе с тем, как признают многие учёные-экономисты, развитие агропромышленного комплекса в целом, сельского хозяйства в частности, не возможно без обеспечения соответствующей государственной поддержки, направления и размеры которой в значительной мере влияют на трансформацию отраслевой и территориальной структуры сельского хозяйства [14, 15].

Целью исследования является оценка влияния факторов на трансформацию отраслевой и территориальной структуры сельского хозяйства Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. В ходе исследования были использованы труды отечественных учёных-экономистов по вопросам развития сельского хозяйства России и ее регионов, влияния различных факторов на отраслевую и территориальную структуру аграрного сектора. Информационной базой послужили статистическая информация Госкомстата РФ и его территориальных органов, материалы профильных министерств и ведомств, результаты собственных исследований [9, 13] и наблюдений. В качестве базисного периода использованы показатели в среднем за 2001-2005 годы, поскольку по мнению многих учёных начало современного этапа развития сельского хозяйства России приходится именно в этот период, отчетного – 2019-2023 годы. В процессе сбора и обработки массовых данных применялись различные методы и их приёмы (статистический, экономические группировки, монографический, балансовый и другие).

Результаты и обсуждение. Основной вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны вносят хозяйства Центрального, Приволжского и Южного федерального округов, в которых в среднем за 2019-2023 годы было произведено 70,3% продукции сельского хозяйства в стоимостной оценке от общероссийского уровня, тогда как за 2001-

2005 годы этот показатель составлял лишь 61,9%. За рассматриваемые периоды наиболее впечатляющий прирост зафиксирован в Центральном федеральном округе – с 21,5 до 28,4% от общероссийского производства, что объясняется преимущественно развитием свиноводства и мясного птицеводства в сельскохозяйственных организациях: увеличение объемов производства в 6,9 и 6,0 раза соответственно. Тенденции увеличения продукции вышеуказанных отраслей наблюдается и во многих других регионах страны, но их темпы существенно ниже. В результате происшедших изменений в отраслевой структуре сельского хозяйства России значительно увеличилась доля животноводческих отраслей.

Республика Татарстан – один из лидеров по объемам производства сельскохозяйственной продукции в стране, доля которой за последние годы колеблется в пределах 3,5-4,0% от общероссийского уровня притом, что располагает менее 3% сельхозугодий.

Общероссийские тенденции, характер их проявления в регионе, а также особенности развития сельского хозяйства, предопределили значительные структурные сдвиги в распределении продукции аграрного сектора по категориям хозяйств (рис.1).

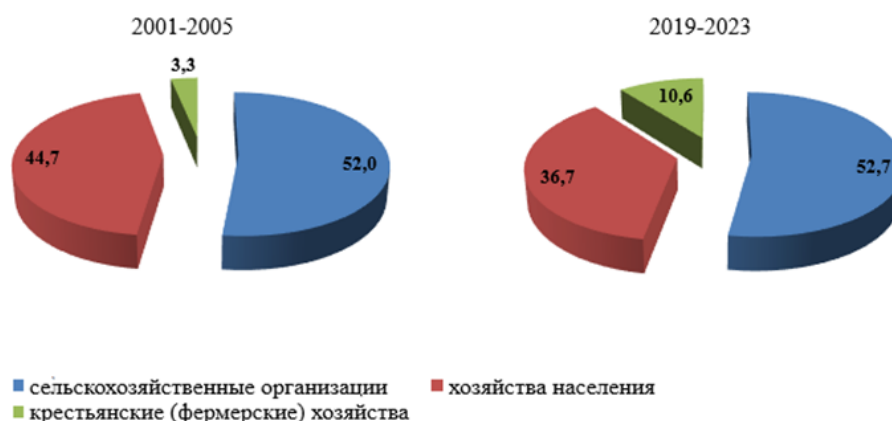


Рис. 1 – Продукция сельского хозяйства Республики Татарстан по категориям хозяйств, %

Источник: рассчитаны автором на основе данных Татарстанстата

В течение анализируемого периода сельскохозяйственным организациям удалось сохранить позиции и на долю которых приходится более 50% от всей производимой продукции аграрного сектора в регионе, что обеспечивалось за счет развития предприятий индустриального типа в птицеводстве, свиноводстве, молочном скотоводстве и овощеводстве закрытого грунта, а также расширения посевов масличных культур, поскольку в большинстве других отраслей отмечается уменьшение объемов производства. Развитию сельскохозяйственных организаций и увеличению объемов производства в вышеуказанных отраслях способствовало существенное рост объемов государственной поддержки, значительный прирост инвестиций в аграрный сектор

со стороны финансово-промышленных групп, технологическая модернизация и внедрение элементов цифровизации сельскохозяйственного производства и др.

На 8,0 процентных пункта снизилась доля хозяйств населения в валовой сельскохозяйственной продукции республики, что стало следствием уменьшения производства в отчетном периоде по сравнению с базисным: картофеля – на 29,1%, овощей – на 18,0%, продукции выращивания в живом весе – на 12,9%, молока – на 4,3%. На сложившуюся повлияли такие факторы, как: старение трудоспособного сельского населения; отток молодежи в города и крупные промышленные центры; низкие закупочные цены на продукцию личных подворий, особенно на молоко и др.

Более чем в три раза увеличилась доля крестьянских (фермерских) хозяйств в общем региональном производстве продуктов сельского хозяйства, что объясняется значительным увеличением объемов основных видов продукции: зерна – 2,9 раза, сахарной свеклы – 5,7 раза, овощей – 25,8 раза, молока – 4,4 раза. В результате произошедших изменений в отчетном периоде на фермерские хозяйства приходится почти четверть производимого зерна в республике, 13,1% сахарной свеклы, 9,6% овощей, 9,4% молока. Вместе с тем остается констатировать, что у большинства

крестьянских (фермерских) хозяйств ограничен доступ к современным технологиям вследствие их дороговизны и незначительных размеров самих хозяйств, к примеру, в расчете на одно К(Ф)Х в республике приходится чуть более 100 га сельскохозяйственных угодий.

Вышеуказанные обстоятельства повлияли и на отраслевую структуру сельского хозяйства Республики Татарстан: если в базисном периоде на долю продуктов растениеводства приходилось 55,7%, то в 2019-2023 годах – лишь 47,1% (рис. 2).

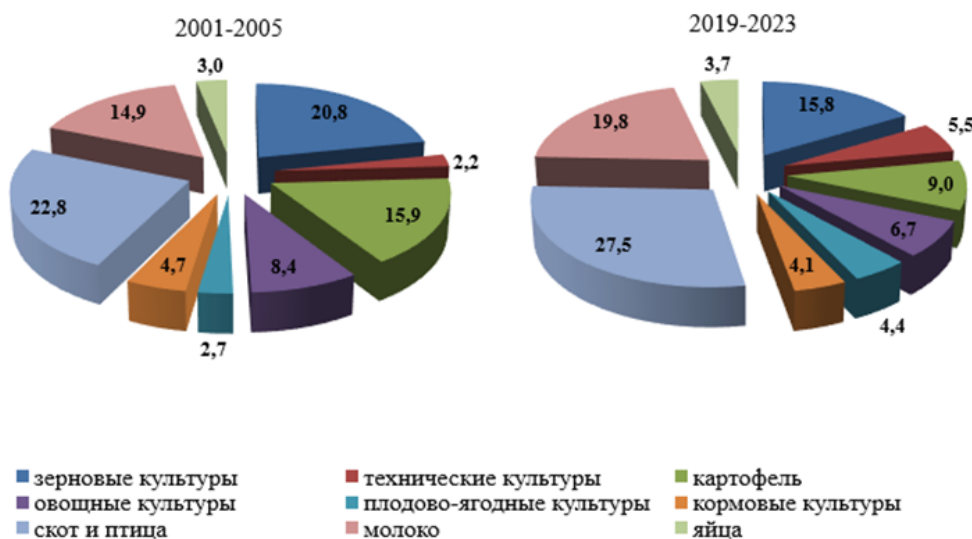


Рис. 2 – Отраслевая структура сельского хозяйства Республики Татарстан, %

Источник: рассчитаны автором на основе данных Татарстанстата

За рассматриваемые периоды значительно снизилась доля зерновых культур в отраслевой структуре сельского хозяйства Республики Татарстан – на 5 процентных пункта, что объясняется как сокращением посевов и снижением урожайности, так и значительными темпами развития других производств (продукция птицеводства, семена масличных культур). В течение анализируемого периода в Республики Татарстан значительно увеличились площади под техническими культурами – с 107,7 тыс. га в среднем за 2001-2005 годы против 398,7 тыс. га в 2019-2023 годах, то есть в 3,7 раза, что объясняется расширением площадей под масличными культурами – подсолнечником и рапсом вследствие ввода в эксплуатацию в 2007 году Казанского маслоэкстракционного завода, который обеспечил аграриям региона рынок сбыта продукции. Еще более значительно сократился удельный вес картофеля и овощей вследствие резкого сокращения их посадки в сельскохозяйственных организациях и хозяйствах населения, поскольку урожайность в отчетном периоде значительно выше, чем в базисном. Обращает на себя внимание увеличение доли плодово-ягодных культур более чем в 1,6 раза, что стало следствием развития садоводства в крестьянских

(фермерских) хозяйствах, в том числе за счет реализации грантовых программ.

Почти по 5 процентных пунктов увеличились доли молочной и мясной продукции животноводства, что объясняется с одной стороны большими темпами роста размеров инвестиций по сравнению с растениеводческими отраслями, а с другой – переход на индустриальный тип развития в птицеводстве и свиноводстве.

Как известно, отраслевая структура сельского хозяйства региона во многом предопределяется территориальной специализацией. В Республике Татарстан выделены шесть природно-экономических зон: Казанская пригородная, Нижнекамская пригородная, Юго-восточная, Закамская, Предкамская и Предволжская, которые характеризуются определенными условиями и факторами развития сельского хозяйства, главным среди которых выступает сосредоточение городского населения – на первые три зоны приходится 80% городского населения региона. Территориальное разделение производства продукции сельского хозяйства Республики Татарстан за последние два десятилетия претерпела существенные изменения (табл.).

Таблица – Размещение производства основных видов продукции сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий по природно-экономическим зонам Республики Татарстан, тыс.т

Виды продукции	Годы	Казанская пригородная	Нижекамская пригородная	Юго-восточная	Закамская	Предкамская	Предволжская	Республика Татарстан
Зерно	2001-2005	627,2	1067,9	622,1	1049,9	626,9	605,4	4599,4
	2019-2023	519,5	1010,7	439,3	901,5	591,5	645,3	4107,8
Картофель	2001-2005	311,6	255,3	144,7	179,7	368,5	173,0	1432,9
	2019-2023	221,3	257,7	128,4	144,5	127,4	94,2	973,4
Скот и птица	2001-2005	52,8	71,6	34,1	54,2	43,2	35,2	291,0
	2019-2023	103,2	237,8	23,4	42,3	64,7	53,0	524,5
Молоко	2001-2005	283,6	304,7	194,8	267,1	272,7	167,2	1490,1
	2019-2023	359,3	370,1	184,4	334,7	555,2	202,0	2005,6
Яйца, млн.шт.	2001-2005	371,4	261,4	109,4	123,6	55,9	44,2	965,9
	2019-2023	1064,0	178,8	97,9	59,0	54,2	59,4	1513,3

Источник: рассчитаны автором на основе данных Татарстанстата

За рассматриваемый период общий объем производства зерна в хозяйствах всех категорий уменьшился на 10,7%, что стало следствием как сокращения посевов зерновых культур 2,6% – с 1556,9 тыс. га в среднем 2001-2005 годах до 1516,0 тыс. га в 2019-2023 годах, так и снижением урожайности на 8,1% – с 29,5 до 27,1 ц с 1 га. Наиболее значительное сокращение произошло в Юго-восточной (на 29,4%) и Закамской зонах (на 14,1%), тогда как Предволжская зона увеличила производство на 6,6%, что было обеспечено расширением посевов зерновых культур на 11,4 тыс. га или 5,6%, поскольку урожайность осталась практически на одном и том же уровне – 29,6 и 29,9 ц с 1 га соответственно. Вместе с тем рост объемов производства зерна в Предволжской природно-экономической зоне обеспечили аграрии лишь Тетюшского района, где за рассматриваемый период они увеличились более чем в 1,5 раза. Следует отметить, что рост объемов производства зерна наблюдался лишь 8 из 43 муниципальных районов региона. Нижнекамская пригородная зона укрепила свои позиции в территориальном производстве зерна в регионе (23,2 и 24,6% соответственно), тогда как доля Юго-восточной зоны снизилась до 10,7% (в 2001-2005 годах было 13,5%).

Еще большими темпами уменьшилось производство картофеля в хозяйствах всех категорий региона – на 32,1%, поскольку посевные площади культуры сократились на 61,1 тыс. га или на 58,0% (только в Елабужском районе (Нижнекамская пригородная зона) имела тенденция расширения посевов), несмотря на рост урожайности с 136,1 до 209,3 ц с 1 га. Наиболее резкое уменьшение наблюдается в Предкамской (на 65,4%) и Предволжской зонах (на 45,5%): если в первом случае сложившаяся ситуация объясняется преимущественно сокращением посевов в сельскохозяйственных организациях, то во втором – в хозяйствах населения. Исключением является Нижнекамская пригородная зона, где производство

осталось практически на прежнем уровне (+0,9%). В 2001-2005 годах более четверти картофеля производилась в хозяйствах Предкамской зоны, тогда как в 2019-2023 годах – лишь 13,1%, в то время как значительно укрепили свои позиции хозяйства Казанской (с 21,7 до 22,7%) и Нижнекамской пригородных (с 17,8 до 26,5%) и Юго-восточной зон (с 10,1 до 13,2%). Следует отметить, что именно в этих трех зонах расположены 8 первых по ранжиру городов Татарстана по численности населения, в которых проживает 61% населения региона.

Как было отмечено ранее, площади технических культур в Республике Татарстан увеличились в 3,7 раза, а наиболее значительный прирост их площади прослеживается в Юго-восточной (в 5,5 раза) и Закамской природно-экономических зонах (в 4,7 раза), тогда как в Предволжской и Предкамской зонах они увеличились лишь в 2,1 и 3,0 раза.

Площади посева кормовых культур уменьшились во всех природно-экономических зонах республики, кроме Предкамской, где расширение посевов составило 16,6 тыс. га или 10,3%, что обусловлено скотоводческой специализацией большинства хозяйств зоны.

Производство продукции выращивания скота и птицы в живом весе демонстрирует впечатляющий рост на 80,2%, что преимущественно обеспечивалось значительным увеличением показателей в мясном птицеводстве. Однако пространственное распределение этого роста крайне неравномерно. Нижнекамская пригородная зона увеличила производство в 3,3 раза, Казанская пригородная – в 2,0 раза, в которых расположены крупнейшие птицефабрики региона по производству мясной продукции – ООО «Челны-Бройлер», АО «Птицефабрика «Казанская», ООО «Птицеводческий комплекс «Ак Барс». Увеличению доли Нижнекамской пригородной зоны в мясном секторе республики способствовало увеличение поголовья свиней в 1,5 раза, которое в основном сосредоточено в ООО

«Камский бекон» (Тукаевский район), тогда как в целом по Татарстану убыль поголовья составил 36%. В то же время Юго-восточная зона сократила производство на 31,4%, а Закамская – на 22,0%. Следует отметить, что до 2006 года свиней выращивали в сельскохозяйственных организациях всех 43 районов, тогда как в настоящее время – только в 5, массовый отказ от развития отрасли произошел после вступления России в ВТО, поскольку типичные хозяйства стали неконкурентоспособными по ценовому критерию из-за резкого снижения пошлин на ввозимую свинину.

Татарстан, являясь лидером по объемам производства молока в России, за анализируемый период показывал рост более чем на треть. Наибольший прирост наблюдается в Предкамской зоне (в 2 раза), в Закамской, Казанской и Нижнекамской пригородных зонах увеличили производство в пределах 21,5-26,7% и 21,5% соответственно. Юго-восточная зона является единственной, где произошло сокращение производства молока на 5,3%, что отражает общую тенденцию снижения значимости животноводства в этой зоне. Более чем в два раза валовой надой увеличился в хозяйствах 6 районов республики: Актинский (Казанская пригородная), Балтасинский, Кукморский и Сабинский (все – Предкамская), Актанышский (Нижнекамская пригородная), Альшеевский (Закамская), в то же время в Лаишевском районе, входящем в Казанскую пригородную зону, объемы производства уменьшились наполовину.

Более чем в 1,5 раза увеличилось производство яиц. При этом произошло значительное изменение размещения производства: если в 2001-2005 годах лидером была Казанская пригородная зона (38,5% республиканского производства), то в 2019-2023 годах ее доля увеличилась до 70,3%, в основном за счет резкого роста в Лаишевском районе, на который приходится около 2/3 в региональном разделении производства, за счет двух крупных птицефабрик – Яратель (АО «Холдинговая компания «Ак Барс») и Державинская (ООО «Комос групп»). Все остальные зоны сократили абсолютные объемы производства, особенно значительно – Нижнекамская пригородная (на 31,6%) и Закамская (на 52,3%). Проведенные исследования свидетельствуют о высокой концентрации птицеводства вблизи столицы республики.

Выявленные изменения в отраслевой и

территориальной структуре сельского хозяйства Республики Татарстан обусловлены следующими основными группами взаимосвязанных факторов:

1. Экономические: концентрация производства в зонах с развитой инфраструктурой и близостью к рынкам сбыта, особенно отраслей с индустриальным типом развития (птицеводство, свиноводство); инвестиционная привлекательность территорий (пригородные зоны); более высокий уровень доходности и каналы сбыта продукции (производство масличных культур); государственная поддержка приоритетных отраслей аграрного сектора.

2. Технологические: внедрение интенсивных технологий в пригородных зонах; автоматизация и специализация крупных животноводческих комплексов (птицеводство, свиноводство и молочное скотоводство).

3. Социальные: миграция сельского населения в города; плотность сельского населения и исторически сложившаяся специализация территорий, особенно в молочном скотоводстве; доступность трудовых ресурсов вблизи городских агломераций; изменение потребительских предпочтений, особенно мясного рациона в силу доступности мяса птицы и свинины.

Выводы. Совокупное влияние экономических, технологических, социальных и других факторов существенным образом сказалось на организационной, отраслевой и территориальной структурах аграрного сектора экономики Республики Татарстан. По сравнению с показателями в среднем за 2001-2005 годы к 2019-2023 годам при сохранении позиций сельскохозяйственных организаций в общем объеме производства продукции отрасли существенно снизилась доля хозяйств населения, долю которых заняли крестьянские (фермерские) хозяйства. В отраслевой структуре сельского хозяйства региона значительно снизилась доля растениеводства вследствие более высоких темпов в птицеводстве, свиноводстве и молочном скотоводстве. Оценка динамики размещения производства по природно-экономическим зонам республики свидетельствует об увеличении производства продукции птицеводства и свиноводства, а также картофеля в пригородных зонах, тогда как производство молока большими темпами увеличивалось в хозяйствах районов, где сильно развито племенное скотоводство, довольно высокая плотность сельского населения.

Литература

1. Лукьянова М. Т., Залилова З. А. Методические подходы к комплексной экономической оценке эффективности кормопроизводства в регионе // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. №1. С. 51-56.
2. К вопросу развития и экономической эффективности мелиоративной отрасли Республики Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин, и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2(70). С. 199-205.
3. Повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения на основе совершенствования правового механизма (на примере республики Татарстан) / И. Г. Гайнутдинов, М. М. Хисматуллин, Н. М. Асадуллин, и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 1(69). С. 102-111.
4. Гулянов Ю. А., Чибилёв А. А., Левыкин С. В. Новационные подходы к снижению природозатратности

в высокопродуктивных агротехнологиях степной зоны России // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 6-16.

5. Ганиева И. А., Котеев С. В. Основные направления научно-технической деятельности в области экологического развития и климатических изменений в региональном АПК и условия их успешной реализации // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, №12. С. 74-78.

6. Study of vortex pneumatic sprayer for liquid disinfection / B. L. Ivanov, B. G. Ziganshin, A. V. Dmitriev, et al. // BIO Web of Conferences : International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». Volume 52, Kazan, 26-28 мая 2022 года. Kazan: EDP Sciences, 2022. P. 00086.

7. The use of the Mephosphon drug to accelerate the process of biogas output and ripening of organic wastes / Z. Khaliullina, Yu. Shogenov, I. Gayfullin, et al. // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2020), Kazan, 28-30 мая 2020 года. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00127.

8. Горянин О. И., Мадьякин Е. В. Урожайность и качество зерна новых сортов яровой пшеницы в Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 26-32.

9. Особенности ценообразования на рынке зерна / Э. Ф. Амирова, И. Н. Сафиуллин, Е. В. Губанова, М. М. Ханнанов // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 163-167.

10. 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.

11. Technical and Economic Assessment of Local Power Supply Systems for Agro-Industrial Production in the Digital Economy / V. T. Vodyannikov, E. V. Khudyakova, M. M. Nizamutdinov, et al. // International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2021) : Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources, Kazan, 28-29 мая 2021 года. Vol. 37. Kazan: EDP Sciences, 2021. P. 00132.

12. Буяров А.В., Буяров В.С. Животноводство и птицеводство России: состояние, тенденции и перспективы развития в современных экономических условиях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 4(75). С. 108-123.

13. Состояние и направления улучшения использования трудовых ресурсов сельского хозяйства региона / Г. П. Захарова, И. Н. Сафиуллин, Э. Ф. Амирова, и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 1(69). С. 112-118.

14. 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.

15. Особенности развития регионального сельского хозяйства в современных условиях / Ф. Н. Мухаметгалиев, А. Р. Валиев, Ф. Н. Авхадиев, и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3(67). С. 144-153.

Сведения об авторе:

Сафиуллин Ильнур Наилевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства, e-mail: sin.ek.09@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

TRANSFORMATION OF THE INDUSTRIAL AND TERRITORIAL STRUCTURE OF AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

I. N. Safiullin

Abstract. The current stage of agriculture development in Russia is characterized by significant changes in the industrial and territorial structure. Since the beginning of the 21st century, the share of science- and capital-intensive industries - poultry farming, pig farming, greenhouse vegetable growing - has increased in the industrial structure of agricultural sector of the economy. The positions of the traditional agricultural regions of the country - the Central, Volga and Southern federal districts - are strengthening: if on average in 2001-2005 they accounted for 62% of the total Russian agricultural production, then already in 2019-2023 - more than 70%. In the Republic of Tatarstan, which is one of the leading agricultural regions of the country, the share of households in regional production has significantly decreased over the periods under review (44.7 and 36.7%, respectively, on average in 2001-2005 and 2019-2023), with a significant increase in the contribution of peasant (farm) households (3.3 and 10.6%, respectively), and the positions of agricultural organizations remained virtually unchanged. In the industry structure, grain and potatoes lost more than 5 percentage points each with a proportional increase in milk and livestock products; the shares of industrial and fruit and berry crops also increased. The main trends in changing the location of production by natural and economic zones of the Republic were the increased concentration of poultry, eggs, pork and potato production in suburban areas; farms in Kama zone are leading in milk production, where pedigree cattle breeding is highly developed and the rural population density is quite high to provide personnel. The main factors that determined the transformation of the sectoral and territorial structure of agriculture in the Republic were: concentration of production in areas with developed infrastructure and proximity to sales markets; development of industries with an industrial type; level of profitability of products and availability of sales channels; introduction of intensive technologies; automation and specialization of large livestock complexes; migration of the rural population to cities; change in consumer preferences, etc.

Key words: agriculture, categories of farms, sectoral structure, location of production, Republic of Tatarstan.

References

1. Lukyanova MT, Zalilova ZA. [Methodological approaches to a comprehensive economic assessment of forage production efficiency in the region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 1. 51-56 p.

2. Khismatullin MM, Valiev AR, Khismatullin MM. [On the issue of development and economic efficiency of the melioration industry of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 199-205 p.

3. Gaynutdinov IG, Khismatullin MM, Asadullin NM. [Increasing the efficiency of agricultural land use based on

improving the legal mechanism (on the example of the Republic of Tatarstan)]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 102-111 p.

4. Gulyanov YuA, Chibilev AA, Levykin SV. [Innovative approaches to reducing environmental costs in highly productive agricultural technologies of the steppe zone of Russia]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 4 (68). 6-16 p.

5. Ganieva IA, Koteev SV. [The main directions of scientific and technical activity in the field of environmental development and climate change in the regional agro-industrial complex and the conditions for their successful implementation]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol.36. 12. 74-78 p.

6. Ivanov BL, Ziganshin BG, Dmitriev AV. Study of vortex pneumatic sprayer for liquid disinfection. BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources". Volume 52, Kazan, 26-28 maya 2022 goda. Kazan: EDP Sciences. 2022; 00086 p.

7. Khaliullina Z, Shogenov Yu, Gayfullin I. The use of the Mephosphon drug to accelerate the process of biogas output and ripening of organic wastes. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2020). Kazan, 28-30 maya 2020 goda. EDP Sciences: EDP Sciences. 2020; 00127 p.

8. Goryanin OI, Madyakin EV. [Productivity and grain quality of new varieties of spring wheat in Volga region]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 3 (63). 26-32 p.

9. Amirova EF, Safiullin IN, Gubanova EV, Khannanov MM. [Features of pricing in the grain market]. Agrarnaya nauka. 2023; 7. 163-167 p.

10. Gasparyan SV, Makarova OV, Zhidkov SA. [Assessment of the export potential of grain supplies of Russian agro-industrial complex to the world market]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 3(82). 222-228 p.

11. Vodyannikov VT, Khudyakova EV, Nizamutdinov MM. Technical and economic assessment of local power supply systems for agro-industrial production in the digital economy. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2021): Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources, Kazan, 28-29 maya 2021 goda. Vol.37. Kazan: EDP Sciences. 2021; 00132 p.

12. Buyarov AV, Buyarov VS. [Livestock and poultry farming in Russia: status, trends and development prospects in modern economic conditions]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.15. 4(75). 108-123 p.

13. Zakharova GP, Safiullin IN, Amirova EF. [Status and directions for improving the use of labor resources in regional agriculture]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 112-118 p.

14. 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.

15. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Avkhadiev FN. [Features of regional agriculture development in modern conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 3(67). 144-153 p.

Author:

Safiullin Ilnur Nailevich – Ph.D. of Economics, Associate Professor of Department of Economics and Organization of Production, e-mail: sin.ek.09@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ САНКЦИЙ НА СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ВЫЯВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ АДАПТАЦИИ

Л. Ф. Ситдикова

Реферат. Экономические санкции, введенные в отношении России со стороны недружественных стран носят системный, эскалационный характер и направлены на ослабление экономической устойчивости страны путем ограничения доступа к критическим технологиям, финансовым ресурсам, сокращения доходов от экспорта и подрыва продовольственной безопасности через ограничения на поставки сельскохозяйственной техники, семян, ветеринарных препаратов. Опыт стран, находящихся длительное время под санкциями, показывает, что санкции оказывают существенное негативное воздействие на экономику в целом, приводят к замедлению экономического роста, особенно на агропромышленный комплекс и продовольственную безопасность. Санкционная политика против российской экономики ведется в течение последних десяти лет. В настоящее время действуют более 2000 санкций, введенные в период 2014-2021 годов и более 14000 введенные с 2022 года. В ответ на это Россия ввела свои контрсанкции в виде эмбарго на импорт отдельных видов сельхозпродукции из стран, объявивших экономические санкции. В связи с этим особую актуальность представляет изучение влияния санкций на развитие сельского хозяйства России. Предприятия отечественного агропродовольственного комплекса показали способность быстро адаптироваться к воздействию санкционного давления и смогли заполнить своей продукцией освободившиеся ниши на рынке. Сравнение показателей 2013 и 2023 годов показывает, что валовой сбор зерновых увеличился на 54,8%, сахарной свеклы – 35,4%, масличных культур – 126,5%, картофеля – 59,3, плодовоовощной продукции – 70,4%, плодов и ягод – 171,4%, производство молока увеличилось на 13,1%, мяса КРС – 35,5%, свиней – 68,3%, птицы – 35,4%. В целом АПК России добился увеличения объема производства сельхозпродукции на 33,2%, а продуктов питания – на 43%, за счет чего по большинству видов продовольственных товаров достигнуты или значительно превышают пороговые значения показателей продовольственной независимости, установленные Доктриной продовольственной безопасности РФ (утверждена Указом Президента РФ от 21 января 2020 года №20). При этом общая рентабельность аграрного бизнеса остается на достаточно высоком уровне и имеет тренд роста со среднегодовыми темпами 1,24%, экспорт продукции увеличился с 17,1 до 43,1 млрд долл. Аграрный сектор обладает способностью адаптироваться к новым условиям, за короткий срок может восстанавливаться от последствий внешних факторов, наращивая свой производственно-экономический потенциал. Санкции являются болезненным, но не всегда фатальным фактором, положительные результаты развития в основном определяются эффективностью принятия организационно-экономических мер по реализации внутренних резервов.

Ключевые слова: санкции, сельское хозяйство, продовольственная безопасность, адаптация, рентабельность, экспорт, самообеспечение, экономический рост.

Введение. В современном мире санкции используются как инструмент достижения политических целей для максимального ослабления экономики подсанкционной страны, чтобы заставить руководство государства поменять свой политический, социально-экономический курс. В то же время они могут иметь непредвиденные и крайне негативные последствия для продовольственной безопасности в глобальном масштабе, усугубляя существующие проблемы голода и недоедания, особенно в странах с уязвимой экономикой и слабой системой социальной защиты. Необходимо отметить, что санкции против России не предусматривают прямых запретов на поставки продовольствия, поскольку продукты питания и сельскохозяйственная продукция исключены из санкционных списков недружественных стран. На объем и оборот сельскохозяйственной продукции и средства их производства, в первую очередь, влияют сложности, возникающие в сфере финансовых транзакций и торговообменных операций. Результатом действия санкций становятся не только нехватка продуктов питания на внутренних

рынках, но и предметов первой необходимости [1]. Сбои в торговообменных операциях создают цепную реакцию, затрагивая не только продовольственную безопасность, но и обеспечение населения критически важными непродовольственными товарами, необходимыми для приготовления пищи, медикаментами, санитарно-гигиеническими средствами и другими важными вещами.

Важными условиями оптимального экономического развития страны на сегодняшний день являются открытые границы, международное сотрудничество и доступность иностранных инвестиций. Разумное использование имеющихся в государстве ресурсов при правильно вложенном капитале позволяет добиться максимизации дохода, что, в свою очередь, влечет за собой стабилизацию цен и достаточного объема продовольственных товаров на внутреннем рынке [2,3].

Наиболее распространённые последствия введённых в действие санкций выражаются в следующих обстоятельствах. Во-первых, нарушаются сложившиеся производственные цепочки в сельском хозяйстве в результате

наложения ограничений на импорт оборудования, удобрений, семян и других необходимых ресурсов, которые отражаются на сокращении объемов производства продовольствия и снижении производительности труда. Во-вторых, девальвация национальной валюты, вызванная санкциями, увеличивает стоимость импортных средств производства и продовольствия, приводит к росту цен на продовольственные товары, делает их менее доступными для населения, особенно для социально незащищенных групп. В-третьих, санкции затрудняют экспорт сельскохозяйственной продукции, ограничивают доступ к международным продовольственным рынкам, лишают бюджет страны валютных поступлений, негативно отражаются на доходах и финансовой устойчивости субъектов аграрного бизнеса. В-четвертых, создаются неопределенность и риски в процессе выстраивания торговых операций с партнерами, которые становятся одним из причин нарушения производственно-экономических отношений, стабильности поставок материально-технических, технологических ресурсов [4,5]. На текущий момент в научной литературе отсутствуют методики количественной оценки влияния санкций именно на сельскохозяйственную отрасль, что подтверждается работами ведущих экспертов, как А.В. Петриков, Е. А. Гатаулина, А. А. Потапова [1,6]. Данное исследование предлагает новый подход к анализу данной проблемы путем проведения анализа изменений общих тенденций развития отрасли под воздействием всего комплекса введенных ограничений. Измерение влияния только отдельно взятых санкций невозможно ввиду многофакторности сельскохозяйственного производства и отсутствия соответствующей статистики. Анализ динамики основных показателей за 2014-2023 годы позволяет выявить уровень достижения декларируемых целей санкционного давления по дестабилизации экономики страны, отдельных отраслей производства и дать оценку эффективности принятых государством мер по обеспечению продовольственной безопасности. В связи с этим возникает объективная необходимость выявления степени воздействия санкций на развитие сельского хозяйства и поиска механизмов преодоления их последствий.

Целью исследования является комплексная оценка влияния экономических санкций на тенденции развития сельского хозяйства, выявление направлений, способствующих адаптации и росту сельского хозяйства в условиях санкционного давления.

Условия, материалы и методы. В ходе исследования использовались абстрактно-логический, экономико-статистический и монографический методы, основные положения ситуационного и структурного анализа, труды современных отечественных и зарубежных ученых по проблемам развития сельского хозяйства в условиях санкционного давления.

При анализе условий развития было проведено сравнение результатов развития зарубежных стран, находящиеся под санкциями в продолжительное время, и российского аграрного сектора за период антироссийских санкций с 2014 по 2023 годы. Проведен анализ изменения основных параметров развития сельского хозяйства в динамике за период действующих санкций с целью определения уровня воздействия их на устойчивость роста основных производственно-экономических показателей.

Результаты и обсуждение. Основная цель введения экономических санкций заключается в нанесении ущерба экономике страны, лишая её доступа к ресурсам, рынкам и технологиям, ослабить позиции государства на международной арене и заставить руководство государства пойти на уступки. Особое место занимают санкции против агропромышленного комплекса, направленные на создание дефицита и ограничение продовольственного обеспечения, которые могут служить причиной социального недовольства населения и политической нестабильности в стране. В настоящее время под санкционным давлением находятся несколько стран, вынужденные на протяжении длительного времени жить в условиях внешней изоляции, изучение опыта которых и сопоставление их результатов является весьма ценным для определения перспективных направлений развития отечественного агропродовольственного комплекса. Одним из таких государств является Иран, как одна из самых санкционированных стран мира, против которого было введено множество пакетов санкций со стороны США, ЕС и ООН, и который вынужден выживать в этих условиях с 1979 года по сей день. Для Ирана практически стали недоступны сельскохозяйственные технологии и средства производства, каналы их получения из более развитых стран были максимально ограничены. Результаты длительного воздействия санкций привели к существенному снижению уровня обеспеченности населения продуктами питания. В конечном счете количество людей, страдающих от недоедания к концу 2022 года достигло 6,1 млн. человек, что составляет 5,3 % от общего числа населения, в зоне продовольственной небезопасности оказалось более 40,8% населения Ирана [7].

В Сирии также отмечается ухудшение ситуации в сельском хозяйстве. Плачевное положение в сельском хозяйстве Сирии обусловлено постоянным расширением пакета санкций, введенных против этой страны, начиная с 1979 года после признания США ее страной-спонсором терроризма. На сегодняшний день доступ Сирии к важным компонентам агропромышленного комплекса, обеспечивающим стабильный его рост и развитие весьма ограничен. В стране сложилась ситуация продовольственной небезопасности, нехватки основных продуктов питания. Численность недоедающих людей в 2021 году достигла

5,9 млн человек, что составляет 25% населения страны [7].

В качестве стран, живущих в условиях санкций, также можно рассмотреть пример Венесуэлы. Против этой страны санкции начали вводиться с 2007 года и к 2023 году их число достигло 651. Санкции привели к резкому падению цен на нефть в 2014-2016 годах, ограничивая финансовые ресурсы для развития всех отраслей экономики. Несмотря на то, что правительство пыталось жестко контролировать конъюнктуру рынка для избегания экономического кризиса, их цель не была достигнута. В 2018-2019 годах наблюдался самый высокий уровень угрозы продовольственной безопасности, когда зависимость от импорта зерновых выросла до 66%. Длительное действие санкционного режима после 2014 года привело к увеличению числа недоедающих жителей в 2023 году до 6,8 млн чел. или 22% населения страны [7]. Однако, экономика Венесуэлы потихоньку адаптируется к существующим условиям, но положение сельского хозяйства все еще остается тяжелым, что отражается в недостатке важнейших ресурсов производства, таких как посевной материал, запчастей, удобрений. За период 2014-2020 годов использование азотных удобрений упало с 300 тыс. т. до 140 тыс. т., фосфорных с 380 до 230, калийных 510 до 305. Низкие темпы роста объемов сельскохозяйственной продукции и дороговизна средств производства провоцируют снижение экономической доступности продовольствия. В 2022 году среднемесячный доход населения страны в размере 118,4 долл. США обеспечивал всего лишь 25,7% стоимости нормативной продовольственной корзины, что отрицательно влияет на оборачиваемость капитала в этой отрасли. Примерно в такой же ситуации оказались такие страны как Куба и КНДР. Куба находится под санкциями с 1961 года и по данным Кубинского Национального института экономических исследований за 1962-2017 годы ущерб от санкций составил 130 млрд долл. США [6]. В настоящее время Куба остается сильно зависимой от импорта продовольствия, особенно зерновых, доля импорта которых составляет около 70% зерновых запасов страны. На импорт продовольствия из-за рубежа расходуется около 70-80% выручки от экспортных поставок страны. Санкции не привели в итоге к смене политического курса, однако экономика стран сильно пострадала. Введенные санкции и внутренняя политика страны, направленная на ограничение частной инициативы, привели к значительному замедлению в развитии сельскохозяйственного производства. В случае с КНДР, которая находится под санкциями с 2006 года, можно отметить, что под воздействием санкций экономический рост, в частности, в сельском хозяйстве замедляется. Если в 2019 году индекс валового сельскохозяйственного производства составил 110% к среднегодовому показателю за 2010-2015 годы, то в 2021 году

он составил 95%, в 2022 году снизился до 87,5%. В первую очередь, это объясняется внутренней политикой страны, направленной на самообеспечение и самоизоляции. Несмотря на это, количество людей, находящихся в условиях недоедания колоссально, и составили в 2019-2021 годах 10,7 млн чел, что примерно 41,6% населения страны [7].

Изучив опыт государств, которые на протяжении длительного периода жили в условиях введенных против них санкций, можно прийти к выводу о том, что ни в одной стране санкции не привели к смене политического курса. Однако в большинстве стран государственная продовольственная безопасность оказалась под угрозой. Как показывает мировая практика, основная часть санкций инициируется со стороны США. Следующим этапом начинают вводить вторичные санкции и коалиционные движения для усиления давления с внешней стороны, которые в том числе поддерживаются и международными организациями (ООН). Государства, против которых были введены санкции, начинают искать пути обхода через третьи страны, что в большинстве своем означает довольно сложный процесс, где необходимо вести длительные переговоры, которые, в конечном счете, приводят к замедлению темпов роста экономики. Зачастую финансовые и торговые санкции начинают вводить вместе для более сильного давления на экономику государства. Одним из первых на такие санкции реагирует агропромышленный комплекс, который обеспечивает продовольственную безопасность страны. Также ухудшается экономическое положение самих жителей государства, для которых становятся недоступными товары даже базовой потребительской корзины.

В результате вводимых санкций, безусловно, начинается замедление роста и развития экономики страны, однако к постоянному спаду это не приводит при условии ведения грамотной внутренней политики. Более этого, достигнув определённого уровня, можно наблюдать, как экономика учится и адаптируется к новым условиям. Самые неблагоприятные сценарии развития экономики наблюдались в тех странах, где помимо внешних санкций возникали негативные внутренние факторы, такие как военные конфликты, пандемии, стихийные бедствия и т.д. Нестабильность внутри самого государства, усиливающаяся негативными последствиями от вводимых санкций, приводит к росту числа голодающих в этих странах, а также в целом к ухудшению качества жизни населения. Базовые продукты становятся либо менее доступными, либо менее качественными, растет число недоедающих жителей, возникает импортозависимость государства и наблюдается тенденция роста цен [8]. Опыт вышеприведенных стран показывает, что на сегодняшний день для России становится крайне важным сохранить доступность к производственным ресурсам.

В то же время опыт таких стран, как Куба и КНДР, показывает, что введение жесткого государственного регулирования, в частности сельского хозяйства, тоже не приводит к позитивному исходу, а лишь становится препятствием для развития малого и среднего предпринимательства в новых условиях, которые в свою очередь могли бы стать базой для развития экономики, обеспечивая продовольственную безопасность страны и способствующих росту доходов и занятости населения.

Для изучения влияния санкций на развитие сельского хозяйства необходимо проанализировать его динамику за 2014-2023 годы по ключевым показателям, отражающим основные тенденции. Агропромышленный комплекс зачастую быстро и крайне чувствительно реагирует на вводимые санкции, так как проблема обеспечения устойчивого развития агроэкономических систем напрямую зависит от общей экономической ситуации в стране. Санкционная политика против России, начавшаяся в 2014 году после присоединения Крыма, включала прямые ограничения для аграрного сектора в виде запрета на кредитование и инвестиции в российское сельское хозяйство, блокировки доступа к западным технологиям производства и переработки сельскохозяйственной продукции, продовольственного эмбарго на мясо и мясопродукты, молочную продукцию, овощи, фрукты, орехи, запрета на экспорт в РФ сельхозтехники, семян и удобрений. В качестве ответных мер российское правительство запретило ввоз сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия за исключением продуктов детского питания, лекарств и БАДов, алкогольных напитков, не производящихся в РФ, семян сельскохозяйственных культур, некоторых видов кормов для животных из стран, применивших санкции (США, страны ЕС, Канада, Австралия, Норвегия). Второй пакет санкций был введен в 2022 году по поводу объявления Россией специальной военной операции на Украине с существенным увеличением численности недружественных стран [9].

Несмотря на то, что санкции в отношении российского сельского хозяйства не были введены напрямую, тем не менее агропромышленный комплекс среагировал на сложности в функционировании смежных отраслей экономики. Наиболее чувствительной на воздействие этих риск-факторов оказалась отрасль производства сельскохозяйственной продукции, поскольку именно в данном секторе в совокупности с естественно-биологическими факторами проявляются существенные последствия вводимых ограничений.

Влияние санкций носит жесткий разноплановый характер, что требует от государства проведения соответствующей внешней и внутренней вызовам антисанкционной политики с целью адаптации деятельности хозяйствующих субъектов к сложившейся ситуации. Особенностью аграрной политики

в условиях санкций является то, что со стороны государственных органов так называемого «специального плана» адаптации субъектов аграрного бизнеса к санкциям не разрабатывалось. Необходимые оперативные, краткосрочные и среднесрочные меры принимались по результатам анализа и оценки возникающих проблем и необходимости их решения, учитывая потребности и запросы бизнес-структур по обеспечению продовольственной независимости страны. Принятие организационно-экономических мер в основном были направлены на достижение стратегических индикаторов развития сельскохозяйственной отрасли. Наиболее значимые меры преследовали достижение целевых результатов по недопущению сокращения объемов производства сельскохозяйственной продукции, наращиванию экспортного потенциала агропродовольственного комплекса, стабилизации внутреннего агропродовольственного рынка, сохранению финансовой устойчивости субъектов аграрного бизнеса, повышению конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности сельскохозяйственной отрасли [10,11].

Для определения влияния санкций на устойчивое развитие сельского хозяйства целесообразно проанализировать динамику индексов роста производства. Хотя точно измерить изолированное воздействие отдельных санкций невозможно, их совокупный эффект проявляется в изменении общих тенденций. Если бы ограничения достигли своих целей, десятилетняя динамика показала бы спад. Однако, благодаря мерам государственной поддержки, отрасль сохраняет поступательное развитие, что свидетельствует о минимизации влияния санкций. Важнейшим инструментом такого анализа выступают индексы роста, позволяющие отследить устойчивость развития в условиях внешних ограничений (рис.1).

Меры государственной поддержки, которые проводились в отношении агропромышленного комплекса после 2014 года и где основной целью стала реализация стратегии импортозамещения, привели к тому, что сельское хозяйство сумело адаптироваться к новым условиям функционирования и стало способным формировать положительный тренд роста, хотя графическое изображение динамики показывает достаточную волатильность данных, периоды роста чередуются с периодами спада. Трендовая линия по производству продукции сельского хозяйства имеет небольшой положительный рост. Уравнение линии тренда $y = 0,0073x + 102,94$ показывает среднегодовой рост индекса производства на 0,0073%, что свидетельствует о сохранении тенденций к росту. В частности, в отраслях растениеводства валовой сбор зерновых за этот период увеличился с 92,4 млн т до 143 млн т, сахарной свеклы – с 39,3 млн до 53,2 млн т, масличных культур выросло с 13,2 млн до 29,9 млн т, картофеля с 5,4 млн до 8,6 млн т, овощей с 4,4 млн до 7,5 млн т, плодов и ягод – с 0,7 млн т

до 1,9 млн т. В отраслях животноводства по всем направлениям за этот период тоже достигнута положительная динамика: производство молока увеличилось с 29,9 млн т

до 33,8 млн т, мяса КРС – с 12,2 млн до 16,53 млн т, свиней – с 3,6 млн т до 6,06 млн т, птицы – с 5,2 млн т до 7,04 млн т.

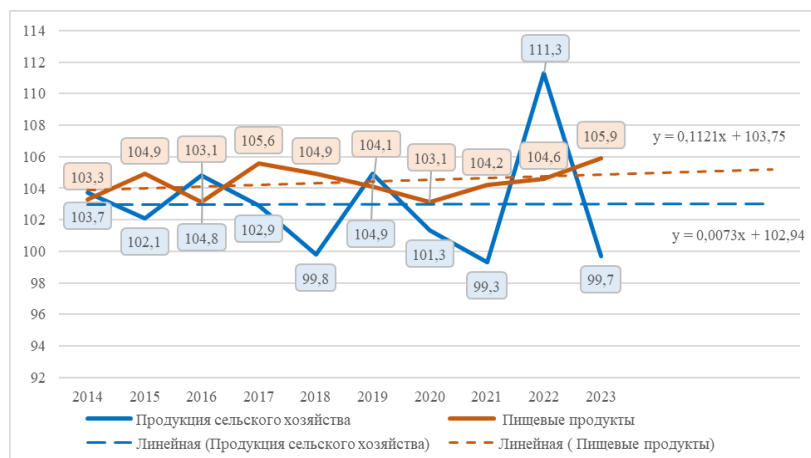


Рис.1 – Динамика индексов роста производства продукции сельского хозяйства и пищевых продуктов за 2014–2023 годы (составлен по данным [12])

Увеличение объемов производства сельскохозяйственной продукции является основой для развития пищевой промышленности. В результате поступательного развития сельскохозяйственной отрасли производство пищевых продуктов демонстрирует более стабильный и умеренный рост, указывающий на сформировавшуюся устойчивость двух взаимосвязанных секторов экономики к внешним, введенным санкциям. Объем финансирования мероприятий Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (Утверждена постановлением Правительства от 14 июля 2012 года №717) вырос в 2,2 раза, с 198,1 млрд руб. в 2013 году до 442,6 млрд руб. в 2023 году, что способствовало увеличению производства сельскохозяйственной продукции на 33,2%, а продуктов питания – на 43% [13]. Тем не менее, когда речь заходит об агропромышленном комплексе, важно понимать, насколько оно зависит от внешних факторов, а значит одним из ключевых путей стабильного развития сельского хозяйства

остается вопрос минимизации зависимости результатов деятельности агропромышленного комплекса от климатических факторов путем использования современных технологий мелиорации, влагосбережения и селекции засухоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур. Функционирование в условиях санкций и последовательная политика импортозамещения привели к принципиально новому уровню государственной поддержки аграрного сектора. Особое внимание вопросам продовольственной безопасности в 2014–2023 годы выразилось в изменениях масштабов мер поддержки, что позволило не только компенсировать действие санкций, но и обеспечить устойчивый рост производства сельскохозяйственной продукции. Анализ показателей за этот период демонстрирует значительное повышение пороговых значений самообеспечения продовольствием Доктрины продовольственной безопасности (2020 год) по основным видам продуктов питания, что стало прямым результатом целенаправленной аграрной политики государства (рис. 2).

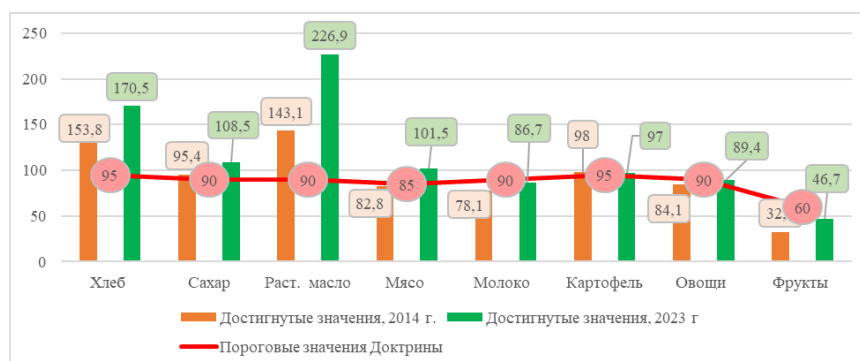


Рис.2 – Уровень выполнения пороговых значений самообеспечения продовольствием Доктрины продовольственной безопасности (2020 год) за 2014–2023 годы, % (составлен по данным [14,15])

Из данных рисунка 2 видно, что в 2023 году по большинству категорий продуктов достигнуты или значительно превышают пороговые параметры, установленные Доктриной продовольственной безопасности 2020 года. Сравнение достигнутых показателей в 2023 году с данными 2014 года показывает значительный рост самообеспеченности по большинству категорий продуктов. Безусловно, это свидетельствует об успехах в развитии отечественного производства и снижении зависимости от импорта по этим ключевым позициям. Однако по отдельным категориям продуктов, как молоко и молочные продукты, овощи и бахчевые, фрукты и ягоды необходимо принимать своевременные меры и активизировать работу для достижения пороговых значений и снижения зависимости от импорта.

В условиях высокого уровня турбулентности макроэкономической ситуации, благодаря успешной реализации программ импортозамещения и другим мерам государственной поддержки, российский агропродовольственный комплекс не только сохранил экономическую

стабильность, но и стал одним из важнейших факторов устойчивости всех смежных с сельским хозяйством и пищевой промышленностью отраслей экономики страны. Анализ современного этапа развития агропродовольственного комплекса страны свидетельствует о проявлении гетерогенных тенденций в процессе функционирования отдельных подкомплексов, связанных с необходимостью ускоренной интеграции инноваций в производство и технологической модернизацией, ориентированных на курс замещения импорта основных продуктов питания и сопровождаемых диверсификацией видов деятельности, появлением новых товаров, расширением номенклатуры продукции и услуг [16]. Несмотря на происходящие процессы структурной перестройки производства, агропромышленный комплекс сохраняет положительный тренд динамики индикаторов роста по таким показателям, как валовая добавленная стоимость и ее доля в общих результатах деятельности всех отраслей экономики (рис.3).

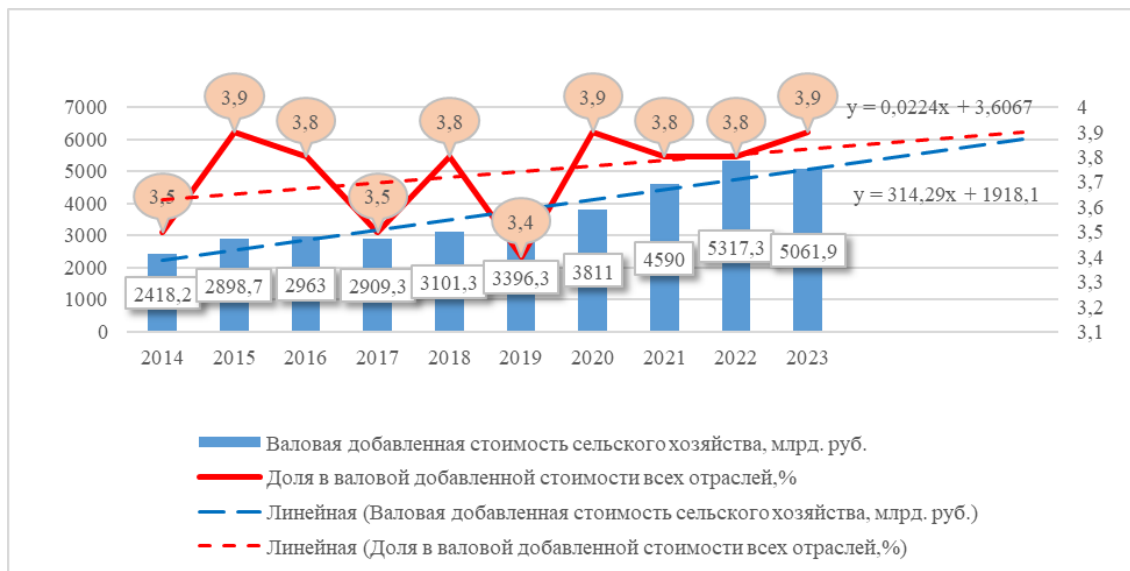


Рис. 3 – Динамика валовой добавленной стоимости сельского хозяйства за 2014-2023 годы, млрд руб. (составлен по данным [17])

Согласно приведенным данным на рисунке 3, можно отметить, что наблюдается увеличение валовой добавленной стоимости сельского хозяйства в 2,1 раза, когда к 2023 году она достигла отметки в 5061,2 млрд руб. Можно констатировать, что сельское хозяйство вносит возрастающий вклад в экономику страны, хотя доля сельского хозяйства в общей валовой добавленной стоимости имеет определенную волатильность в зависимости от складывающихся экономических условий в стране.

В динамике этого показателя тоже не прослеживается сильное влияние санкционного давления зарубежных стран, негативное влияние санкций не находит отражения в изменениях валовой добавленной стоимости отрасли.

Анализ уровня рентабельности показывает, что экономические санкции против России

в начале действия крупных пакетов отрицательным образом сказались на рентабельности субъектов аграрного бизнеса. Как свидетельствуют данные рисунка 4 рентабельность сельскохозяйственных организаций резко снизилась в период 2015-2017 годов первого пакета санкций 2014 года, в течение 2017-2021 годов устойчиво росла, однако после второго пакета в 2022 году наблюдается снижение. Более высокий уровень рентабельности поддерживается за счет государственной поддержки. В то же время необходимо обратить внимание на то, что доля субсидий в уровне рентабельности имеет выраженную тенденцию к снижению в течение изучаемого периода с 9,8% в 2014 году до 3,4% в 2023 году. Это свидетельствует о повышении эффективности аграрного бизнеса в большей степени за счет

мобилизации внутренних резервов. Примечательно, что, несмотря на снижение доли субсидий, общая рентабельность аграрного

бизнеса остается на достаточно высоком уровне и имеет тренд роста со среднегодовыми темпами 1,24 процентных пункта.

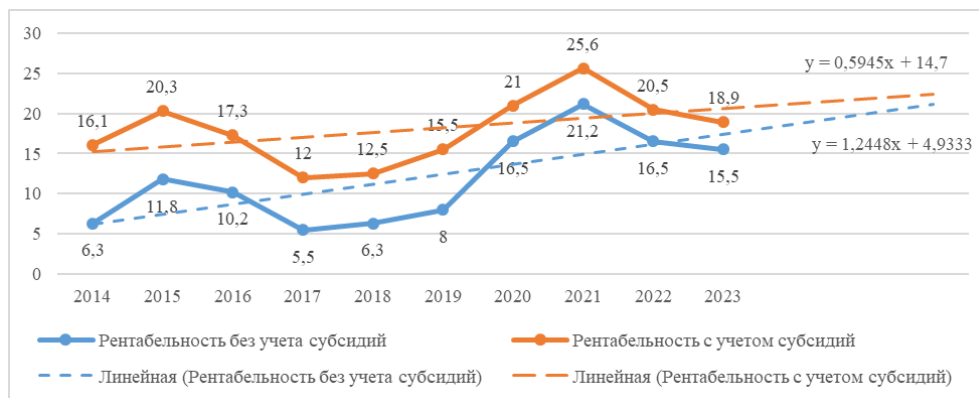


Рис. 4 – Динамика уровня рентабельности субъектов аграрного бизнеса по всем видам деятельности за 2014–2023 годы, % (составлен по данным [12])

Одним из последствий введенных санкций стало ограничение притока иностранных инвестиций в экономику, в частности, в агропромышленный комплекс. Закономерным результатом стало нехватка материальных средств у сельскохозяйственных организаций для непрерывного и стабильного роста производства. Анализ динамики стоимости основных

фондов и инвестиций в основной капитал в аграрной сфере показывает устойчивый рост стоимости основных фондов с среднегодовым увеличением на 328,05 млрд руб. за период 2014–2023 годов, как доказательство расширения производственных мощностей, проведения модернизации и развития инфраструктуры (рис. 5).

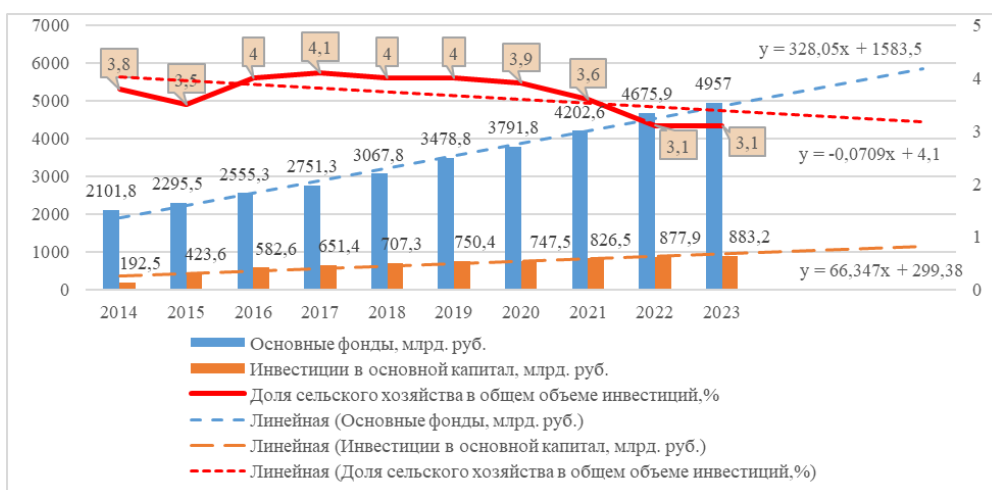


Рис. 5 – Динамика стоимости основных фондов и инвестиций в основной капитал в сельском хозяйстве РФ за 2014–2023 годы (составлен по данным [12])

Из рисунка 5 также видно ежегодный поступательный рост объема инвестиций в основной капитал на протяжении рассматриваемого периода на сумму 66,35 млрд. руб. Доля инвестиций в хозяйствующие субъекты сельского хозяйства в общем объеме инвестиций снижалась с 3,8% в 2014 году до 3,1 в 2023 году при росте абсолютных показателей, несмотря на то, что на протяжении четырех лет с 2016 по 2019 годы стабильно держалась на уровне 4%. Резкое снижение наблюдается в последние два года, после введения второго пакета санкций. Общий тренд снижения доли сельского хозяйства связан с динамичным развитием экономики страны в целом в процессе реализации политики

импортозамещения по всему народному хозяйству, вызвавшей более быстрые темпы роста инвестиций в других секторах экономики, чем в сельском хозяйстве. По динамике исследуемых показателей можно сделать вывод, что санкции не оказали существенного влияния на процесс укрепления материально-технической базы сельского хозяйства.

Санкционное давление со стороны западных стран является одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на развитие экспортных операций России. Объявленные, западными странами санкции, начиная с 2014 года, и применяемые в отношении экспорта России, создают значительные препятствия для российских продовольственных

товаров на рынках ЕС, США, Канады, Великобритании и др. К этим санкциям относятся в большей степени прямые запреты на ввоз широкого ассортимента продуктов, таких как: рыба, морепродукты, алкогольные напитки, икра, кондитерские изделия отдельных предприятий (например, фабрики «Красная Москва») и др. Кроме этого, недружественные страны используют целый комплекс косвенных ограничений и барьеров, затрудняющие ведение агробизнеса. Сюда можно отнести осложнение совершения финансовых операций путем отключения от системы SWIFT российских банков, в частности, Россельхозбанка, ограничения на логистику, предусматривающие, запрет российским судам доступ в порты, страхование грузов из России, сокращение авиасообщений. Эти меры серьезно затрудняют экспортные операции и требуют поиска альтернативных рынков и стратегий для повышения конкурентоспособности российских продовольственных товаров. Для снижения негативных последствий санкций государство продолжает поддерживать со своей стороны экспорт товаров, выделяя субсидии для покрытия логистических расходов, на уплату пошлин, сертификацию товаров, на льготное кредитование с компенсацией

до 65% затрат. Еще одним способом государственной поддержки остается компенсация стоимости средств производства, приобретаемых по лизинговым программам. Помимо этого, государство ввело целый ряд инструментов поддержки аграрного сектора, как временные ограничения на вывоз зерна (пшеница, ячмень, кукуруза), сахара, подсолнечного масла, удобрений (азотные, калийные) в недружественные страны, переориентация экспорта, увеличив поставки продовольствия и сельскохозяйственного сырья в Китай, Турцию, Египет, Индию, страны Африки и Ближнего Востока.

Своевременно принятые меры по смягчению воздействия санкций способствовали увеличению экспорта продовольствия и сельскохозяйственного сырья за изучаемый период. Объем экспортных поставок с 2014 года увеличился в 2,26 раза и в 2023 году достиг 43,1 млн долл. Начиная с 2021 года российский агропродовольственный комплекс превратился в нетто-экспортера с постоянным ростом сальдо внешней торговли, что свидетельствует о повышении конкурентоспособности отечественных продовольственных товаров на мировом рынке и снижении зависимости от импортных поставок (рис.6).

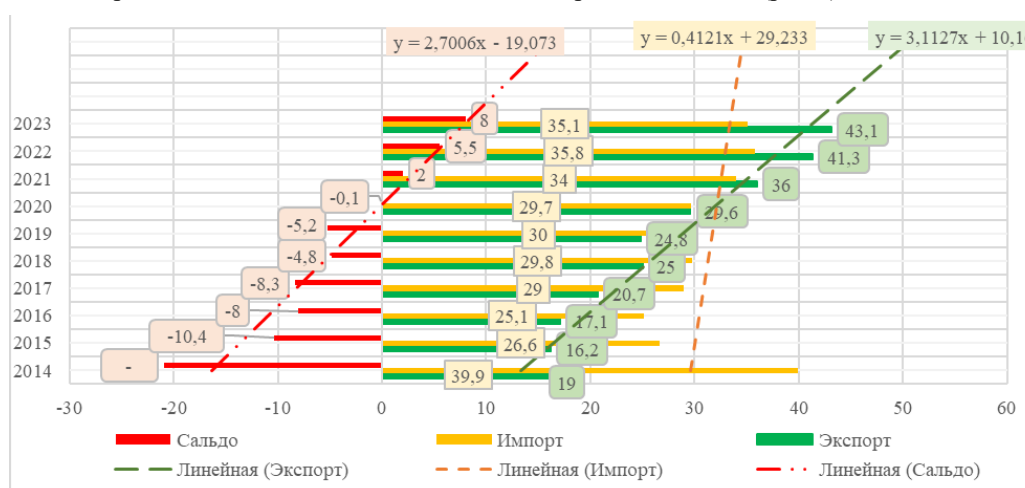


Рис. 6 – Экспорт и импорт продовольствия и сельскохозяйственного сырья РФ за 2014-2023 годы, млн долл. (составлен по данным [18,19])

В результате экспорт сельскохозяйственной продукции превысил импорт, и Россия перешла на положительное сальдо торгового баланса, размеры которого в 2021 году составили 2,8 млрд долларов, а в 2023 году – 8 млрд долларов, т.е. увеличились практически в три раза. Достижение таких результатов стало возможным за счет высокого уровня эффективности реализации 37 принятых к исполнению государственных программ в сфере обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства в 2022-2023 годы. Можно отметить, что после 2014 года парадигма развития АПК сменила вектор своего развития. Если раньше основной целью развития сельского хозяйства в России становился вопрос импортозамещения, то сегодня курс направлен, в первую

очередь, на экспорт. Аграрный экспорт России вырос почти в 2,5 раза (43,1 млрд долл. в 2023 году против 17,1 млрд долл. в 2013 году). Анализ показывает, что, если в 2013 году импорт продовольствия превышал экспорт в 2,5 раза, то в 2023 году на внешние рынки было поставлено сельскохозяйственной продукции на 24% больше, чем было ввезено товаров из зарубежных стран [19]. Так же стоит отметить, что по экспорту отдельных сельскохозяйственных культур Россия на сегодняшний день занимает лидирующие позиции. Таким образом, введенные санкции никак не отразились в развитии экспортной деятельности предприятий агропродовольственного комплекса, наоборот спровоцировали более активной работы по поиску новых рынков сбыта и повышение

конкурентоспособности экспортной продукции аграрного сектора.

Выводы. Изучение опыта стран, находящихся под санкционным давлением продолжает длительное время показывает негативное влияние внешних факторов на экономику и на продовольственную безопасность государств. Своевременная разработка и освоение анти-санкционных организационно-экономических мер продемонстрировала способность российской экономики адаптироваться и перестроиться к санкционным условиям. Сельское хозяйство Российской Федерации обеспечило значительный рост производства основных видов сельхозпродукции после введения санкций в 2014 и 2022 годах и контрсанкций России по эмбарго на импорт продовольственных товаров. Рост производства позволил достичь или превысить параметры самообеспечения по большинству категорий продуктов. Изменилась парадигма развития агропродовольственного комплекса с импортозамещающей на экспортно ориентированную,

результатом которого явилось значительное увеличение экспорта сельскохозяйственной продукции. Аграрный сектор России обладает высокой адаптивностью и способностью к быстрому восстановлению от последствий воздействия внешних факторов. Ключевым фактором успешного преодоления санкционного давления является эффективная система организационно-экономических мер по реализации внутренних резервов.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного 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 в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Литература

1. Петриков, А. В. Стратегические направления совершенствования аграрной политики России в условиях санкционного давления / А. В. Петриков // Научные труды Вольного экономического общества России. 2022. Т. 235, № 3. С. 122-133.
2. Особенности государственной поддержки аграрного сектора экономики России и ее роль в поддержке продовольственной безопасности страны / Л. Ф. Ситдикова, Д. И. Файзрахманов, О. В. Кириллова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10, № 2(36). С. 49-52.
3. Особенности развития регионального сельского хозяйства в современных условиях / Ф. Н. Мухаметгалиев, А. Р. Валиев, Ф. Н. Авхадиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 3(67). С. 144-153.
4. Зависимость эффективности аграрного бизнеса от внешних и внутренних факторов (на примере Республики Татарстан) / И. Г. Гайнутдинов, Н. Р. Александрова, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 1(65). С. 108-113.
5. Тенденции формирования современной агропродовольственной политики России / Ф. Н. Мухаметгалиев, Л. Ф. Ситдикова, Ф. Ф. Мухаметгалиева [и др.] // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2(173). С. 73-77.
6. Гатаулина, Е. А. Развитие сельского хозяйства в отдельных странах, находящихся под санкциями / Е. А. Гатаулина, А. А. Потапова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 121-139.
7. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире 2023 - URL: <https://www.fao.org/publications/sofi/2023/ru/>
8. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 2(62). С. 124-132.
9. Влияние санкций на сельское хозяйство. URL: <https://zsr.ru/article/vliyanie-sankciy-na-selskoe-khozyaystvo>.
10. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / А. Р. Валиев, Р. М. Низамов, Р. И. Сафин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 1(65). С. 97-107.
11. Роль и значение сельского хозяйства в обеспечении экономической и социальной стабильности общества (на примере Республики Татарстан) / И. Г. Гайнутдинов, Ф. Н. Мухаметгалиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 3(75). С. 93-104.
12. Росстат. Статистика. Официальная статистика. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397>.
13. Основные показатели сельского хозяйства в России в 2023 г. Росстат, 2024. 64 с.
14. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2023 г. Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (проект). М. Минсельхоз России. 2024. 152 с.
15. Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // Собр. законодательства Российской Федерации. 2020. № 4. Ст. 345.
16. Tendency of investment economy formation / A. R. Battalova, R. S. Tukhvatullin, F. N. Mukhametgaliev [et al.] // International Journal of Criminology and Sociology. 2020. Vol. 9. P. 2572-2578.
17. Индексы физического объема валовой добавленной стоимости по отраслям экономики / Росстат. URL: <https://www.gks.ru/accounts>.
18. Федеральный центр развития экспорта продукции АПК Минсельхоза России. Российский экспорт. Структура экспорта продукции АПК из России в 2023 г. - URL: <https://aemcx.ru/export/rusexport/>.
19. Экспорт и импорт Российской Федерации по товарам [Электронный ресурс] // Федеральная таможенная служба. Официальный сайт. URL: <https://customs.gov.ru/folder/502?ysclid=lrcoqjgun5809755970>.

Сведения об авторе:

Ситдикова Ландыш Фаритовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства, e-mail: sitdikovalandysh@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SANCTIONS ON AGRICULTURE AND IDENTIFICATION OF ADAPTATION DIRECTIONS

L. F. Sitdikova

Abstract. Economic sanctions imposed on Russia by unfriendly countries are systemic, escalatory in nature and aimed at weakening the country's economic stability by restricting access to critical technologies, financial resources, reducing export revenues and undermining food security through restrictions on the supply of agricultural machinery, seeds and veterinary drugs. The experience of countries that have been under sanctions for a long time shows that sanctions have a significant negative impact on the economy as a whole, leading to a slowdown in economic growth, especially in the agro-industrial complex and food security. The sanctions policy against the Russian economy has been carried out over the past ten years. Currently, more than 2 000 sanctions are in effect, introduced in the period 2014-2021 and more than 14 000 introduced since 2022. In response, Russia introduced its own counter-sanctions in the form of an embargo on the import of certain types of agricultural products from countries that announced economic sanctions. In this regard, the study of the impact of sanctions on the development of agriculture in Russia is of particular relevance. Domestic agro-food enterprises have demonstrated the ability to quickly adapt to the impact of sanctions pressure and were able to fill the vacated niches in the market with their products. A comparison of the indicators for 2013 and 2023 shows that the gross grain harvest increased by 54.8%, sugar beet - 35.4%, oilseeds - 126.5%, potatoes - 59.3, fruit and vegetable products - 70.4%, fruits and berries - 171.4%, milk production increased by 13.1%, cattle meat - 35.5%, pigs - 68.3%, poultry - 35.4%. In general, the Russian agro-industrial complex has achieved an increase in agricultural production by 33.2%, and food products by 43%, due to which the threshold values of food independence indicators established by the Doctrine of Food Security of the Russian Federation (approved by the Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20) have been achieved or significantly exceeded for most types of food products. At the same time, the overall profitability of the agricultural business remains at a fairly high level and has a growth trend with an average annual rate of 1.24%, product exports have increased from 17.1 to 43.1 billion dollars. The agricultural sector has the ability to adapt to new conditions, can recover from the effects of external factors in a short time, increasing its production and economic potential. Sanctions are a painful, but not always fatal factor, positive development results are mainly determined by the effectiveness of organizational and economic measures to implement internal reserves.

Key words: sanctions, agriculture, food security, adaptation, profitability, export, self-sufficiency, economic growth.

References

1. Petrikov AV. [Strategic directions for improving Russia's agricultural policy in the context of sanctions pressure]. *Nauchnye trudy Volnogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*. 2022; Vol.235. 3. 122-133 p.
2. Sitdikova LF, Fayzrahmanov DI, Kirillova OV. [Features of state support for the agricultural sector of the Russian economy and its role in supporting the country's food security]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; Vol.10. 2(36). 49-52 p.
3. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Avkhadiyev FN. [Features of regional agriculture development in modern conditions]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 3(67). 144-153 p.
4. Gaynutdinov IG, Aleksandrova NR, Khismatullin MM. [Dependence of the efficiency of agricultural business on external and internal factors (on the example of the Republic of Tatarstan)]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 1(65). 108-113 p.
5. Mukhametgaliev FN, Sitdikova LF, Mukhametgalieva FF. [Trends in the formation of modern agri-food policy in Russia]. *Problemy prognozirovaniya*. 2019; 2 (173). 73-77 p.
6. Gataulina, EA, Potapova AA. [Development of agriculture in individual countries under sanctions]. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 1. 121-139 p.
7. The state of food security and nutrition in the world in 2023. [Internet]. Available from: <https://www.fao.org/publications/sofi/2023/ru/>
8. Safiullin IN, Ziganshin BG, Amirova EF. [Assessment of food security in Russia]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 2(62). 124-132 p.
9. The impact of sanctions on agriculture. [Internet]. Available from: <https://zsr.ru/article/vliyanie-sankciy-na-selskoe-khozyaystvo>.
10. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for the development of agro-industrial complex and tasks of agricultural science and education]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 1(65). 97-107 p.
11. Gaynutdinov IG, Mukhametgaliev FN, Khismatullin MM. [The role and significance of agriculture in ensuring economic and social stability of society (on the example of the Republic of Tatarstan)]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 3(75). 93-104 p.
12. Rosstat. Statistics. Official Statistics. [Internet]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397>.
13. Osnovnye pokazateli selskogo khozyaystva v Rossii v 2023 g. [Key indicators of agriculture in Russia in 2023]. *Rosstat*. 2024; 64 p.
14. Natsionalnyy doklad o khode i rezultatakh realizatsii v 2023g Gosudarstvennoy programmy razvitiya selskogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov selskokhozyaystvennoy produktsii, syrya i prodovolstviya (proekt). [National report on the progress and results of implementation in 2023 of State program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets (draft)]. Moscow. Ministry of Agriculture of Russia. 2024; 152 p.
15. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 21 yanvarya 2020 g. № 20 "Ob utverzhdenii Doktriny prodovolstvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii". [Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 "On approval of Food Security Doctrine of the Russian Federation"]. *Sobr. zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii*. 2020; 4. St.345.
16. Battalova AR, Tukhvatullin RS, Mukhametgaliev FN. Tendency of investment economy formation. *International Journal of Criminology and Sociology*. 2020; Vol.9. 2572-2578 p.
17. Indices of physical volume of gross value added by sectors of the economy. [Internet]. Rosstat. Available from: <https://www.gks.ru/accounts>.
18. Federal center for agricultural exports development of the Ministry of Agriculture of Russia. [Internet]. Russian export. Structure of agricultural exports from Russia in 2023. Available from: <https://aemcx.ru/export/rusexport/>.
19. Export and import of the Russian Federation by goods. [Internet]. Federalnaya tamozhennaya sluzhba. Ofitsialnyy sait. Available from: <https://customs.gov.ru/folder/502?ysclid=lreoqjgun5809755970>.

Author:

Sitdikova Landysh Faritovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Department of Economics and Organization of Production, e-mail: sitdikovalandysh@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИКИ ПОГОЛОВЬЯ МЕЛКОГО РОГАТОГО СКОТА ПО РЕГИОНАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**Е. Ц. Чимитдоржиева, Т. В. Полозова, Н. В. Шобдоева, М. А. Баниева, Е. Н. Ванчикова**

Реферат. За период 1991-2024 годов в России зафиксировано сокращение общего поголовья МРС более чем на 60% – с 58,2 млн до 19,1 млн голов. Наиболее значительное снижение наблюдалось в Центральном (-85,2%) и Дальневосточном (-86,6%) федеральных округах, тогда как в Южном (-25,5%) и Северо-Кавказском (-26,9%) округах темпы сокращения были минимальными. Особого внимания заслуживает структурная трансформация отрасли: если в 1991 году на сельхозорганизации приходилось 58,3% поголовья, то к 2024 году их доля сократилась до 14,5%, в то время как доля крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей увеличилась с 1,2% до 41,5%. Проведенный анализ позволил выделить три типа регионов по динамике развития отрасли. К первой группе относятся регионы-лидеры роста, такие как Республика Дагестан (+148%) и Карачаево-Черкесская Республика (+153,7%), где сохраняются благоприятные условия для традиционного овцеводства и козоводства, связанные с сохранением традиционных форм хозяйствования, развитой сетью мини-перерабатывающих предприятий и устойчивым спросом на баранину в местной кухне. Вторая группа представлена стабильными регионами, среди которых выделяется, например, Астраханская область с незначительным снижением поголовья (-0,6%) за счет развития экспортных направлений реализации мяса МРС. Третью группу составляют кризисные территории, такие как Волгоградская область (-97,2%) и Забайкальский край (-91,6%), где отрасль столкнулась с наиболее серьезными проблемами, связанными как с общим кризисом отрасли, так и с специфическими региональными факторами. Анализ устойчивости региональной специализации в овцеводстве России позволяет выявить выраженные пространственные закономерности развития отрасли. Корреляционный анализ демонстрирует высокую степень сохранения сложившейся географической структуры производства, особенно в традиционных районах пастбищного животноводства. Наибольшая стабильность наблюдается в личных подсобных хозяйствах, что свидетельствует о глубокой укорененности овцеводства в системе традиционного природопользования этих регионов.

Ключевые слова: мелкий рогатый скот, региональная специализация, ранговая корреляция, устойчивость производства, динамика поголовья, типология регионов.

Введение. Современное состояние животноводства в России характеризуется выраженной диспропорцией в развитии различных подотраслей. На фоне устойчивого роста производства свинины и мяса птицы, наблюдаемого в последнее десятилетие, сектор мелкого рогатого скота (МРС) демонстрирует устойчивую негативную динамику. Как отмечает Лушников Н.А. и др. овцеводство и козоводство оказались одними из наиболее пострадавших отраслей в период экономических реформ 1990-х годов [1, 2]. По данным Росстата, за период 1991-2024 годов поголовье МРС сократилось на 67,1%, что требует детального научного осмысления и выработки эффективных мер государственного регулирования.

Актуальность исследования динамики развития МРС обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, овцеводство и козоводство традиционно играют важную роль в экономике многих регионов России, особенно в республиках Северного Кавказа, Калмыкии, Туве и других территориях с развитыми пастбищными системами животноводства [3, 4, 5]. Многими исследователями отмечается значительная дифференциация между субъектами РФ по уровню развития животноводства, при этом традиционные регионы-лидеры демонстрируют различные модели адаптации к новым экономическим условиям [6]. Во-вторых, продукция этого сектора имеет значительный

экспортный потенциал на рынках стран Ближнего Востока и Центральной Азии [7, 8, 9]. В-третьих, в научной литературе вопросы развития овцеводства и козоводства освещаются недостаточно полно, особенно в части региональных различий и долгосрочных трендов. Основная цель исследования заключается в выявлении основных трендов изменения численности поголовья мелкого рогатого скота в регионах РФ за период 1991-2024 годов и разработке типологии регионов по динамике поголовья МРС.

Условия, материалы и методы. Исследование базируется на данных официальной статистики Росстата за период 1990-2024 годов, охватывающих все субъекты Российской Федерации. Основным методологическим инструментом исследования стал коэффициент ранговой корреляции Спирмена, широко применяемый в экономических исследованиях для оценки устойчивости структурных изменений [10, 11]. Данный метод позволяет количественно оценить степень сохранения региональных позиций в динамике. При использовании коэффициентов ранговой корреляции мы исходили из положений о том, что результаты различных рейтинговых исследований позволяют учитывать широкий спектр различных факторов, влияющих на положение объекта исследования [12, 13, 14]. Для обеспечения репрезентативности результатов применялись методы верификации данных, включая

перекрестную проверку информации из различных источников. Особое внимание было уделено анализу полноты и сопоставимости статистических данных за весь исследуемый период. Интерпретация результатов проводилась с учетом особенностей развития животноводства в различных регионах России, что позволило не только констатировать

фактические изменения поголовья МРС, но и провести типологизацию регионов по устойчивости поголовья.

Результаты и обсуждение. Анализ данных за 1991-2024 годы выявил выраженную региональную дифференциацию в развитии отрасли мелкого рогатого скота (МРС) в России (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика поголовья МРС по федеральным округам (тыс. голов)*

Федеральный округ	1991 год	2000 год	2010 год	2020 год	2024 год	Изменение 1991-2024 годы (%)
Центральный	4763,3	1064,8	957,85	1034,11	773,95	-83,75
Северо-Западный	794,7	378,6	218,46	188,47	158	-80,12
Южный**	79	21,1	40,91	62,23	58,83	-25,53
Северо-Кавказский***	11299,4	4486,6	8140,75	8099,29	8254,73	-26,95
Приволжский	11885,8	2907,6	2925,38	2604,94	2111,73	-82,23
Уральский	1939,8	539	475	437,87	392,1	-79,79
Сибирский*	8421,4	2256,4	2533,63	2807,91	1959,93	-76,73
Дальневосточный*	4567,5	748,5	845,11	785,87	611,33	-86,61
Всего	58194	14962	21734	24445	19138	-67,11

*Данные по Федеральным округам пересчитаны в соответствии с территориальным делением округов по данным 2024 года (без учета данных по ДНР и ЛНР)

** Данные за 1991 год, 2000 год без учета данных по Республике Крым, г. Севастополь.

***Данные за 1991 год включают данные по Чеченской и Ингушской Республике

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Снижение численности поголовья МРС во всех федеральных округах связано с процессами урбанизации и снижением рентабельности овцеводства, особенно в регионах, где преобладали тонкорунные овцы, что обусловлено отсутствием стабильного спроса на шерсть и ликвидацией предприятий по ее обработке.

Единственными округами, где сокращение было минимальным, являются Южный и Северо-Кавказский федеральные округа. Это объясняется традиционной ролью овцеводства и козоводства в местной экономике и культурными особенностями, поддерживающими спрос на баранину и шерсть.

Анализ данных таблицы 2 показывает глубокую структурную трансформацию в секторе мелкого рогатого скота России за период с 1991 по 2024 годы. Наиболее значимым изменением стало резкое сокращение доли сельскохозяйственных организаций в общем распределении поголовья МРС по категориям хозяйств с 58,3% до 14,5%. Этот показатель отражает фундаментальные изменения в аграрной экономике страны, когда крупные государственные и коллективные хозяйства, доминировавшие в советский период, утратили свои позиции в постсоветскую эпоху.

Таблица 2 – Распределение поголовья МРС по категориям хозяйств, %

Категория хозяйств	1991 год	2024 год	Изменение, п.п
Сельхозорганизации	58,3	14,5	↓43,8
КФХ и ИП	1,2	41,5	↑40,3
ЛПХ	40,5	44,0	↑3,5

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Параллельно с этим наблюдается впечатляющий рост фермерского сектора – доля крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей увеличилась с 1,2% до 41,5%, демонстрируя прирост на 40,3 процентных пункта. Такой стремительный рост свидетельствует об успешной адаптации малых форм хозяйствования к рыночным условиям и их возрастающей роли в обеспечении продовольственной безопасности страны.

Личные подсобные хозяйства, традиционно занимавшие значимое место в структуре отрасли, не только сохранили свои позиции в общем распределении поголовья МРС

по категориям хозяйств, но и увеличили долю с 40,5% до 44,0%. Этот относительно небольшой рост на 3,5 процентных пункта маскирует важную особенность – в абсолютных цифрах многие ЛПХ трансформировались в фермерские хозяйства, что объясняет умеренный прирост их доли при фактическом сохранении ключевой роли в производстве.

Кардинальные изменения в распределении поголовья отражают общую тенденцию децентрализации аграрного производства в России. Если в начале периода наблюдения преобладала модель крупнотоварного производства (почти 60% поголовья содержалось

в сельхозорганизациях), то к 2024 году отрасль перешла к модели, где 85,5% животных сосредоточено КФХ и ЛПХ. Такая трансформация имеет важные экономические и социальные последствия, влияя на занятость

сельского населения, логистику переработки и рынки сбыта продукции.

Наиболее значительные изменения в рейтинге регионов по поголовью МРС за исследуемый период представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Регионы с наибольшими изменениями поголовья МРС (1991-2024 годы)

Регион	Темп роста (сокращения) (%)	Изменение в рейтинге (позиций)	Примечание
Магаданская область	470,0	↑ (максимальный рост, 75 место в 1991 году, 79 место в 2024 году)	При незначительном абсолютном показателе демонстрируют высокий темп роста, однако практически не меняют своих позиций в общем рейтинге регионов по поголовью МРС. Одним из основных факторов роста является государственная поддержка мелкотоварного производителя, а также повлиял «эффект низкой базы»
Сахалинская область	374,2	↑ (73 место в 1991 году, 71 место в 2024 году)	
Республика Саха (Якутия)	317,5	↑ (74 место в 1991 году, 77 место в 2024 году)	
Карачаево-Черкесская Республика	153,7	↑ (23 место в 1991 году, 4 место в 2024 году)	Овцеводство и козоводство являются традиционными исторически сложившимися видами занятости преобладающей части населения, благоприятные природно-климатические условия (80% сельхозугодий приходится на сезонные пастбища) обеспечивающие низкий уровень затрат на выращивание поголовья [15]
Республика Дагестан	148,0	↑ (рост, занимает 1 место среди всех регионов РФ)	Основными причинами снижения поголовья МРС являются общероссийские факторы, а также связано с низкой рентабельностью даже в ЛПХ и низкий уровень потребления мяса МРС населением региона [16]
Волгоградская область	-97,23	↓ (максимальное падение, 44 место в 1991 году, 70 место в 2024 году)	
Забайкальский край	-91,62	↓ (4 место в 1991 году, 19 место в 2024 году)	Природно-климатические факторы (опустынивание земель [17]), высокий уровень миграции населения, высокая концентрация тонкорунных овец в общем объеме поголовья МРС (более 80%) – закрытие предприятий по переработке шерсти [10]
Ставропольский край	-82,2	↓ (1 место в 1991 году, 5 место в 2024 году)	В советский период край являлся лидером тонкорунного овцеводства, кризис в отраслях, связанных с переработкой шерсти [15]
Астраханская область	-0,6	↑ (13 место в 1991 году, 3 место в 2024 году)	Строительство перерабатывающей инфраструктуры, ориентированной на экспорт [15]

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Анализ региональных различий в динамике поголовья мелкого рогатого скота выявляет глубинные структурные изменения, происходящие в отрасли. Примечательно, что наиболее высокие темпы роста демонстрируют регионы с изначально незначительным поголовьем, преимущественно расположенные на Дальнем Востоке. Этот парадокс объясняется так называемым «эффектом низкой базы», когда даже небольшой абсолютный прирост дает впечатляющие процентные показатели. Традиционные лидеры овцеводства и козоводства, такие как Дагестан и Карачаево-Черкесия, демонстрируют умеренные темпы

роста, однако продолжают сохранять лидирующие позиции по абсолютному поголовью, формируя значительную часть национального стада мелкого рогатого скота.

Устойчивость производства в успешных регионах обеспечивается комплексом взаимосвязанных факторов. Ключевую роль играет сохранение традиционных форм хозяйствования, сочетающееся с доступом к обширным сезонным пастбищам. Не менее важны развитая перерабатывающая инфраструктура и стабильно высокий местный спрос на продукцию овцеводства, что создает надежную основу для развития отрасли.

В регионах, испытывающих кризис в овцеводстве и козоводстве, наблюдается негативная динамика, вызванная несколькими факторами. К ним относятся потеря традиционных рынков сбыта шерсти, климатические изменения, негативно влияющие на кормовую базу, демографические проблемы и отсутствие современной перерабатывающей промышленности. Особенно показателен пример Волгоградской области, где сочетание этих факторов привело к практически полному исчезновению отрасли.

Приведенная интерпретация статистических данных показывает, что процентные показатели без учета абсолютных значений и рейтинговых позиций могут создавать

искаженное представление о реальных процессах в отрасли. Яркой иллюстрацией этой проблемы служит пример Астраханской области, где минимальное изменение поголовья сопровождалось значительным улучшением позиций в отраслевом рейтинге. Этот случай подчеркивает необходимость комплексного подхода к анализу, учитывающего как относительные, так и абсолютные показатели развития отрасли.

Анализ данных показывает резкое сокращение поголовья овец и коз в сельскохозяйственных организациях России – с 38,0 млн голов в 1991 году до 2,8 млн в 2024 году (на 92,7%). Однако динамика по регионам существенно различалась (табл. 4).

Таблица 4 – Топ-10 регионов по поголовью овец и коз в сельхозорганизациях в 1991 и 2024 годы

Регион	Поголовье (тыс. гол.) в 1991 году	Место в рейтинге регионов в 1991 году	Поголовье (тыс. гол.) в 2024 году	Место в рейтинге в 2024 году
Ставропольский край	5 069,1	1	155,92	3
Забайкальский край	2 940,7	2	59,65	10
Ростовская область	2 933,4	3	80,31	9
Саратовская область	2 168,1	4	23,5	15
Республика Калмыкия	2 159,9	5	206,09	2
Волгоградская область	1 900,8	6	87,19	8
Республика Дагестан	1 862,9	7	1 328,22	1
Оренбургская область	1 630,9	8	3,61	42
Республика Хакасия	1 352,3	9	29,47	13
Республика Бурятия	1 101,9	10	36,65	12
Карачаево-Черкесская Республика	476,5	23	116,93	4
Республика Тыва	879,9	15	113,85	5
Кабардино-Балкарская Республика	235,1	32	97,01	6
Курская область	372,9	26	91,31	7

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Анализ трансформации крупнотоварного сектора овцеводства выявляет кардинальные изменения в структуре отрасли, произошла фундаментальная перестройка региональной специализации, сопровождавшаяся резким сокращением поголовья в большинстве традиционных животноводческих регионов.

Наиболее показательной является судьба бывших лидеров отрасли – Ставропольского края, Забайкальского края и Ростовской области, которые в советский период обеспечивали значительную часть общесоюзного производства. Эти регионы потеряли около 93-97% поголовья, что связано в первую очередь с кризисом тонкорунного овцеводства и разрушением системы крупных овцеводческих хозяйств. Примечательно, что даже сохранив позиции в топ-10, они утратили свое доминирующее положение. На фоне кризиса в овцеводстве Республика Дагестан выделяется как лидер по поголовью овец в сельскохозяйственных организациях. Это стало возможным благодаря успешной адаптации крупнотоварного производства к новым экономическим

условиям. Дагестанская модель сочетает элементы традиционного хозяйствования с современными подходами к организации производства, это использование местных пород овец, адаптированных к горным условиям, отгонное содержание на естественных пастбищах и многоуровневая государственная поддержка.

Особого внимания заслуживает появление в рейтинге новых регионов, таких как Кабардино-Балкария и Карачаево-Черкесия, которые в 1991 году не входили в число ведущих производителей. Их восхождение отражает общую тенденцию смещения центра овцеводства в горные и предгорные районы Северного Кавказа.

Структурный кризис отрасли особенно очевиден при анализе абсолютных показателей. Если в 1991 году для вхождения в топ-10 требовалось иметь не менее 1,4 млн голов, то в 2024 году достаточно 90-100 тыс. голов. Это свидетельствует о кардинальном изменении масштабов производства и переходе отрасли на качественно иной уровень развития.

Поголовье овец и коз в сельскохозяйственных организациях России претерпело значительные изменения за последние три десятилетия, пройдя через несколько отчетливых этапов развития.

1. Кризисный период (1991-1999 годы) характеризовался наиболее резким сокращением поголовья – в 7,8 раз. Этот спад был обусловлен разрушением колхозно-совхозной системы и полной утратой экономической эффективности отрасли в новых рыночных условиях. Традиционные регионы овцеводства Юга России и Сибири понесли особенно тяжелые потери.

2. Период стабилизации (2000-2010 годы) ознаменовался замедлением темпов сокращения. За это десятилетие поголовье уменьшилось с 5,4 до 4,4 млн голов (на 18,5%), что свидетельствовало о начале адаптации отрасли к рыночным условиям. В этот период началось перераспределение производства в наиболее жизнеспособные хозяйства.

3. Период 2011-2024 годов ознаменовался дальнейшей трансформацией отрасли, в ходе которой поголовье в сельхозорганизациях сократилось на 29,5%, достигнув 3,1 млн голов. Этот этап характеризовался концентрацией производства в наиболее эффективных регионах и активным переходом значительной части поголовья в личные подсобные хозяйства (ЛПХ).

Анализ данных свидетельствует о кардинальном изменении географии разведения МРС в сельскохозяйственных организациях в России. Если в 1991 году отрасль была равномерно распределена по традиционным регионам Юга России и Сибири, то к 2024 году производство в сельскохозяйственных организациях сохранилось преимущественно в республиках Северного Кавказа. При этом в бывших лидерах – Ставропольском крае, Ростовской области и других южных регионах – произошло катастрофическое сокращение производства, что указывает на глубокую структурную трансформацию отрасли [18].

За период с 1991 по 2024 год поголовье овец и коз в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей России продемонстрировало впечатляющий рост – с 225,8 тыс. голов до 8,247 млн голов. Значительный рост в 36,5 раз отражает масштабную трансформацию отрасли, сопровождавшуюся переориентацией производства из крупных сельскохозяйственных организаций в сектор малых форм хозяйствования.

Увеличение поголовья мелкого рогатого скота в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей в период 1991-2024 годов показывает выраженную динамику, которую можно структурировать по временным периодам с характерными особенностями.

В начальный период с 1991 по 2005 годы наблюдался значительный рост численности поголовья – с 0,2 до 4,6 млн голов,

при среднегодовом приросте около 23%. Наибольшая интенсивность роста отмечалась в 1992-1993 годах, когда показатель увеличился в 3,2 раза за два года. Такая динамика была обусловлена изменением организационно-правовых форм хозяйствования в аграрном секторе и формированием новых экономических условий. Массовая приватизация колхозного поголовья сопровождалась активным переходом части личных подсобных хозяйств в категорию официально зарегистрированных фермерских хозяйств. При этом относительно высокая рентабельность производства баранины в условиях ценовой либерализации раннего постсоветского периода сделала овцеводство привлекательным направлением для малого агробизнеса.

С 2006 по 2016 год темпы роста замедлились, поголовье увеличилось с 5,2 до 9,1 млн голов при среднегодовом приросте 4,5%. Максимальное значение было зафиксировано в 2016 году и составило 9,141 млн голов. Этот период характеризовался стабилизацией развития фермерского сектора. Изменение темпов развития отрасли отражало завершение процессов первоначального перераспределения поголовья и формирование новых рыночных условий. Существенное влияние оказало вступление России в ВТО в 2012 году, усилившее конкуренцию со стороны импортной мясной продукции. Одновременно происходило постепенное насыщение региональных рынков, сопровождавшееся ростом себестоимости производства из-за удорожания кормов и ветеринарных услуг. Эти факторы сформировали принципиально новую экономическую среду для фермерских хозяйств.

С 2017 по 2024 год наметилась тенденция к сокращению численности поголовья в данной категории хозяйств. По сравнению с 2016 годом уменьшение составило около 12,5%, при среднегодовом снижении на 1,3%. Ужесточение ветеринарных и экологических требований, сокращение доступности пастбищных ресурсов и усиление конкуренции с крупными агрохолдингами создают серьезные вызовы для малых форм хозяйствования. Важным фактором стало изменение потребительских предпочтений в пользу других видов мяса. Руководитель Национальной мясной ассоциации Сергей Юшин пояснил, что в целом по стране баранина занимает всего 2% от потребления всего мяса. Причем она пользуется спросом в отдельных регионах, преимущественно Северного Кавказа. С учетом того, что цены на баранину зачастую выше, чем на говядину, то этот вид мяса не пользуется особым спросом, а отрасль в последние годы существенно не развивается. Потребление мяса растет прежде всего за счет птицы и свинины [18].

Анализ рейтинга регионов по поголовью МРС в КФХ и ИП за анализируемый период (табл. 5) показал, что абсолютным лидером стала Республика Дагестан, где поголовье

выросло с 1,5 тыс. голов в 1991 году до 2,441 млн в 2024 году. На ее долю сегодня приходится 29,6% общероссийского поголовья в фермерских хозяйствах. Значительный рост продемонстрировали:

- Карачаево-Черкесская Республика (с 1,7 тыс. до 902,5 тыс. голов – рост в 530 раз);
- Республика Калмыкия (с 46,7 тыс. до 638,7 тыс. – рост в 13,7 раз);
- Ставропольский край (+775,8 тыс. голов);
- Ростовская область (+269,5 тыс. голов).

Таблица 5 – Топ-10 регионов по поголовью овец и коз в КФХ и ИП в 1991 и 2024 годах

Место в рейтинге в 2024 году	Регион	Поголовье (тыс. гол.)	Доля от общего (%)
1	Республика Дагестан	2 441,3	29,6
2	Республика Калмыкия	638,7	7,7
3	Ставропольский край	449,6	5,4
4	Карачаево-Черкесская Республика	902,5	10,9
5	Республика Тыва	179,9	2,2
6	Астраханская область	886,0	10,7
7	Волгоградская область	270,2	3,3
8	Оренбургская область	88,5	1,1
9	Ростовская область	175,8	2,1
10	Республика Хакасия	185,2	2,2

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Республика Тыва продемонстрировала значительную динамику роста поголовья – с 11,4 тыс. голов в 1991 году до 179,9 тыс. голов в 2024 году. Аналогичная тенденция наблюдалась в Московской области, где численность мелкого рогатого скота увеличилась в 13,3 раза – с 1,5 тыс. до 20 тыс. голов за аналогичный период.

Анализ распределения поголовья мелкого рогатого скота в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей позволяет сделать вывод о выраженной территориальной концентрации отрасли. Основная часть поголовья сосредоточена в традиционных овцеводческих регионах Северо-Кавказского и Южного федеральных округов, что подтверждает сохранение исторически сложившейся специализации этих территорий. При этом наименьшие показатели (менее 1 тыс. голов) наблюдаются в удаленных северных и дальневосточных регионах: Магаданской области, Еврейской АО, Ненецком АО, Чукотском АО. Фермерское разведение МРС стало важной альтернативой сокращающемуся производству в сельхозорганизациях, демонстрируя большую устойчивость и адаптивность к рыночным условиям. Однако в последние годы наблюдается достаточно тревожная ситуация, связанная с устойчивым

трендом на сокращение поголовья в данной категории хозяйств.

Динамика поголовья мелкого рогатого скота в личных подсобных хозяйствах населения существенно отличается от тенденций, наблюдаемых в сельхозорганизациях и фермерских хозяйствах. Личные хозяйства демонстрировали относительно стабильное развитие, несмотря на определенные колебания численности поголовья.

Начиная с 1991 года, когда в хозяйствах населения содержалось 17,0 млн голов, наблюдался кратковременный рост до 17,9 млн в 1992 году. Однако в последующий период произошло постепенное сокращение до 9,1 млн голов к 2000 году. С начала 2000-х годов наметилась положительная динамика, позволившая к 2015-2016 годам увеличить поголовье до 11,5 млн. Однако после достижения этого максимума вновь проявилась тенденция к сокращению, в результате чего к 2024 году показатель снизился до 9,4 млн голов (табл.6). Региональные различия весьма существенны. Традиционно высокие показатели сохраняются в южных регионах и национальных республиках, тогда как в северных и центральных областях поголовье сокращается более значительно.

Таблица 6 – Топ-10 регионов по поголовью овец и коз в хозяйствах населения в 2024 году

Место в рейтинге в 2024 году	Регион	Поголовье (тыс. гол.)	Доля от общего поголовья МРС (%)
1	2	3	4
1	Республика Дагестан	1 082,9	11,5
2	Волгоградская область	614,5	6,5
3	Республика Калмыкия	566,0	6,0
4	Ростовская область	522,3	5,5

1	2	3	4
5	Ставропольский край	466,5	5,0
6	Республика Башкортостан	425,0	4,5
7	Республика Тыва	403,0	4,3
8	Астраханская область	382,1	4,1
9	Саратовская область	320,9	3,4
10	Республика Татарстан	232,2	2,5

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Анализ динамики поголовья мелкого рогатого скота в хозяйствах населения России за 1991-2024 годы позволяет выделить несколько ключевых тенденций, характеризующих трансформацию отрасли. Наиболее значимым изменением стало постепенное перераспределение поголовья из северных и центральных регионов в традиционные животноводческие районы Юга и Северного Кавказа.

Первое постсоветское десятилетие (1991-2000 годы) ознаменовалось относительной устойчивостью личных подсобных хозяйств на фоне катастрофического сокращения поголовья в сельхозорганизациях. Если крупные предприятия потеряли около 78% поголовья, то в хозяйствах населения этот показатель составил 42%. Особенно ярко эта закономерность проявилась в республиках Северного Кавказа, где ЛПХ исторически играли важнейшую роль в производстве животноводческой продукции.

Период 2000-2010 годов характеризовался стабилизацией и началом восстановительных процессов. В 15 субъектах Федерации, преимущественно южных, зафиксирован устойчивый рост поголовья в ЛПХ на уровне 18-25%, что в основном связано с наличием перерабатывающей инфраструктуры для продукции овцеводства и козоводства. Наиболее комплексная система переработки сложилась в Ставропольском крае, где исторически сохранился полный производственный цикл – от крупных мясокомбинатов до специализированных предприятий по переработке шерсти. Так, ООО «Ставропольский мясокомбинат» перерабатывает до 30% регионального производства баранины, обеспечивая стабильный сбыт продукции местных ЛПХ, аналогичная ситуация наблюдается в Ростовской области, где сеть из семи перерабатывающих предприятий, включая ОАО «Донская шерсть», создает устойчивую логистическую систему для мелкотоварного производства, в отличие от крупных сельскохозяйственных предприятий, которые не смогли сохранить поголовье в период экономических преобразований и перехода к рыночной экономике. В Республике Дагестан, несмотря на преобладание мелкотоварных ЛПХ, развита сеть мини-перерабатывающих цехов. Согласно данным Минсельхоза республики, более 120 таких

предприятий обеспечивают переработку около 40% производимой баранины. Эта децентрализованная модель позволяет минимизировать логистические издержки в горных районах. Особый интерес представляет Астраханская область, где перерабатывающая инфраструктура ориентирована на экспортные рынки.

Современный этап (2010-2024 годы) отличается усилением пространственной поляризации отрасли. Традиционные регионы овцеводства демонстрируют стабильность показателей, тогда как в северных и центральных областях продолжается сокращение поголовья. При этом появились новые точки роста – в Чеченской Республике и Республике Ингушетия ежегодный прирост составляет 4-7%, что связано с активным возрождением традиционных форм ведения хозяйства.

Таким образом, анализ динамики поголовья МРС в хозяйствах населения показывает устойчивую тенденцию к концентрации производства в традиционных животноводческих регионах при одновременной маргинализации отрасли в зонах рискованного земледелия. Этот процесс отражает общую логику адаптации отрасли к рыночным условиям хозяйствования.

Проведенное исследование выявило значительные изменения в рейтингах регионов, что указывает на необходимость более детального изучения динамики позиций субъектов РФ по поголовью мелкого рогатого скота (МРС) и темпам его сохранности. Для оценки устойчивости связи между региональными рейтингами за 1991 и 2024 годы был использован коэффициент корреляции Спирмена [10, 11].

Анализ устойчивости региональной специализации в овцеводстве России позволяет выявить выраженные пространственные закономерности развития отрасли. Корреляционный анализ демонстрирует высокую степень сохранения сложившейся географической структуры производства, особенно в традиционных районах пастбищного животноводства. Наибольшая стабильность наблюдается в хозяйствах всех категорий и личных подсобных хозяйствах, что свидетельствует о глубокой укорененности овцеводства в системе традиционного природопользования этих регионов (табл.7).

Таблица 7 – Результаты корреляционного анализа рангов регионов РФ по поголовью МРС

Переменная	Коэффициент Спирмена	t-расчетное *
Ранги регионов по поголовью МРС в хозяйствах всех категорий (1991 год и 2024 год)	0,891	18,114
Ранги регионов по поголовью МРС в сельхозорганизациях (1991 год и 2024 год)	0,769	10,851
Ранги регионов по поголовью МРС в КФХ и ИП (1991 год и 2024 год)	0,631	8,255
Ранги регионов по поголовью МРС в хозяйствах населения (1991 год и 2024 год)	0,774	9,854

* критическое значение t-критерия на уровне значимости 5% составляет 1,993

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Сложившаяся территориальная структура отрасли обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов. Природно-географические условия, включая наличие обширных естественных пастбищ и благоприятный климат для круглогодичного содержания скота, создают объективные предпосылки для развития овцеводства. Эти факторы дополняются социально-экономическими условиями, такими как традиционная занятость населения в отрасли и сохранение специфических навыков пастбищного животноводства, передающихся из поколения в поколение.

Особенно показательно, что именно в личных подсобных хозяйствах, наиболее тесно связанных с традиционным укладом жизни, наблюдается максимальная устойчивость региональной специализации. Это подтверждает гипотезу о культурно-исторической обусловленности размещения производства.

В то же время более высокая изменчивость в секторе крестьянских фермерских хозяйств отражает их большую адаптивность к рыночным условиям и способность осваивать новые территории.

Различия в устойчивости региональных позиций между категориями хозяйств подчеркивают различную природу их конкурентных преимуществ. Если сельхозорганизации и ЛПХ сохраняют традиционную специализацию, то фермерские хозяйства демонстрируют большую мобильность и способность к перераспределению ресурсов. Такая дифференциация должна учитываться при разработке региональных программ поддержки отрасли.

Корреляционный анализ оценки влияния темпов роста (сокращения) на рейтинги регионов по поголовью показали неоднозначные результаты (табл. 8).

Таблица 8 – Результаты корреляционного анализа рангов регионов РФ по темпам сохранности поголовья МРС

Показатель	Коэффициент Спирмена	t-расчетное
Поголовье 1991 год (все категории) ↔ Темпы роста (сокращения)	-0,163	-1,579
Поголовье 1991 год (сельхозорганизации) ↔ Темпы роста (сокращения)	-0,043	-0,391
Поголовье 1991 год (КФХ и ИП) ↔ Темпы роста (сокращения)	0,211	1,999
Поголовье 1991 год (хоз-ва населения) ↔ Темпы роста (сокращения)	-0,082	-0,756
Поголовье 2022 год (все категории) ↔ Темпы роста (сокращения)	0,188	1,783
Поголовье 2022 год (сельхозорганизации) ↔ Темпы роста (сокращения)	0,399	4,135
Поголовье 2022 год (КФХ и ИП) ↔ Темпы роста (сокращения)	0,731	10,141
Поголовье 2022 год (хоз-ва населения) ↔ Темпы роста (сокращения)	0,491	3,989

Источник информации: составлено авторами на основе данных Росстата

Слабое влияние показателей 1991 года на последующую динамику свидетельствует о глубине кризисных процессов, которые в значительной степени переформатировали сложившуюся систему размещения производства. Особенно показательно, что

эта закономерность характерна для всех категорий хозяйств, за исключением фермерского сектора, где сохраняется слабая положительная связь. Это объясняется большей гибкостью и адаптивностью фермерских хозяйств, которые смогли эффективнее использовать

новые экономические возможности.

Различия в динамике между категориями хозяйств отражают общую тенденцию перераспределения производства в пользу регионов с конкурентными преимуществами. В фермерском секторе этот процесс выражен особенно ярко, что объясняется его ориентацией на рыночные механизмы и чувствительностью к таким факторам, как доступ к перерабатывающей инфраструктуре, логистическая доступность рынков сбыта и инвестиционная привлекательность территорий. В то же время в традиционных хозяйствах сохраняется большая устойчивость к изменениям, что обеспечивается сохранением традиционных методов ведения хозяйства и ориентацией на местные рынки сбыта.

Наибольший интерес представляют результаты для 2024 года, которые показывают, что в сельскохозяйственных организациях и хозяйствах населения наблюдается умеренная/слабая связь (0,399, 0,411 соответственно). Наличие умеренной связи указывает на отсутствие явной зависимости между местом региона в рейтинге 2024 года и темпами роста (сокращения) поголовья мелкого рогатого скота, которые в нем произошли.

В фермерских хозяйствах и ИП ожидаемо присутствует сильная корреляция (0,731), подтверждающая устойчивость позиций, занимаемых регионами в 2024 году и соответствующим темпом роста поголовья МРС.

Выводы. Анализ овцеводства и козоводства в России за 1991-2024 годы показал значительные изменения в структуре и географии производства. Поголовье МРС сократилось на 67%, но региональное распределение осталось устойчивым (коэффициент корреляции 0,893).

Крупные сельхозорганизации, составлявшие 72% поголовья в 1991 году, уступили место КФХ и ИП (43% в 2024 году), при этом личные подсобные хозяйства сохранили 41%. Отмечаются региональные различия в динамике производства: Республика Дагестан увеличила поголовье на 45%, тогда как Ставропольский край сократил его на 83%, а Астраханская область показала стабильность с уменьшением на 0,6%.

Общероссийские тенденции варьируются в зависимости от региональной специфики,

создавая значительные различия в динамике отрасли, так в Республике Дагестан положительная динамика объясняется сохранением традиционных форм хозяйствования, развитой сетью мини-перерабатывающих предприятий и устойчивым спросом на баранину. В Ставропольском крае сокращение поголовья связано с кризисом тонкорунного овцеводства и закрытием шерстеперерабатывающих комбинатов. Астраханская область смогла сохранить стабильность благодаря ориентации на экспортное халяльное производство и развитие перерабатывающей инфраструктуры. Забайкальский край, где поголовье сократилось на 91%, столкнулся с природными факторами, такими как опустынивание пастбищ. Напротив, в Карачаево-Черкесской Республике рост на 153% стал возможен благодаря сохранению традиционных пастбищных систем.

Наибольшая изменчивость наблюдается в КФХ и ИП (коэффициент корреляции 0,645), что указывает на высокую адаптивность этих хозяйств к рыночным условиям.

Овцеводство в России сталкивается с серьезными системными проблемами, ограничивающими его развитие, это экономические сложности, вызванные ростом затрат на корма, ветеринарное обслуживание и содержание животных при снижении рентабельности, что приводит к массовому сокращению численности овец в хозяйствах.

Ситуацию усугубляет кадровый дефицит квалифицированных специалистов, что негативно сказывается на производительности. Климатические изменения также создают дополнительные риски, снижая продуктивность пастбищ и увеличивая частоту засушливых периодов и аномальных погодных явлений.

Особую тревогу вызывает исчезновение товарного овцеводства как значимого экономического направления. Убыточность производства, вызванная внутренними факторами и снижением потребительского спроса, приводит к сокращению поголовья МРС. Для решения этих проблем необходимы новые подходы к организации отрасли, включая модернизацию производственных процессов, разработку целевых программ поддержки и стимулирование спроса на продукцию овцеводства.

Литература

1. Лушников Н. А. Состояние отрасли и современные тенденции развития животноводства / Н. А. Лушников, П. Е. Подгорбунских, Н. М. Костомахин // Главный зоотехник. 2016. № 5. С. 7-18.
2. Уколова А.В., Дашиева Б.Ш., Токарев В.С., Невзоров А.С., Храмов Д.Э. Статистико-экономический анализ состояния и развития овцеводства и козоводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах Российской Федерации // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. №5. С. 151-167.
3. Дробышев Ю. И. Трансформация традиционного природопользования тюрко-монгольских народов в бассейне Р. Селенги // Nomadic Civilization: Historical Research. 2023. Т. 3, № 1. С. 21-35.
4. Полозова Т.В. Перспективы производства и переработки мелкого рогатого скота в Республике Бурятия / Т. В. Полозова, Е. Г. Семенова // Вестник ВСГУТУ. 2020. № 2(77). С. 14-17.
5. Развитие молочного козоводства – перспективное направление агробизнеса / А. Н. Семин, В. П. Черданцев, Т. М. Свечникова, И. И. Давлетов // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 6. С. 81-84.
6. Силаева Л. П. Основные тенденции пространственного развития сельского хозяйства России // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 3. С. 94-98.
7. Тайбыл Р.С. Статистический анализ поголовья мелкого рогатого скота в странах мира / Р. С. Тайбыл, Ч. Б. Даржаа, В. К. Севек // Экономика и предпринимательство. 2020. № 5(118). С. 104-108.

8. Осинина А. Ю. Основные тенденции и перспективы развития рынка мяса в США / А. Ю. Осинина, Т. О. Мухамедова // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 6. С. 103-107.
9. Сутыгина А. И. Особенности интеграции агропродовольственного комплекса России в глобализирующую экономику / А. И. Сутыгина // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 1. С. 101-108.
10. Оценка влияния факторов на динамику распределения поголовья скота по регионам Российской Федерации / Е. Ц. Чимитдоржиева, Д. Ц. Гармаев, Т. Б. Бардаханова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 1(73). С. 139-145.
11. Устойчивость вклада регионов в развитие отрасли мясного скотоводства / Е. Ц. Чимитдоржиева, Е. Н. Ванчикова, О. П. Санжина, И. Г. Сангадиева // АПК: экономика, управление. 2023. № 10. С. 71-77.
12. Fan Y. H. «Criteria for ranking of nation-states through regional knowledge evaluation» The American Economist, vol. 60, no. 2, 2015, pp. 162–75. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/43664861>. Accessed 31 July 2023.
13. Estevão João & Dias Lopes, Jose & Penela, Daniela & Soares, José. (2019). The Doing Business ranking and the GDP. A qualitative study. Journal of Business Research. 115. 10.1016/j.jbusres.2019.11.067.
14. Jiamiao Yang, Yanwen Wang, Hao Zhang. Impact of socio-economic and environmental factors on livestock production in Kyrgyzstan // Frontiers in Environmental Science. 2022. №10, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.1049187>. doi: 10.3389/fenvs.2022.1049187.
15. Ханбабаев Т.Г. Резервы роста продукции овцеводства Дагестана в условиях импортозамещения / Т.Г. Ханбабаев, Г.Д. Догеев // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №2 (33). URL: (Дата обращения 17.06.2025).
16. Структуризация экономического пространства малых форм ведения бизнеса в АПК / Е. В. Дудукалов, Е. Ю. Золочевская, М. Ю. Сорокина, Л. С. Мангушева // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 2. С. 176-215.
17. Природно-климатические аспекты развития животноводческой отрасли в степной зоне Забайкальского края: проблема согласования спроса и предложения экосистемных услуг / А. Н. Новиков, Т. И. Заборцева, В. И. Гильфанова, В. З. Багова // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9, № 6. С. 154.
18. Овчинка выделки не стоит: почему в ЮФО и СКФО сокращается поголовье овец [Электронный ресурс] // РБК Краснодар. 2024. 14 марта. Режим доступа: <https://kuban.rbc.ru/krasnodar/14/03/2024/65f1d3389a7947479173bb4b> (Дата обращения 17.06.2025)

Сведения об авторах:

Чимитдоржиева Екатерина Цыренжабовна - кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной экономики, e-mail: katrin_c@mail.ru
 Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, Улан-Удэ, Россия
 Полозова Татьяна Владимировна - кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии производства, переработки и стандартизации сельскохозяйственной продукции, e-mail: tatianapolozova@inbox.ru
 Шобдоева Надежда Валерьевна - кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики сельского хозяйства, e-mail: shnv2019@mail.ru
 Баниева Марина Алексеевна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита, e-mail: eco_dec@mail.ru
 Ванчикова Елена Николаевна - доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента, e-mail: evanch@mail.ru
 Бурятская сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF SMALL CATTLE POPULATION DYNAMICS IN THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

E.Ts. Chimitdorzhieva, T.V. Polozova, N.V. Shobdоеva, M.A. Banieva, E.N. Vanchikova

Abstract. Between 1991 and 2024, Russia experienced a reduction of over 60% in its total small ruminant livestock population - from 58.2 million to 19.1 million head. The most significant decrease was observed in the Central (-85.2%) and Far Eastern (-86.6%) federal districts, while in the Southern (-25.5%) and North Caucasian (-26.9%) districts the rate of decrease was minimal. The structural transformation of the industry deserves special attention: if in 1991 agricultural organizations accounted for 58.3% of the livestock, then by 2024 their share had decreased to 14.5%, while the share of peasant (farm) households and individual entrepreneurs increased from 1.2% to 41.5%. The conducted analysis made it possible to identify three types of regions based on the dynamics of industry development. The first group includes regions that are leaders in growth, such as the Republic of Dagestan (+148%) and the Karachay-Cherkess Republic (+153.7%), where favorable conditions for traditional sheep and goat breeding are preserved, associated with the preservation of traditional forms of management, a developed network of mini-processing enterprises and a stable demand for lamb in local cuisine. The second group is represented by stable regions, among which, for example, Astrakhan region stands out with a slight decrease in livestock (-0.6%) due to the development of export directions for the sale of small ruminant meat. The third group consists of crisis territories, such as the Volgograd region (-97.2%) and the Zabaikalsky Krai (-91.6%), where the industry faced the most serious problems associated with both the general crisis of the industry and specific regional factors. An analysis of the sustainability of regional specialization in sheep farming in Russia allows us to identify pronounced spatial patterns in the development of the industry. Correlation analysis demonstrates a high degree of preservation of the existing geographical structure of production, especially in traditional areas of pasture livestock farming. The greatest stability is observed in private subsidiary farms, which indicates the deep rootedness of sheep farming in the system of traditional nature management in these regions.

Key words: small cattle, regional specialization, rank correlation, sustainability of production, livestock dynamics, typology of regions.

References

1. Lushnikov NA, Podgorbunskikh PE, Kostomakhin NM. [State of the industry and modern trends in the animal husbandry development]. Glavnyy zootekhnik. 2016; 5. 7-18 p.
2. Ukolova AV, Dashieva BSh, Tokarev VS, Nevzorov AS, Khramov DE. [Statistical and economic analysis of the state and development of sheep and goat breeding in peasant (farm) households of the Russian Federation]. Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 5. 151-167 p.

3. Drobyshev YuI. [Transformation of traditional nature management of the turkic-mongol peoples in Selenga river basin]. *Nomadic Civilization: Historical Research*. 2023; Vol.3. 1. 21-35 p.
4. Polozova TV, Semenova EG. [Prospects for the production and processing of small livestock in the Republic of Buryatia]. *Vestnik VSGUTU*. 2020; 2(77). 14-17 p.
5. Semin AN, Cherdantsev VP, Svechnikova TM, Davletov II. [Development of dairy goat breeding - a promising direction of agribusiness]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2022; 6. 81-84 p.
6. Silaeva LP. [The main trends in the spatial development of agriculture in Russia]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2022; 3. 94-98 p.
7. Taybyl RS, Darzhaa ChB, Sevek VK. [Statistical analysis of the number of small cattle in the countries of the world]. *Ekonomika i predprinimatelstvo*. 2020; 5(118). 104-108 p.
8. Osinina AYU, Mukhamedova TO. [The main trends and prospects for the development of meat market in the USA]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2022; 6. 103-107 p.
9. Sutygina AI. [Features of the integration of agro-food complex of Russia into the globalizing economy]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2023; 1. 101-108 p.
10. Chimitdorzhieva ETs, Garmaev DTs, Bardakhanova TB. [Assessment of the influence of factors on the dynamics of livestock distribution by regions of the Russian Federation]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 1(73). 139-145 p.
11. Chimitdorzhieva ETs, Vanchikova EN, Sanzhina OP, Sangadieva IG. [Sustainability of the contribution of regions to the development of beef cattle industry]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2023; 10. 71-77 p.
12. Fan YH. "Criteria for ranking of nation-states through regional knowledge evaluation". *The American Economist*, vol.60, no.2, 2015; 162-75 p. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/43664861>. Accessed 31 July 2023.
13. Esteveao, Joao & Dias Lopes, Jose & Penela, Daniela & Soares, Jose. (2019). The Doing Business ranking and the GDP. A qualitative study. *Journal of Business Research*. 115. 10.1016/j.jbusres.2019.11.067.
14. Jiamiao Yang, Yanwen Wang, Hao Zhang. Impact of socio-economic and environmental factors on livestock production in Kyrgyzstan. [Internet]. *Journal Frontiers in environmental science*. Vol.10. 2022; [cited 2023, July 31]. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.1049187>, DOI=10.3389/fenvs.2022.1049187, ISSN=2296-665X.
15. Khanbabaev TG, Dogeev GD. [Reserves for growth of sheep farming production in Dagestan in the context of import substitution]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2015; 2 (33). [cited 2025, June 17]. Available from: [object Object].
16. Dudukalov EV, Zolocheskaya EYu, Sorokina MYu, Mangusheva LS. [Structuring the economic space of small businesses in the agro-industrial complex]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022; Vol.14. 2. 176-215 p.
17. Novikov AN, Zabortseva TI, Gilfanova VI, Bagova VZ. [Natural and climatic aspects of the development of livestock industry in the steppe zone of the Zabaykalskiy Krai: the problem of coordinating the supply and demand of ecosystem services]. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2017; Vol.9. 6. 154 p.
18. The game is not worth the candle: why the sheep population is declining in the Southern and North Caucasian Federal Districts. [Internet]. *RBK Krasnodar*. 2024; March 14. [cited 2025, June 17]. Available from: <https://kuban.rbc.ru/krasnodar/14/03/2024/65f1d3389a7947479173bb4b>.

Authors:

Chimitdorzhieva Ekaterina Tsyrenzhabovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Applied Economics Department, e-mail: katrin_c@mail.ru
 Buryat State University named after D.Banzarov, Ulan-Ude, Russia
 Polozova Tatyana Vladimirovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Department of Technology of production, processing and standardization of agricultural products, e-mail: tatianapolozova@inbox.ru
 Shobdoeva Nadezhda Valerevna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, Head of Agricultural Economics Department, e-mail: shnv2019@mail.ru
 Banieva Marina Alekseevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Accounting and Auditing Department, e-mail: eco_dec@mail.ru
 Vanchikova Elena Nikolaevna - Doctor of Economics, Professor, Professor of Management Department, e-mail: evanch@mail.ru
 Buryat Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude, 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 – ВИНТИ).

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 30% 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 «серийных» 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 в 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 30% 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 for a charge, the 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 № 2 (78), август 2025 г.

Редактор – Михайлова Л.В.
Технический редактор – Шумков Т.А.
Коррекция переводов – Галлямова Н.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.

ISSN 2073-0462



9 772073 046162 >

Формат 60x84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 15.08.2025
Печать офсетная. Усл. п. л. 21,5 Заказ 20. 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