

Номер 3

ISSN 2500-2627
Май–Июнь 2025



РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА

Научно-теоретический журнал



НАУКА
— 1727 —

Содержание

Земледелие и мелиорация

- И. А. Драгавцева, И. Ю. Савин, А. В. Ключкина, З. П. Ахматова, В. В. Николенко**
К созданию инновационной технологии оптимизации размещения сортов плодовых культур на основе анализа их адаптивности к воздействию температурных стрессов 3

- О. А. Минакова, Л. Н. Путилина**
Влияние удобрений на продуктивность и технологические качества гибридов сахарной свеклы отечественной селекции в условиях ЦЧР 9

Растениеводство, защита и биотехнология растений

- Л. В. Панихина, И. Н. Щенникова**
Особенности морфологических реакций коллекционных образцов ярового ячменя на увеличение плотности посева 14

- И. С. Агасьева, В. Я. Исмаилов, М. В. Петрищева, А. С. Настасий, В. С. Петрищев**
Регулирующая роль энтомофагов в снижении численности основных вредителей в посевах сои 21

- Н. А. Егорова, С. С. Бабанина, И. В. Ставцева**
Сохранение сортов и образцов лаванды узколистной *in vitro* и анализ их генетической стабильности 27

Агропочвоведение и агроэкология

- А. А. Завалин, А. С. Карашаева, Е. Н. Старостина, А. О. Зверев**
Изменения микробного сообщества дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при возделывании различных сельскохозяйственных культур 35

Зоотехния и ветеринария

- М. И. Сложенкина, И. Ф. Горлов, Т. А. Антипова, Н. И. Мосолова, О. В. Кудряшова, Е. Ю. Анисимова, Н. А. Ткаченко**
Молочная продуктивность и качество молока коров-первотелок красной степной породы в зависимости от линейной принадлежности 40

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

- Я. П. Лобачевский, Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Ю. Х. Шогенов**
Научно-технические достижения агроинженерной науки в условиях цифровизации сельского хозяйства 45

- З. А. Годжаев, В. В. Лиховской, В. П. Горобей, В. Ю. Москалевич**
Снижение энергоемкости процесса измельчения виноградной лозы подборщиком-измельчителем 54

- Е. А. Четвериков, А. Г. Арженовский, Е. А. Шабаев, В. Н. Беленов**
Экспериментальное обоснование параметров стимуляции конвективной сушки зерна СВЧ-излучением 60

Хранение и переработка

- Е. М. Серба, Е. Р. Крючкова, Л. В. Римарева, Н. И. Игнатова, М. Б. Оверченко, Е. Н. Соколова**
Влияние условий приготовления суслу из зерна пшеницы и жмыха черной смородины на процессы метаболизма дрожжей и спиртового брожения 66

Contents

Agriculture and land reclamation

I. A. Dragavtseva, I. Yu. Savin,, A. V. Klyukina, Z. P. Akhmatova, V. V. Nikolenko

Towards creation of innovative technology for optimization of fruit crop varieties placement on the basis of analysis of their adaptability to the impact of temperature stresses 3

O. A. Minakova, L. N. Putilina

The effect of fertilizers on the productivity and technological qualities of domestic sugar beet hybrids in the conditions of the Central Black-Earth Region 9

Crop Production, Plant Protection, and Biotechnology

L. V. Panikhina, I. N. Shchennikova

Features of morphological reactions of collection samples of spring barley to an increase in crop density 14

I. S. Agas'eva, V. Ya. Ismailov, M. V. Petrishcheva, A. S. Nastasii, V. S. Petrishchev

The regulatory role of entomophages in reducing the abundance of major pests in soybean crops 21

N. A. Yegorova, S. S. Babanina, I. V. Stavtseva

In vitro preservation of lavender cultivars and samples and analysis of their genetic stability 27

Agronomic Soil Science and Agroecology

A. A. Zavalin, A. S. Karashaeva, E. N. Starostina, A. O. Zverev

Changes in the microbial community of sod-podzolic heavy loamy soil during cultivation of various agricultural crops 35

Animal science and veterinary medicine

M. I. Slozhenkina, I. F. Gorlov, T. A. Antipova, N. I. Mosolova, O. V. Kudryashova, E. Yu. Anisimova, N. A. Tkachenkova

Milk productivity and milk quality of the first-heifer cows of the red steppe breed, depending on the lineage 40

Mechanization, electrification, automation, and digitalization

Ya. P. Lobachevsky, Yu. F. Lachuga, A. Yu. Izmailov, Yu. Kh. Shogenov

Scientific and technical achievements of agro-engineering science in the conditions of digitalization of agriculture 45

Z. A. Godzhaev, V. V. Likhovskoy, V. P. Gorobey, V. Yu. Moskalevich

Reducing the energy intensity of the process of crushing grape vines with a pick-up-chopper 54

E. A. Chetverikov, A. G. Arzhenovsky, E. A. Shabaev, V. N. Belenov

Experimental substantiation of the stimulation parameters of the grain convective drying by RF-radiation 60

Storage and processing

E. M. Serba, E. R. Kryuchkova, L. V. Rimareva, N. I. Ignatova, M. B. Overchenko, E. N. Sokolova

Influence of conditions of preparation of wheat grain wort and blackcurrant cake on yeast metabolism and alcoholic fermentation processes 66

Земледелие и мелиорация

УДК 634.25

DOI 10.31857/S2500262725030018 EDN FDIZWD

К СОЗДАНИЮ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ СОРТОВ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ АДАПТИВНОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРЕССОВ

© 2025 г. **И. А. Драгавтцева**¹, доктор сельскохозяйственных наук, **И. Ю. Савин**^{2,3}, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, **А. В. Ключкина**¹, **З. П. Ахматова**⁴, кандидат сельскохозяйственных наук, **В. В. Николенко**⁵, кандидат биологических наук

¹Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия, 350901, Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39

²Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

³Институт экологии Российского университета дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

⁴Северо-Кавказский институт горного и предгорного садоводства, 360001, Нальчик, ул. Шарданова, 23

⁵Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, 295007, Республика Крым, Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

Для радикального повышения урожая плодовых культур необходимы новые знания о защитно-приспособительных реакциях конкретных сортов к лимитам среды их выращивания. Цель исследований – разработка научных подходов к повышению урожая сортов плодовых культур посредством получения знаний о степени их адаптивности к неблагоприятным температурным условиям зимне-весеннего периода на примере персика в Республике Кабардино-Балкария. Сопоставляли данные многолетних наблюдений о потерях урожая трех сортов персика с минимальными температурами воздуха за период с 1985 по 2024 г. в Степной, Предгорной и Горностепной зонах садоводства республики. С использованием геоинформационных систем построены пространственно-временные сценарии и прогноз пригодности земель к 2040 г. при сохранении выявленных тенденций. Установлены критические значения минимальных температур сортов персика в фазы покоя (-20...-25 °C), набухания (-15...-20 °C) и распускания (-7...-13 °C) цветковых почек, появления лепестков (-6...-9 °C), цветения (-2...-3,5 °C) и вероятность проявления их губительного действия на урожай. Несмотря на отмечаемые изменения климата в сторону повышения средних температур воздуха, в последние десятилетия в целом на территории республики увеличивается вероятность проявления критических для персика температур воздуха, особенно в горах и предгорьях. Совместный анализ созданных карт пригодности земель для выращивания персика по состоянию на 2024 г. и прогнозных сценариев на 2040 г. позволяет выделить земли, пригодность которых при сохранении существующих трендов не изменится, либо улучшится до приемлемых значений, либо останется низкой и даже ухудшится. Предложенный подход позволяет планировать размещение сортов многолетних плодовых культур с учетом глобальных изменений климата. При этом следует отметить, что в его рамках учитываются только тренды изменения критических температур зимне-весеннего периода на различных высотах местности.

TOWARDS CREATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR OPTIMIZATION OF FRUIT CROP VARIETIES PLACEMENT ON THE BASIS OF ANALYSIS OF THEIR ADAPTABILITY TO THE IMPACT OF TEMPERATURE STRESSES

I. A. Dragavtseva¹, **I. Yu. Savin**^{2,3}, **A. V. Klyukina**¹, **Z. P. Akhmatova**⁴, **V. V. Nikolenko**⁵

¹North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking, 350901, Krasnodar, ul. im. 40-letiya Pobedy, 39

²Federal Research Center "Dokuchaev Soil Science Institute", 119017, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str. 2

³Institute of Environmental Engineering of Peoples' Friendship University of Russia, 117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6

⁴North Caucasus Institute of Mountain and Foothill Horticulture, 360001, Nalchik, ul. Shardanova, 23

⁵Vernadsky Crimean Federal University, 295007, Respublika Krym, Simferopol', prosp. Akademika Vernadskogo, 4
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

A radical increase in fruit crop yields requires new knowledge about the protective and adaptive reactions of specific varieties to the limits of their growing environment. The purpose of the research is to develop new scientific approaches to increasing the yields of fruit crop varieties by obtaining new knowledge about the degree of their adaptability to adverse temperature conditions in the winter and spring period, using the example of a peach in the Republic of Kabardino-Balkaria. Data from long-term observations on crop losses of three peach varieties with minimum air temperatures for the period from 1985 to 2024 were compared. in the Steppe, Foothill and Mountain gardening zones of the Republic. Using geoinformation systems, spatial and temporal scenarios and a forecast of land suitability by 2040 have been constructed while maintaining the identified trends. The values of critical temperatures of peach

varieties by development phases are established, and the probability of crop losses is estimated on average for two ranges of years: 1985–2000 and 2001–2024, taking into account the cyclical climate. Spatial modeling has shown that despite the observed climate changes in the research area towards an increase in average air temperatures, in recent decades, in general, the likelihood of critical air temperatures in the Republic, especially in the mountains and foothills, has increased. A joint analysis of the created maps of the suitability of land for growing peaches as of 2024 and forecast scenarios of the suitability of land in the region for 2040. It allows us to identify lands whose suitability, while maintaining existing trends, will not change by 2040, either improve to acceptable values, or remain low and even worsen. The proposed approach makes it possible to plan the placement of varieties of perennial fruit crops, taking into account global climate changes. Within the framework of this approach, only trends in changes in critical temperatures of the winter-spring period at various heights of the terrain are taken into account.

Ключевые слова: персик, сорт, продуктивность, климат, фаза развития, адаптивность, размещение сортов, Кабардино-Балкария.

Keywords: peach, varieties, productivity, climate, development phases, adaptability, location, Kabardino-Balkaria.

В 1940 г. П. Г. Шитт и З. А. Метлицкий в книге «Плодоводство» писали: «Каждый растительный организм сталкивается в борьбе за существование с комплексом внешней среды. Чем хуже были внешние условия для развития той или иной формы в процессе эволюции, тем лучше выражена приспособленность этой формы как в построении органов, так и в характере развития» [1]. Следовательно, каждая плодовая культура имеет свой эволюционный путь развития и свой уровень защитно-приспособительных реакций на воздействия среды выращивания, различный в разрезе фаз онтогенеза. В условиях юга России основными абиотическими факторами, определяющими успешное протекание продукционного процесса плодовых культур и сортов, выступают температурный режим зимне-весеннего и летне-осеннего периодов, обеспечивающий комфортное протекание каждой из фаз онтогенеза [2], степень садопригодности почв территорий выращивания; благоприятность орографических условий для возделывания плодовых культур.

Садопригодность земель по почвам и рельефу предопределяет общую возможность возделывания культур [3]. В связи с изменением климата температурные лимиты среды (выше +35 °C) стали также проявляться в летне-осенний период, отрицательно влияя на дифференциацию цветковых почек [4, 5, 6]. Однако урожайность плодовых культур на Северном Кавказе до сих пор зависит преимущественно от низкотемпературных стрессоров зимне-весеннего периода [7, 8].

При наступлении дискомфортных воздействий среды у растений возникают защитно-приспособительные реакции, индивидуальные для каждой фазы развития. Они имеют свои особенности, связанные со степенью адаптивности сортов (пластичностью онтогенеза) [9, 10, 11]. Поэтому их изучение – актуальная задача, решение которой позволит управлять продуктивностью сортов плодовых культур и, следовательно, их урожайностью.

Цель исследования – разработка научного подхода к повышению урожая плодовых культур путем оптимизации размещения насаждений с учетом знаний о степени их адаптивности к неблагоприятным температурным условиям зимне-весеннего периода и климатических трендов.

Методика. В качестве примера для демонстрации нового подхода были выбраны насаждения персика в сложных природных условиях Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Объектом исследования служили данные многолетних полевых наблюдений за развитием трех сортов культуры различной морозостойкости: Золотой Юбилей со средней морозостойкостью (селекции Северо-Кавказского ФНАЦ); Нарядный Никитский с пониженной морозостойкостью (селекции Никитского ботанического сада); Надия с повышенной морозостойкостью (селекции НИИ горного и предгорного садоводства).

В качестве переменных параметров среды выращивания использовали минимальные температуры зимне-весеннего периода по двум диапазонам лет: 1985–2000 гг. (до начала четко выделяемого изменения климата) и 2001–2024 гг. (в процессе его современного изменения), критические значения которых для изучаемых сортов зависят от их наследственных особенностей. Исследования проводили в трех основных зонах садоводства республики, для каждой из которых была выбрана представительная метеостанция с ежедневными данными о минимальных температурах воздуха за указанные годы: в степной зоне – метеостанция Прохладное (высота над уровнем моря 208 м, географические координаты 43°45'26" с.ш., 44°01'46" в.д.); в предгорной – метеостанция Налчик (абсолютная высота 512 м, географические координаты 43°29'53.2" с.ш., 43°37'8" в.д.); в горностепной – метеостанция Тырныауз (абсолютная высота 1300 м, географические координаты 43°22'58" с.ш., 42°55'6" в.д.).

Для пространственного моделирования на всей территории республики дополнительно привлекали ежедневные метеорологические данные реанализа (результаты глобального моделирования метеопараметров за период с 1985 по 2024 г.) (NASA Langley Research Center (LaRC), USA) [12].

На первом этапе исследований на основе данных многолетних полевых наблюдений были выявлены критические минимальные температуры воздуха по основным фазам развития (органический и вынужденный покой, вынужденный покой, набухание и распускание цветковых почек, появление лепестков, цветение), лимитирующим размеры урожая персика в районе исследований. Календарные декады наступления фаз развития определяли на основе результатов полевых наблюдений.

Сопоставление критических температур с фактическими данными метеостанций позволило оценить вероятность проявления по годам минимальных температур, губительных для урожая сортов персика и рассчитать среднюю многолетнюю вероятность гибели урожая.

Далее было проведено пространственное моделирование вероятности проявления критических температур для всей территории республики для двух сортов: с пониженной и повышенной морозостойкостью (Нарядный Никитский и Надия соответственно). На основе этих данных в ГИС были построены карты пригодности земель территории исследований по минимальным температурам воздуха для 1985–2000 и 2001–2024 гг., а затем проведено их сравнение между собой для выявления тенденции изменений пригодности.

По ежегодным данным степени пригодности были построены карты ее тренда для изучаемых сортов за период с 1985 по 2024 г. Тренд пригодности оценивали по коэффициенту наклона линии линейного тренда вероятности проявления по годам критических температур за все фазы

зимне-весеннего развития. С учетом карт тренда была сделана попытка пространственно-временной экстраполяции карт пригодности земель до 2040 г. при условии сохранения тенденций, выявленных за период с 1985 по 2024 г.

Выделяли 5 классов пригодности с учетом средней многолетней вероятности проявления критических температур хотя бы в одной из фаз развития. Класс пригодности «0» присваивали при вероятности 0, класс пригодности «1» – при вероятности ниже 0,25, класс пригодности «2» – при вероятности проявления критических температур 0,25...0,50, класс пригодности «3» – при вероятности 0,50...0,75 и класс пригодности «4» – при вероятности проявления критических температур выше 0,75.

Карты пригодности для периода 2001–2024 гг. и карты тренда использовали для построения прогнозных карт пригодности на 2040 г. Их анализ позволяет разработать рекомендации по оптимальному размещению новых насаждений персика на территории исследований с учетом наблюдаемых изменений климата.

Пространственное моделирование и построение цифровых карт выполняли с использованием ГИС ILWISv.3.3 [13, 14].

Результаты и обсуждение. Установленные в результате анализа величины критических температур (табл. 1) мало отличаются от таковых для соседних регионов, так как набор возделываемых сортов персика в них практически одинаков [7].

Табл. 1. Матрица пороговых значений минимальных температур, губительных для сортов персика в разрезе фаз их развития для территории КБР, °С

Месяц и декада проявления	Фаза развития	Сорт		
		Золотой юбилей	Нарядный Никитский	Надия
Январь I (ЯИ)	органический	-23	-22	-25
Январь II (ЯИ)	и вынужденный покой (оп)	-23	-22	-24
Январь III (ЯИ)	вынужденный	-22	-20	-23
Февраль I (ФИ)	покой (вп)	-21	-20	-22
Февраль II (ФИ)	набухание	-20	-18	-20
Февраль III (ФИ)	цветковых почек (нцп)	-18	-15	-19
Март I (МИ)	распускание	-11	-9	-13
Март II (МИ)	цветковых почек (рцп)	-9	-7	-10
Март III (МИ)	появление лепестков (пл)	-8	-6	-9
Апрель I (АИ)	цветение (ц)	-3	-2	-3,5

Вероятность наступления лет с температурными стрессами зимне-весеннего периода, приводящими к гибели урожая сортов персика, в большинстве случаев уменьшилась (табл. 2). Так, для сорта Золотой Юбилей в 2001–2024 гг., по сравнению с предыдущим периодом, в Степной зоне она уменьшилась на 0,7 %, в Горностепной – на 12,3 %, а в Предгорной зоне увеличилась на 1,0 %.

Для сорта Нарядный Никитский вероятность гибели урожая от стрессоров зимне-весеннего периода особенно ощутимо уменьшилась в Степной и Предгорной зонах (соответственно на 21,1 и 10,4 %). Для сорта Надия вероятность гибели урожая снизилась в Степной и Горностепной зонах (соответственно на 5,0 и 2,8 %), но немного увеличилась в Предгорной зоне (на 1,0 %).

То есть для всех сортов в Степной и Горностепной зонах вероятность гибели урожая снизилась, и только в Предгорной зоне выявлен разнонаправленный тренд для разных сортов.

В фазе органического покоя ни один из сортов персика на территории исследований не подвергался

Табл. 2. Вероятность проявления губительных для урожая сортов персика низких температур по двум периодам лет (1985–2000 гг., 2001–2024 гг.), %

Сорт	Диапазон лет	
	1985–2000	2001–2024
Метеостанция Прохладное (Степная зона)		
Нарядный Никитский	73,3	52,2
Золотой Юбилей	27,6	26,3
Надия	26,7	21,7
Метеостанция Нальчик (Предгорная зона)		
Нарядный Никитский	80,0	69,6
Золотой Юбилей	60,0	61,0
Надия	60,0	61,0
Метеостанция Тырныауз (Горностепная зона)		
Нарядный Никитский	80,0	78,3
Золотой Юбилей	73,3	61,0
Надия	60,0	57,2

воздействию критических температур воздуха в зимне-весенний период за весь анализируемый период с 1985 по 2024 г. (табл. 3). При этом четко прослеживается нарастание проявлений критических температур от Степной к Предгорной и Горностепной зонам для всех сортов. В фазе цветения для всех изучаемых сортов и зон отмечено проявление критических температур воздуха. В целом реакция исследуемых сортов персика на температурные воздействия зимне-весеннего периода во времени и пространстве подтверждает наличие у растений наследственно адаптивных резервов морозостойкости [2], которые можно и необходимо использовать для радикального повышения урожая в Кабардино-Балкарии.

Результаты пространственного моделирования пригодности земель КБР для возделывания сортов Нарядный Никитский (самый теплолюбивый) и Надия (самый морозостойкий из выборки) для анализируемых диапазонов лет свидетельствуют (рис. 1), что в 2001–2024 гг. по сравнению с 1985–2020 гг. количество земель, пригодных для выращивания сорта Нарядный Никитский, уменьшилось. При этом площадь земель, пригодных без ограничений, сократилась почти в 2 раза.

Для сорта Надия показатели степени пригодности земель также ухудшились, но в гораздо меньшей степени (рис. 2). Следовательно, несмотря на изменения климата в сторону повышения средних температур воздуха [16, 17], в последние десятилетия в целом на территории республики происходит увеличение вероятности про-

Табл. 3. Проявление критических температур для отдельных сортов и метеостанций по фазам развития

Сорт	Метеостанция	Диапазон лет	Фаза развития, месяц и декада																	
			оп*			вп			нцп			рцп			пл			п		
			я я я	я я я	Ф	Ф	Ф	М	М	М	М	А	А	А	А	А	А			
Нарядный Никитский	Прохладное	1985–2000		X**	X			X		X		X		X		X		X		
		2001–2024		X	X		X	X	X		X		X		X		X		X	
	Нальчик	1985–2000		X	X	X	X		X		X		X		X		X		X	
		2001–2024		X	X				X	X	X		X		X		X		X	
	Тырныауз	1985–2000		X	X	X	X		X		X		X		X		X		X	
		2001–2024			X	X	X	X	X	X	X		X		X		X		X	
Золотой Юбилей	Прохладное	1985–2000		X		X													X	
		2001–2024		X	X					X									X	
	Нальчик	1985–2000		X	X	X	X			X		X		X		X		X		
		2001–2024			X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Тырныауз	1985–2000				X	X	X			X		X		X		X		X	
		2001–2024		X	X					X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Надия	Прохладное	1985–2000		X		X	X												X	
		2001–2024		X	X				X										X	
	Нальчик	1985–2000				X	X	X			X		X		X		X		X	
		2001–2024				X				X	X		X	X	X	X	X	X	X	
	Тырныауз	1985–2000				X	X	X			X		X		X		X		X	
		2001–2024				X				X	X		X	X	X	X	X	X	X	

*условные обозначения см. в табл. 1.

**X – проявление критических температур.

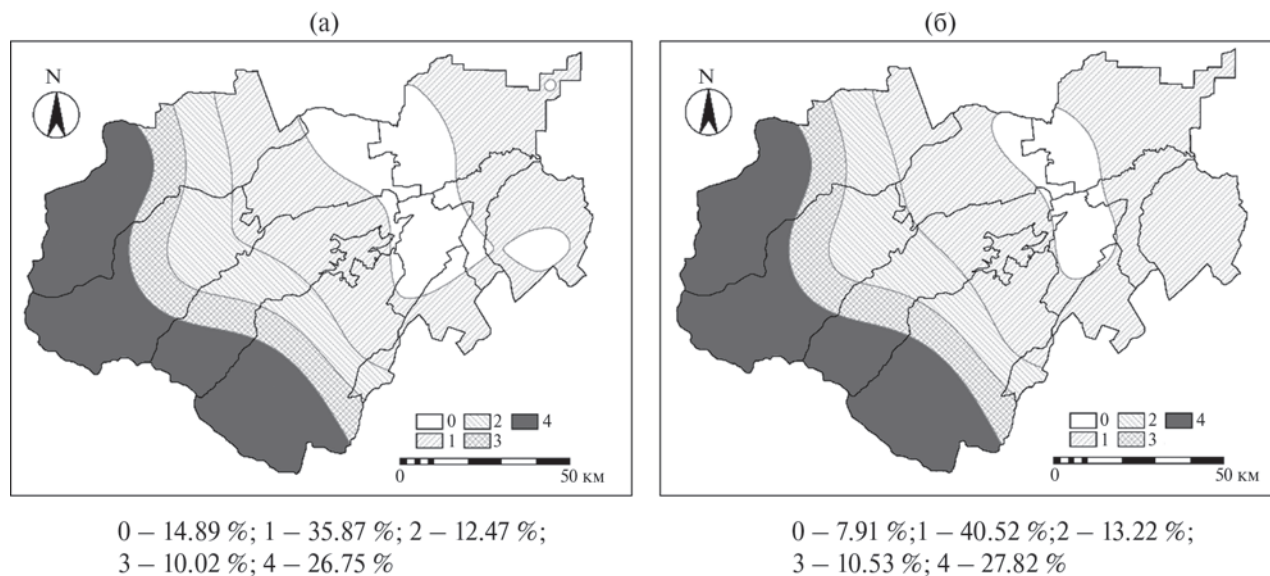


Рис. 1. Пригодность земель КБР для выращивания сорта Нарядный Никитский, % от всей территории: а – 1985–2000 гг.; б – 2001–2024 гг.

явления критических для персика температур. Но локально присутствуют и земли, где такие процессы идут в обратном направлении.

Пространственный анализ тренда вероятности проявления критических для персика температур воздуха показал, что для сорта Нарядный Никитский положительный тренд (рост вероятности повреждения) выявлен на всей равнинной части КБР, а отрицательный (уменьшение вероятности) – в горах. Для сорта Надия выявлен отрицательный тренд для большей части КБР и только на крайнем северо-западе выделен небольшой участок с положительным трендом.

В случае сохранения выявленных трендов на ближайшие годы (до 2040 г.) пригодность земель для анализируемых сортов персика может быть представлена в виде соответствующих пространственных сценариев (рис. 3). Например, для сорта Нарядный Никитский в республике практически не останется территорий без каких-либо ограничений к выращиванию, а для сорта

Надия на их долю будет приходиться более половины территории республики.

Совместный анализ карт пригодности земель по состоянию на 2024 г. и прогнозных сценариев для выращивания персика на 2040 г. позволяет выделить земли, пригодность которых при сохранении существующих трендов не изменится, улучшится до приемлемых значений, останется низкой или ухудшится до низких значений (рис. 4). В качестве перспективных для расширения плантаций персика в разрабатываемых сценариях приняты земли с классами пригодности 0 и 1 (гес на картах рис. 4) и земли, для которых ожидается, что их пригодность улучшится до 0 или 1 класса к 2040 г. (гес и на картах рис. 4).

Предложенный подход позволяет учесть пространственно-временные тренды климатических изменений при планировании размещения новых насаждений персика, а не опираться только на фактическую пригодность на момент посадки плодового сада, как это

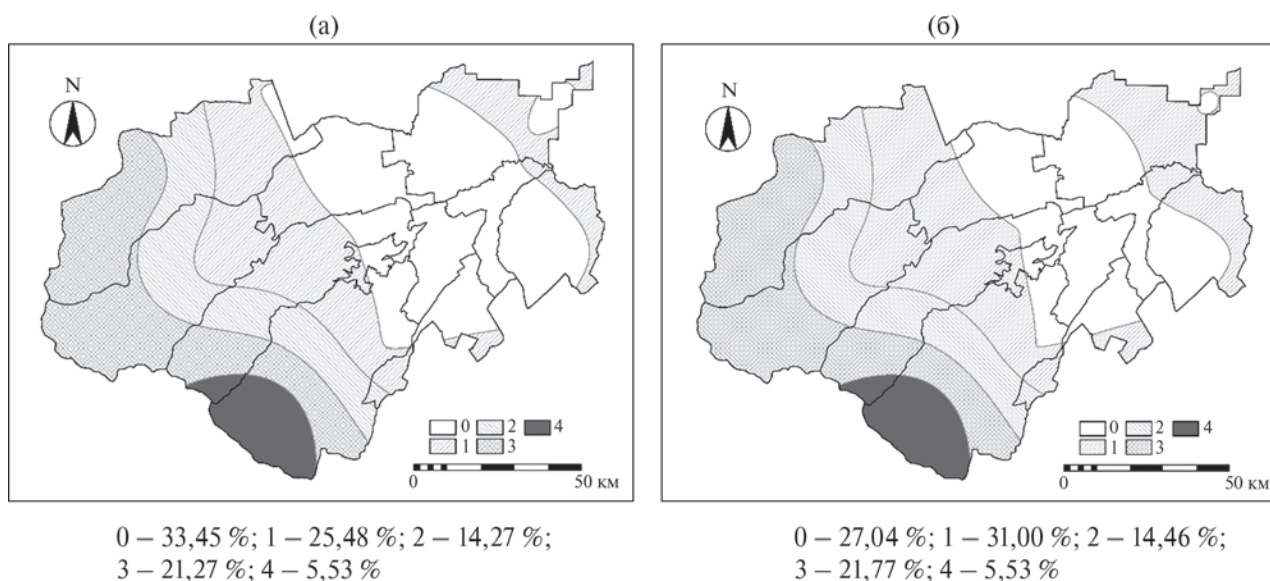


Рис. 2. Пригодность земель КБР для выращивания сорта Надия, % от всей территории: а – за 1985–2000 гг.; б – за 2001–2024 гг.

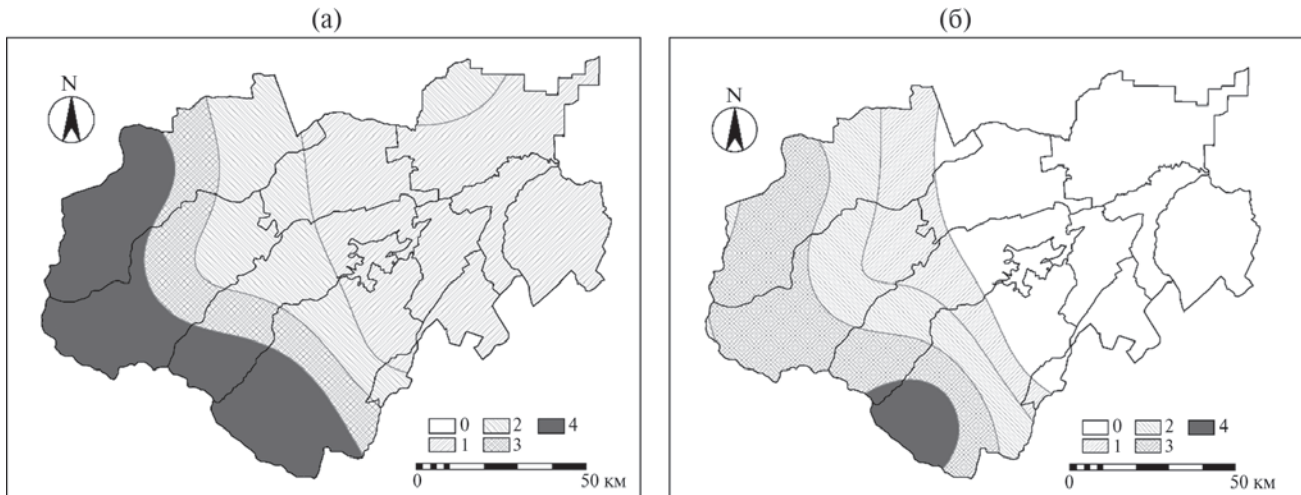


Рис. 3. Прогнозный сценарий пригодности земель КБР для выращивания сортов персика на 2040 г.: а – Нарядный Никитский; б – Надия.

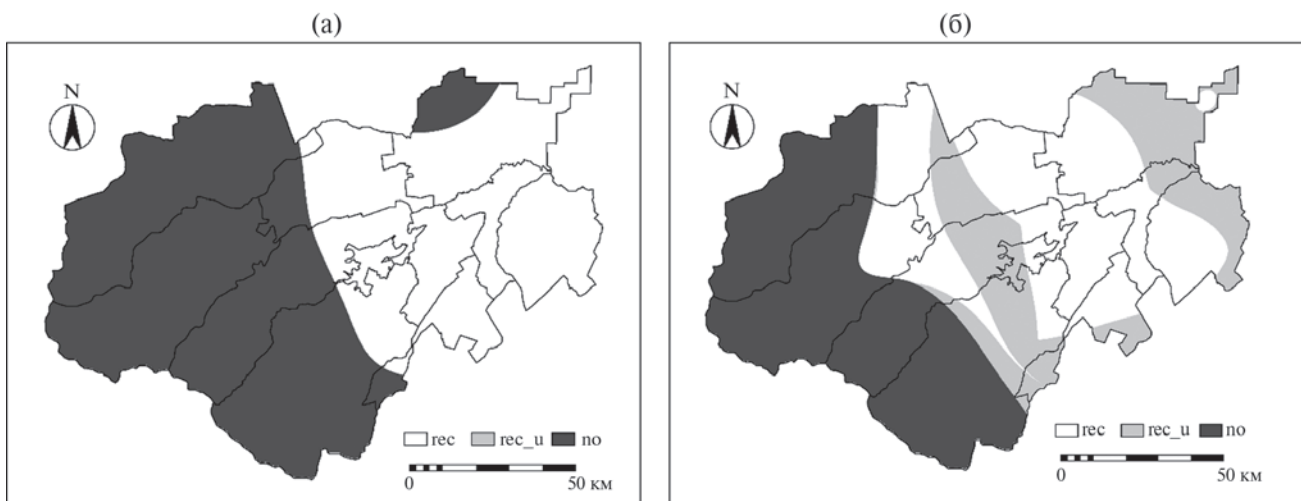


Рис. 4. Перспективные земли для расширения насаждений персика в КБР: а – Нарядный Никитский; б – Надия; rec – стабильно пригодные, rec_u – станут пригодными в течение ближайших 20 лет, no – не рекомендуются.

делается обычно [18, 19, 20]. Он может быть использован для анализа пригодности земель для других плодовых и ягодных культур в различных регионах. Однако в этом случае для его использования необходимо будет провести дополнительную апробацию. Конечно же, в рамках представленного подхода учтены только тренды изменения критических температур зимне-весеннего периода. Для построения более точных сценариев необходим учет и других факторов, предопределяющих пригодность земель, в частности, показателей рельефа и особенностей строения почвенного покрова, которые также могут оказать значительное влияние на результаты анализа [7], а также развитость инфраструктуры. Кроме того, при использовании предложенного подхода на практике необходимо учитывать, что представленные пространственные сценарии не учитывают микроварьирование свойств земель (микроклимата, почв, микрорельефа и др.), которое может иметь большое значение при размещении конкретных садов [21, 22].

С этой точки зрения проведенные исследования на примере одного, хотя и ведущего лимитирующего фактора (критических температур зимне-весеннего периода) представляют собой лишь демонстрацию возможностей разработанного подхода. Поэтому представленные сце-

нарии могут рассматриваться только в качестве первого приближения, в рамках которого выделяются районы, которые заведомо непригодны и будут малоприспособлены с учетом происходящих изменений климата. А в пределах рекомендуемых районов при размещении конкретных садовых массивов необходим тщательный анализ локальных условий, который может быть проведен точно так же, как это описано на более генерализованном примере, но с использованием при пространственном моделировании более детальных данных.

Выводы. На примере сортов персика в КБР продемонстрирован инновационный подход к моделированию оптимального их размещения на основе изучения систем адаптивности к воздействию температурных стрессов зимне-весеннего периода с учетом происходящих изменений климата, который после соответствующей адаптации может быть тиражирован для других плодовых и ягодных культур. Несмотря на отмечаемые изменения климата в сторону повышения средних температур воздуха, в последние десятилетия в целом на территории республики увеличивается вероятность проявления критических для персика температур воздуха, особенно в горах и предгорьях. Предложенный подход открывает возможности для управления продуктивностью сортов персика

в Республике Кабардино-Балкария на основе оптимизации их размещения по микрозонам с использованием цифровых технологий в условиях изменения климата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства и виноделия, Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», Института экологии Российского университета дружбы народов, Северо-Кавказского института горного и предгорного садоводства, Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского в рамках государственных заданий. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Шитт П. Г., Метлицкий З. А. Плодоводство. М.: Сельхозгиз, 1940. 660 с.
2. К созданию инновационных высоких технологий конструирования сортов плодовых культур с максимальными урожаями и оптимального размещения на фонах разных динамик лимитирующих факторов внешней среды / В. А. Драгавцев, И. А. Драгавцева, И. Ю. Савин и др. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2022. 95 с.
3. An overview of a land evaluation in the context of ecosystem services / J. Janků, J. Jehlička, K. Heřmanová, et al. // *Soil & Water Res.* 2022. Vol. 17. P. 1–14. URL: https://swr.agriculturejournals.cz/artkey/swr-202201-0001_an-overview-of-a-land-evaluation-in-the-context-of-ecosystem-services.php (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.17221/136/2021-SWR.
4. Geleta B. T., Abebe A. M., Heo J. Y. Effect of Genotype × Environment Interactions on Apple Fruit Characteristics in a High Latitude Region of Korea // *Applied Fruit Science.* 2025. Vol. 67. P. 14. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10341-024-01243-0> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1007/s10341-024-01243-0.
5. Temperature changes affected spring phenology and fruit quality of apples grown in high-latitude region of South Korea / J. C. Lee, Y. S. Park, H. N. Jeong, et al. // *Horticulturae.* 2023. Vol. 9. No. 7. P. 794. URL: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/7/794> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.21273/HORTSCI17143-23.
6. Dissecting the impact of environment, season and genotype on blackcurrant fruit quality traits / D. M. Pott, S. Durán-Soria, J. W. Allwood, et al. // *Food Chemistry.* 2023. Vol. 402. P. 134360. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/4/jcli-d-16-0338.1.xml> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134360.
7. Драгавцева И. А., Савин И. Ю., Загиров Н. Г. Ресурсный потенциал земель Северного Кавказа для плодоводства. Краснодар-Махачкала: ДагНИИСХ, 2016. 138 с.
8. Дорошенко Т. Н., Захарчук Н. В., Максимцов Д. В. Устойчивость плодовых и декоративных растений к температурным стрессорам: диагностика и пути повышения. Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. 174 с.
9. Драгавцев В. А., Литун П. П., Шкель Н. М. Эколого-генетический контроль количественных признаков растений // Доклады академии наук СССР. 1984. № 3. С. 720–723.
10. Управление взаимодействием «генотип–среда» – важнейший рычаг повышения урожая сельскохозяйственных растений / В. А. Драгавцев, И. А. Драгавцева, И. Л. Ефимова и др. // Труды КубГАУ. 2016. № 59. С. 105–121.
11. Дьяков А. Б. Надорганизменные биологические системы и принципы их изучения. Краснодар: Просвещение-Юг, 2019. 267 с.
12. Atmospheric Water Balance and Variability in the MERRA-2 Reanalysis / M. G. Bosilovich, F. R. Robertson, L. Takacs, et al. // *J. Climate.* 2017. Vol. 30. No. 4. P. 1177–1196. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/4/jcli-d-16-0338.1.xml> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1175/JCLI-D-16-0338.1.
13. ILWIS 2.2 Reference guide. ITC, The Netherlands, 1998. 350 p.
14. Hengl T., Maathuis B. H. P., Wang L. Chapter 13 Geomorphometry in ILWIS // *Developments in Soil Science.* 2009. Vol. 33. P. 309–331. doi: 10.1016/S0166-2481(08)00013-5.
15. Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees – morphological damage and flower hardiness // *Scientia Horticulturae.* 2000. Vol. 85. No. 3. P. 155–173. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00150-8.
16. Керимов И. А., Братков В. В., Бекмурзаева Л. Р. Динамика агроклиматических показателей степных ландшафтов северного Кавказа по данным наземных наблюдений // Геология и геофизика Юга России. 2024. Т. 14. № 2. С. 219–230.
17. Изменение основных климатических показателей в предгорной зоне Северного Кавказа за период 1961–2022 гг. / Л. М. Федченко, А. А. Ташилова, Л. А. Кешева и др. // Географический вестник. 2024. № 1(68). С. 113–123. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123.
18. Kim H., Shim K. Land suitability assessment for apple (*Malus domestica*) in the Republic of Korea using integrated soil and climate information, MLCM, and AHP // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering.* 2018. Vol. 11. No. 2. P. 139–144.
19. GIS-Based Geopedological Approach for Assessing Land Suitability for Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Groves for Fruit Production. / M. Rossi, M. De Feudis, W. Trenti, et al. // *Forests.* 2023. Vol. 14. No. 2. P. 1–20. URL: <https://cris.unibo.it/handle/11585/921360> (дата обращения: 01.04.2025).
20. Quinta-Nova L., Ferreira D. Land suitability analysis for emerging fruit crops in Central Portugal using GIS // *Agriculture and Forestry.* 2020. Vol. 66. No. 1. P. 41–48. doi: 10.17707/AgricultForest.66.1.05.
21. Soil Quality Assessment and Its Spatial Variability in an Intensively Cultivated Area in India / R. Ellur, A. M. Ankappa, S. Dharumarajan, et al. // *Land.* 2024. Vol. 13. No. 7. P. 970. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/7/970> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.3390/land13070970.
22. Forecasting future crop suitability with microclimate data / A. S. Gardner, I. M. D. Maclean, K. J. Gaston, et al. // *Agricultural Systems.* 2021. Vol. 190. Art. 103084. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X21000378> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.agsy.2021.103084.

Поступила в редакцию 03.04.2025
После доработки 30.04.2025
Принята к публикации 20.05.2025

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

© 2025 г. **О. А. Минакова**, доктор сельскохозяйственных наук,
Л. Н. Путилина, кандидат сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова,
396030, Воронежская обл., Рамонский р-н, пос. ВНИИСС, 86
E-mail: olalmin2@rambler.ru

Исследование проводили с целью изучения влияния доз удобрений на урожайность основной и побочной продукции, а также технологические качества корнеплодов отечественных гибридов сахарной свеклы в зоне неустойчивого увлажнения ЦЧР. Работу выполняли в 2022–2024 гг. в стационарном опыте на черноземе выщелоченном малогумусном среднетяжелосуглинистом в Воронежской области. Метеоусловия 2022 г. были избыточно увлажненными, 2023-го – средне увлажненными, 2024-го – засушливыми. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: гибрид (фактор А) – РМС 120, РМС 121, РМС 127; система удобрений (фактор В) – без удобрений (контроль), вариант I – $N_{45}P_{45}K_{45}$ под сахарную свеклу и 25 т/га навоза в пар, II – $N_{90}P_{90}K_{90}$ и 25 т/га, III – $N_{135}P_{135}K_{135}$ и 25 т/га, IV – $N_{120}P_{120}K_{120}$ и 50 т/га, вариант V – $N_{190}P_{190}K_{190}$. У гибрида РМС 127 отмечали самые высокие в опыте урожайность корнеплодов (49,6...50,8 т/га) и долю корнеплодов в общей биомассе (68,6...73,1 %). Удобрения больше всего влияли на продуктивность гибридов РМС 120 (+36,3...71,3 % к контролю) и долю корнеплодов в урожае РМС 121 (+4,0...9,7 %). Сахаристость гибрида РМС 120 при внесении удобрений не изменялась, а РМС 127 и особенно РМС 121 снижалась. Наибольший в опыте выход сахара на заводе, а также самый низкий МБ-фактор (мелассобразующий фактор) у гибрида РМС 120 отмечены при использовании умеренных доз удобрения (системы I...III), у РМС 121 – при высоких дозах (системы IV и V). Корнеплоды РМС 121 характеризовались максимальным в опыте коэффициентом извлечения сахара и самыми низкими его потерями в мелассе. Сбор очищенного сахара был наибольшим у гибридов РМС 127 и РМС 120 (при высокой насыщенности NPK). Лучшие продуктивность и сбор очищенного сахара РМС 127 отмечали при использовании II...IV, РМС 120 – II и III систем удобрения.

THE EFFECT OF FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY AND TECHNOLOGICAL QUALITIES OF DOMESTIC SUGAR BEET HYBRIDS IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION

O. A. Minakova, L. N. Putilina

Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
396030, Voronezhskaya obl., Ramonskii r-n, pos. VNISS, 86
E-mail: olalmin2@rambler.ru

The purpose of the research is to study the effect of fertilizer doses on the yield of the main and by-products, as well as the technological qualities of root crops of domestic sugar beet hybrids in the zone of unstable moistening of the Central Black-Earth Region. The work was carried out in 2022–2024 on leached low-humus medium-bulk heavy loam chernozem in the Voronezh Region. 2022 was excessively humid, 2023 was moderately humid, and 2024 was arid. The scheme of the experiment provided for the study of the following options: hybrid (factor A) – RMS 120, RMS 121, RMS 127; fertilizer system (factor B) – without fertilizers (control), I ($N_{45}P_{45}K_{45}$ for sugar beet and 25 t/ha of steamed manure), II ($N_{90}P_{90}K_{90}$ and 25 t/ha), III ($N_{135}P_{135}K_{135}$ and 25 t/ha), IV ($N_{120}P_{120}K_{120}$ and 50 t/ha), V ($N_{190}P_{190}K_{190}$). The RMS 127 hybrid had the highest yield of root crops in the experiment (49.6...50.8 t/ha) and the highest proportion of root crops in the harvest (68.6...73.1 %). Fertilizers had the greatest effect on the productivity of RMS 120 (+36.3...71.3 % of the control) and the share of root crops in the yield of RMS 121 (+4.0...9.7 %). The sugar content of the RMS 120 hybrid did not change when fertilizers were applied, while RMS 121 and RMS 127 decreased, especially in RMS 121. The highest sugar yield in the experiment at the plant, as well as the lowest MB factor in the RMS 120 hybrid, were noted when using moderate doses of fertilizer (systems I...III), in RMS 121 – when high doses (IV and V systems). RMS 121 root crops were characterized by a maximum sugar extraction coefficient and minimal sugar losses in molasses. The collection of refined sugar was greatest in the hybrids RMS 127 and RMS 120 (with high NPK saturation). The crops of RMS 127 with the use of II...IV, and RMS 120 – II and III fertilizer systems were distinguished by the best productivity and collection of refined sugar.

Ключевые слова: удобрения, урожайность, сахарная свекла (*Betavulgaris* L.), отечественные гибриды, корнеплоды, технологические качества, сбор очищенного сахара.

Keywords: fertilizers, yield, sugar beet (*Beta vulgaris* L.), domestic hybrids, root crops, technological qualities, yield of refined sugar.

При возделывании сахарной свеклы сорт как элемент технологии имеет очень большое значение, так как ему принадлежит определяющая роль в использовании климатических ресурсов, почвенного плодородия и всех факторов интенсификации производства [1], но сам по себе он не гарантирует высоких урожаев. Высокопродуктивные гибриды способны полностью реализовать свой потенциал только при достаточной культуре земледелия и оптимальных агротехнических

условиях [2]. Как культура интенсивного типа сахарная свекла весьма требовательна к условиям питания. Улучшения качественных показателей корнеплодов можно добиться, применяя удобрения, содержащие необходимый для роста и развития культуры набор макро- и микроэлементов [3, 4, 5].

На экономику производства сахарной свеклы, кроме урожайности, значительное влияние оказывают технологические качества корнеплодов – комплекс свойств

и признаков, включающий, помимо сахаристости, содержание мелассообразующих веществ (K, Na, α -аминного азота), которое в значительной мере влияет на выход сахара и процесс его производства на заводе. Так, K^+ и Na^+ задерживают до 70...80 % сахара в мелассе [6].

Технологические качества сахарной свеклы зависят от доз и видов удобрений [5], сроков посева и уборки [7], приемов обработки почвы [8, 9], почвенно-климатических условий возделывания [10], генетики [11], периода хранения [12] и др. Погодные условия вегетационного периода влияют на качество корнеплодов при переработке [9, 12, 13]. Доказано, что лучшие показатели достигаются при среднем увлажнении во время вегетации [9].

В исследованиях, проведенных в Республике Беларусь, сахаристость корнеплодов находилась в обратной зависимости от доз азотных удобрений, а содержание K^+ , Na^+ и α -аминного азота в корнеплодах – в прямой [14]. Особенности генотипа, фон удобрений и проведение некорневых подкормок оказывают воздействие на достижение биологической и технической спелости гибридов сахарной свеклы, которые определяют технологическое качество корнеплодов [8, 10]. В связи с изложенным изучение продуктивности и технологических качеств современных гибридов сахарной свеклы на различных фонах основного удобрения в условиях зоны неустойчивого увлажнения Центрально-Черноземного района представляется актуальным.

Цель исследований – изучить влияние доз удобрений на урожайность основной и побочной продукции, а также технологические качества корнеплодов отечественных гибридов сахарной свеклы в зоне неустойчивого увлажнения ЦЧР для совершенствования системы удобрения культуры.

Методика. Работу выполняли в длительном (заложен в 1936 г.) стационарном полевом опыте по изучению эффективности удобрений (пос. Рамонь, Воронежская область). Объект исследований – основная (корнеплоды) и побочная (листья) продукция сахарной свеклы гибридов селекции ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднесиловый тяжелосуглинистый на тяжелом карбонатном суглинке. Содержание в пахотном слое почвы гумуса (по Тюрину) составляло 4,83...5,65 %, $N-NO_3$ (по Грандваль-Ляжу) – 8,6...13,2 мг/кг, P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 61...153 и 175...239 мг/кг соответственно, pH_{KCl} – 4,9...5,4 ед.

Агротехника возделывания культуры в опыте предусматривала двукратное лущение стерни после уборки предшественника (озимой пшеницы), внесение удобрений (вручную поверхностно вразброс), вспашку на 30...32 см, ранневесеннее боронование, внесение почвенных гербицидов, предпосевное выравнивание, широкоярусный посев (с междурядьями 45 см) с нормой высева 10...12 драже на 1 погонном метре на глубину 3...4 см, ручное формирование густоты стояния растений из расчета 4...5 шт. на 1 погонном метре, две междурядные обработки.

Изучение агрономической эффективности применения удобрений и изменения технологических качеств гибридов проводили в паровом звене (черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера) 9-польного зернопаропропашного севооборота с 2 полями сахарной свеклы.

Схема опыта предусматривала следующие варианты: гибрид сахарной свеклы (фактор А) – РМС 120, РМС 121, РМС 127;

система удобрения (фактор В) – без удобрений (контроль), система I – $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, система II – $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, система III – $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, система IV – $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза, система V – $N_{190}P_{190}K_{190}$.

Гибриды сахарной свеклы РМС 120, РМС 121, РМС 127 созданы ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова. РМС 120 – односемянный диплоидный гибрид на стерильной основе N-типа, среднеспелый, в реестре селекционных достижений с 2008 г. РМС 121 – односемянный триплоидный гибрид на стерильной основе N-типа, среднеспелый, внесен в реестр в 2010 г. РМС 127 – односемянный диплоидный гибрид на стерильной основе N-типа, среднеспелый, в реестре с 2016 г. [15].

Минеральные удобрения вносили под сахарную свеклу в октябре каждого предшествующего посеву года, навоз – в паровое поле осенью, 1 раз за ротацию севооборота, механизировано разбрасывателем РОУ-6. То есть сахарная свекла использовала прямое действие минеральных удобрений и последнее действие навоза.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов – систематическое с частичной рандомизацией. Площадь опытной делянки составляла 133,7 м², учетной – 10,8 м².

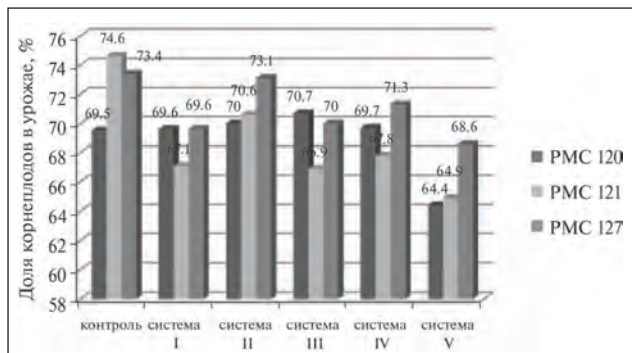
Метеоусловия в 2022 г. характеризовались как избыточно увлажненные (ГТК – 1,70), в 2023 г. – умеренно увлажненные (ГТК – 1,23), в 2024 г. – засушливые (ГТК – 0,40) при среднемноголетней величине этого показателя 1,31, что позволило выявить эффективность применения удобрений в разных агрометеорологических условиях.

Результаты и обсуждение. В среднем за 3 года исследований к периоду массовой уборки самую высокую урожайность корнеплодов во всех вариантах опыта отмечали у гибрида РМС 127 (35,9...50,8 т/га, средняя – 46,1 т/га). У РМС 120 и РМС 121 она была ниже, чем у РМС 127, соответственно на 0,3...4,7 и 3,2...7,6 т/га, средняя урожайности этих гибридов была равна 41,2 и 43,7 т/га (табл. 1).

Под влиянием удобрений средняя урожайность корнеплодов в опыте возрастала на 24,3...48,2 %. Больше всего под их воздействием возрастала величина этого показателя у гибрида РМС 120 – на 36,3...71,3 %, по сравнению с контролем. Повышение урожайности РМС 121 и РМС 127 было выражено в меньшей степени – на 21,0...36,3 % и 18,1...41,5 % соответственно. Система удобрений $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза способствовала повышению урожайности корне-

Табл. 1. Влияние удобрений на урожайность основной и побочной продукции гибридов сахарной свеклы (2022–2024 гг.), т/га

Система удобрений (фактор В)	Гибрид (фактор А)			
	РМС 120	РМС 121	РМС 127	среднее
Корнеплоды (НСР ₀₅ для факторов: $A = F_{факт.} < F_{теор.}$, $B = 0,7$, $AB = 0,5$)				
Без удобрений	28,9	35,3	35,9	33,4
I	39,4	42,7	42,4	41,5
II	42,3	47,0	49,6	46,3
III	46,5	45,3	49,7	47,2
IV	49,6	48,1	50,8	49,5
V	40,6	43,5	48,2	44,1
Среднее	41,2	43,7	46,1	43,7
Листья (НСР ₀₅ для факторов: $A = F_{факт.} < F_{теор.}$, $B = 0,5$, $AB = 0,2$)				
Без удобрений	12,7	12,0	13,0	12,6
I	17,2	20,9	18,5	18,9
II	18,1	19,6	18,3	18,7
III	19,3	22,4	21,3	21,0
IV	21,6	22,8	20,4	21,6
V	22,4	23,5	22,1	22,7
Среднее	18,6	20,2	18,9	19,3



Влияние удобрений на долю корнеплодов в биологическом урожае гибридов сахарной свеклы (среднее за 2022–2024 гг.).

плодов в среднем по гибридам, по отношению к не-удобренному фону, на 12,9 т/га, $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза – 13,8 т/га, $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза – 16,1, $N_{190}P_{190}K_{190} - 10,7$ т/га.

Средняя по всем вариантам урожайность побочной продукции сахарной свеклы (листьев) у гибрида RMS 120 составила 18,6 т/га, RMS 121 – 20,2 т/га, RMS 127 – 18,9 т/га, на фоне естественного плодородия почвы – соответственно 12,7, 12,0 и 13,0 т/га. В удобренных вариантах больше всего листьев сформировал гибрид RMS 121 – на 1,1...3,1 т/га выше, чем другие.

Под влиянием удобрений средняя урожайность листьев в опыте возрастала на 48,4...80,2 %, в том числе у RMS 121 – на 74,2...95,8 %, RMS 120 – на 35,4...79,4 %, RMS 127 – на 42,3...70,0 %, по сравнению с вариантом без удобрений. Так как снижение облиственности растений способствует повышению технологичности культуры при уборке культуры, следует отметить, что на фоне систем I и II ($N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза и $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза) наблюдали самые низкие величины этого показателя у всех гибридов.

Максимальная в опыте доля корнеплодов в общей биологической продукции (68,6...73,1 %) в большинстве вариантов с удобрениями отмечена у гибрида RMS 127 (см. рисунок). У гибридов RMS 120 и RMS 121 она была на 1,6...4,2 % ниже. Вместе с тем гибрид RMS 121 характеризовался самой высокой величиной этого показателя в контроле (74,6 %). Наибольшее влияние удобрений на долю корнеплодов в продукции отмечали на гибриде RMS 121 (снижение на 4,0...9,7 %), самое низкое – на RMS 120, где во всех вариантах, за исключением системы V, она оставалась практически на уровне

Табл. 2. Влияние удобрений на сахаристость корнеплодов и биологический сбор сахара с 1 га (среднее за 2022–2024 гг.)

Система удобрений (фактор В)	Гибрид (фактор А)			
	RMS 120	RMS 121	RMS 127	среднее
Сахаристость, % (HCP_{05} для факторов: А, В, АВ = F факт. < F теор.)				
Без удобрений	15,7	16,3	15,8	15,9
Система I	15,9	15,4	15,5	15,6
Система II	16,1	15,6	15,4	15,7
Система III	16,2	15,5	15,4	15,7
Система IV	16,0	15,8	16,2	16,0
Система V	15,2	15,7	15,6	15,5
Среднее	15,9	15,7	15,7	15,7
Сбор очищенного сахара, т/га (HCP_{05} для факторов: А = F факт. < F теор., В = 0,10, АВ = 0,09)				
Без удобрений	3,77	4,77	4,65	4,40
Система I	5,16	5,38	5,39	5,31
Система II	5,62	6,00	6,23	5,95
Система III	6,13	5,73	6,11	5,99
Система IV	6,42	6,28	6,68	6,46
Система V	4,97	5,58	4,65	5,07
Среднее	5,35	5,62	5,62	5,56

контроля. В посевах гибрида RMS 127 доля корнеплодов уменьшалась на 2,1...4,8 %. Самую высокую долю корнеплодов в урожае всех изученных гибридов обеспечивала система II ($N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза).

Средняя сахаристость корнеплодов изученных гибридов составила 15,5...16,0 % (табл. 2), у RMS 120 она была выше (15,9 %), чем у RMS 121 и RMS 127 (по 15,7 %). На фоне систем I...III она была выше, чем у других гибридов, у RMS 120 (на 0,5...0,8 %), а на неудо-бренных участках – у RMS 121 (на 0,5...0,6 %). Применение удобрений сопровождалось тенденцией снижения сахаристости в среднем по гибридам на 0,2...0,4 %, однако у RMS 120 отмечено ее увеличение, относительно неудо-бренного варианта, на 0,2...0,5 %, а у RMS 121 и RMS 127 – снижение на 0,6...0,9 и 0,2...0,6 % соответственно.

Средний по вариантам сбор очищенного сахара был самым высоким при выращивании гибридов RMS 121 и RMS 127 – по 5,62 т/га против 5,35 т/га у RMS 120. У всех гибридов он был наибольшим на фоне системы IV (6,28...6,68 т/га), а самым низким – без применения удобрений (3,77...4,77 т/га). Использование удобрений способствовало повышению сбора очищенного сахара, относительно контроля, у гибрида RMS 120 на 1,20...2,65 т/га (31,8...70,3 %), RMS 121 – на 0,61...1,51 т/га (12,8...31,7 %), RMS 127 – на 0,74...2,03 т/га (15,9...43,7 %), то есть сильнее всего на удобрения по сбору очищенного сахара отзывался гибрид RMS 120.

Табл. 3. Влияние удобрений на содержание мелассообразующих несахаров в корнеплодах гибридов сахарной свеклы (среднее за 2022–2024 гг.), ммоль/100 г

Система удобрений (фактор В)	Гибрид (фактор А)			
	RMS 120	RMS 121	RMS 127	среднее
Содержание Na^+ (HCP_{05} для факторов: А = 0,05, В = 0,11, АВ = 0,01)				
Без удобрений	2,31	2,30	3,96	2,86
Система I	1,64	2,42	2,76	2,27
Система II	1,84	2,55	2,57	2,32
Система III	1,92	2,42	2,11	2,15
Система IV	1,41	2,51	2,01	1,98
Система V	1,88	1,54	2,11	1,84
Среднее	1,83	2,29	2,59	2,24
Содержание K^+ (HCP_{05} для факторов: А = 0,07, В = 0,20, АВ = 0,05)				
Без удобрений	3,25	3,56	3,52	3,44
Система I	3,46	3,69	3,85	3,67
Система II	3,51	3,71	4,03	3,75
Система III	3,62	3,76	3,92	3,77
Система IV	3,63	3,91	3,99	3,84
Система V	3,79	4,19	4,01	4,00
Среднее	3,54	3,80	3,89	3,74
Содержание $\alpha-NH_2$ (HCP_{05} для факторов: А = 0,10, В = 0,15, АВ = 0,02)				
Без удобрений	2,14	2,47	1,97	2,19
Система I	2,95	2,49	2,10	2,51
Система II	2,86	2,55	2,36	2,59
Система III	3,64	2,60	3,74	3,33
Система IV	4,01	2,05	3,56	3,21
Система V	3,29	2,97	3,81	3,36
Среднее	3,15	2,52	2,92	2,87

Содержание Na^+ как элемента-мелассообразователя в корнеплодах сахарной свеклы, выращенной на разных фонах удобренности, было самым высоким у гибрида RMS 127 – 2,59 ммоль/100 г против 1,83 ммоль/100 г у RMS 120 и 2,29 ммоль/100 г у RMS 121 (табл. 3). Применение удобрений под гибриды RMS 120 и RMS 127 сопровождалось снижением концентрации Na^+ на 0,39...0,90 и на 1,20...1,95 ммоль/100 г, тогда как под RMS 121 приводило к ее увеличению на 0,12...0,25 ммоль/100 г, за исключением системы удобрений V ($N_{190}P_{190}K_{190}$), на фоне которой концентрация Na^+ снижалась на 0,76 ммоль/100 г.

Табл. 4. Влияние удобрений на прогнозируемые технологические показатели при переработке корнеплодов сахарной свеклы (среднее за 2022–2024 гг.)

Система удобрений (фактор В)	Гибрид (фактор А)			
	РМС 120	РМС 121	РМС 127	среднее
Потери сахара в мелассе, % (HCP ₀₅ для факторов: А = 0,07, В = 0,12, АВ = 0,05)				
Без удобрений	1,66	1,78	1,85	1,76
Система I	1,80	1,81	1,78	1,80
Система II	1,81	1,84	1,84	1,83
Система III	2,02	1,85	2,10	1,99
Система IV	2,05	1,74	2,05	1,95
Система V	1,95	1,88	2,13	1,99
Среднее	1,88	1,82	1,96	1,89
Выход сахара, % (HCP ₀₅ для факторов: А, В, АВ = F _{факт.} < F _{крит.})				
Без удобрений	13,04	13,52	12,95	13,17
Система I	13,10	12,59	12,72	12,80
Система II	13,29	12,76	12,56	12,87
Система III	13,18	12,65	12,30	12,71
Система IV	12,95	13,06	13,15	13,05
Система V	12,25	12,82	12,47	12,51
Среднее	12,97	12,90	12,69	12,85
Коэффициент извлечения сахара, % (HCP ₀₅ для факторов: А = 0,15, В = 0,45, АВ = 0,05)				
Без удобрений	83,05	82,97	81,96	82,66
Система I	82,39	81,75	82,08	82,07
Система II	82,56	81,77	81,57	81,97
Система III	81,37	81,64	79,86	80,96
Система IV	80,96	82,64	81,15	81,58
Система V	80,59	81,65	79,94	80,74
Среднее	81,82	82,07	81,10	81,66
МБ-фактор (HCP ₀₅ для факторов: А = 0,30, В = 0,45, АВ = 0,10)				
Без удобрений	25,47	26,26	28,58	26,77
Система I	27,48	28,77	27,94	28,06
Система II	27,21	28,90	29,27	28,46
Система III	30,62	29,17	34,17	31,32
Система IV	31,61	26,69	31,26	29,85
Система V	31,84	29,34	34,14	31,77
Среднее	29,04	28,19	30,89	29,37

Самое низкое содержание K⁺ отмечали в корнеплодах гибрида РМС 120 – в варианте без удобрений 3,25 ммоль/100 г, что на 0,31 и 0,27 ммоль/100 г меньше, чем у гибридов РМС 121 и РМС 127 соответственно. Под влиянием удобрений в корнеплодах гибрида РМС 120 оно увеличивалось на 0,21...0,44, РМС 121 – на 0,13...0,63, РМС 127 – на 0,33...0,51 ммоль/100 г.

Наименьшее количество α-аминного азота на неудобренном фоне отмечено в корнеплодах гибрида РМС 127–1,97 ммоль/100 г, что на 0,17 и 0,50 ммоль/100 г меньше, чем у гибридов РМС 120 и РМС 121 соответственно. Под влиянием удобрений оно увеличивалось у гибрида РМС 120 на 0,72...1,87 ммоль/100 г, РМС 121 – на 0,02...0,50 ммоль/100 г, РМС 127 – на 0,13...1,84 ммоль/100 г. Исключение составил вариант с системой удобрений IV (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ и 50 т/га навоза) при выращивании гибрида РМС 121, где отмечено снижение величины этого показателя на 0,42 ммоль/100 г.

Под влиянием удобрений самая высокая концентрация α-аминного азота в корнеплодах гибрида РМС 120 отмечена на фоне системы IV (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ и 50 т/га навоза)–4,01 ммоль/100 г, а гибридов РМС 121 и РМС 127 – на фоне системы V (N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀)–2,97 и 3,81 ммоль/100 г. То есть гибрид РМС 121 отличался большей стабильностью, в сравнении с другими изученными генотипами, в отношении накопления этого мелассообразователя.

Самыми низкими потерями сахара в мелассе при переработке характеризовался гибрид РМС 120 в варианте без удобрений – 1,66 %, что на 0,22 и 0,29 % меньше, чем у гибридов РМС 121 и РМС 127 соответственно (табл. 4). Применение различных систем удобрений сопровождалось увеличением потерь сахара, в сравнении с неудобренными вариантами, у гибрида РМС 120

на 0,14...0,39 %, РМС 121 – на 0,03...0,10 %, РМС 127 – на 0,20...0,28 %.

Достоверных различий по выходу сахара между изученными гибридами и системами удобрения в опыте не выявлено. Как тенденцию следует отметить наибольшие величины этого показателя у гибрида РМС в вариантах с применением II и III систем удобрения (соответственно N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза и N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ + 25 т/га навоза) – 13,18...13,29 %, у гибрида РМС 127 с IV системой (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + 50 т/га навоза) – 13,15 %, а у гибрида РМС 121 без удобрений – 13,52 %.

Коэффициент извлечения сахара у гибрида РМС 120 на фоне естественного плодородия почвы составлял 83,05 %, а у РМС 121 и РМС 127 соответственно на 0,08 и 1,09 % меньше. Применение минеральных и органических удобрений на всех гибридах сопровождалось снижением величины этого показателя на 0,50...2,00 %.

Величина МБ-фактора (мелассообразующего фактора) как совокупного показателя технологических свойств сахарной свеклы на неудобренном фоне у гибрида РМС 120 была равна 25,47, РМС 121–26,26, РМС 127–28,58, что соответствует хорошему качеству. Применяемые в опыте системы удобрений приводили к росту величины этого показателя у гибрида РМС 120 на 1,74...6,37, у РМС 121 – на 0,43...3,08, у РМС 127 – на 0,69...5,56 ед. При этом у гибрида РМС 121 МБ-фактор во всех вариантах не превышал 30,0 ед., то есть качество сырья оставалось хорошим, тогда как у гибридов РМС 120 и РМС 127 величина этого показателя достигала 31,84 и 34,17 ед. соответственно, что указывает на ухудшение качества до среднего.

Выводы. Самая высокая урожайность корнеплодов в опыте (48...50 т/га) при возделывании гибрида РМС 120 достигалась на фоне применения N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ под сахарную свеклу и 50 т/га навоза в паровом поле, гибрида РМС 121 – N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ и 25 т/га навоза, гибрида РМС 127 – N₉₀P₉₀K₉₀ и 25 т/га навоза соответственно.

Выход листьев у гибридов сахарной свеклы без применения удобрений составлял 12,0...13,0 т/га, а на фоне их внесения возрастал до 20,4...23,5 т/га. Гибрид сахарной свеклы РМС 127 характеризовался самой высокой в опыте долей корнеплодов в общем урожае биомассы (68,6...73,1 %), у гибридов РМС 120 и РМС 121 она была на 1,6...4,2 % ниже.

Сахаристость корнеплодов гибрида РМС 120 на неудобренном фоне составляла 15,7, РМС 121–16,3, РМС 127–15,8 %. Систематическое применение минеральных и органических удобрений обеспечивало у гибрида РМС 120 рост величины этого показателя на 0,2...0,5 %, у РМС 121 и РМС 127 – ее снижение на 0,6...0,9 и 0,2...0,6 % соответственно.

Самое высокое содержание K⁺ и Na⁺ отмечали в корнеплодах гибрида РМС 127, α-аминного азота – РМС 120. Сильнее всего влиянию удобренности содержание α-аминного азота и Na⁺ было подвержено в корнеплодах РМС 127, а K⁺ – в корнеплодах РМС 121. Содержание мелассообразующих несахаров в РМС 120 было наиболее стабильным.

Гибрид РМС 120 характеризовался наибольшим выходом сахара на заводе и самым низким МБ-фактором при использовании умеренных доз удобрения (системы I...III), РМС 121 – в вариантах с большими дозами (системы IV и V). Корнеплоды гибрида РМС 121 отличались наибольшим коэффициентом извлечения сахара и самыми низкими его потерями в мелассе.

Наименьшее ухудшение большинства прогнозируемых технологических показателей (коэффициент извлечения сахара, потери сахара в мелассе, МБ-фактор) при использовании возрастающих доз удобрений отмечали

при переработке корнеплодов гибрида РМС 121. Менее значительное влияние на выход сахара на заводе удобрения оказывали при выращивании гибрида РМС 120.

В среднем наибольший сбор очищенного сахара отмечали у гибрида РМС 127 (5,39...6,68 т/га), а при высокой насыщенности удобрениями – у РМС 120 (6,13...6,42 т/га). Именно на этом гибриде сильнее всего проявилось положительное действие удобрений.

В зоне неустойчивого увлажнения ЦЧР для формирования хороших урожаев корнеплодов с высоким сбором очищенного сахара целесообразно возделывать гибриды РМС 121 и РМС 127 на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ и 25 т/га навоза в пару, гибрид РМС 120 – при использовании $N_{90}P_{90}K_{90}$ + 25 т/га навоза в пару или $N_{135}P_{135}K_{135}$ + 25 т/га навоза в пару.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Причины технологических отклонений в сахарном производстве, методы их устранения / З. В. Ловкис, Т. И. Турбан, Н. Н. Петюшев и др. / Под общ. ред. З. В. Ловкиса. Минск: ИВЦ Минфина, 2016. 168 с.
2. Ботько А. В., Гуляка М. И., Гайтюкевич С. Н. Роль сорта в свеклосахарном производстве // Земледелие и селекция в Беларуси. 2017. № 53. С. 54–61.
3. Урожайность сахарной свеклы в зависимости от применения различных форм минеральных удобрений в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края / М. С. Сигида, С. А. Коростылев, Е. А. Саленко и др. // Агрохимический вестник. 2018. № 4. С. 42–45.
4. Боронтов О. К., Косякин П. А., Манаенкова Е. Н. Влияние метеорологических условий, систем удобрения и обработки почвы на вынос питательных веществ и урожайность сахарной свеклы в ЦЧР // Агрохимия. 2019. № 9. С. 74–83.
5. Минакова О. А., Александрова Л. В., Вилков В. М. Изменение почвенного плодородия и урожайности культур при краткосрочном и длительном использовании удобрений в зерносвекловичном севообороте ЦЧР // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 1. С. 11–16.
6. Вострухин Н. П., Вострухина Н. П. Сахарная свекла – качество корнеплодов и выход сахара. Минск: Юнипак, 2007. 206 с.
7. Еникиев Р. И., Исламгулов Д. Р. Технологические качества корнеплодов сахарной свеклы при различных сроках посева // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2(167). С. 33–39.
8. Эффективность некорневых подкормок в посевах современных гибридов сахарной свеклы при различных обработках почвы / Л. Н. Путилина, П. А. Косякин, О. А. Минакова и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 5. С. 35–42.
9. Боронтов О. К., Косякин П. А., Манаенкова Е. Н. Режим влажности чернозема выщелоченного, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы при разных погодных и агротехнических условиях в ЦЧР // Агрохимия. 2023. № 8. С. 58–67.
10. Камиланов А. А., Исламгулов Д. Р., Бакирова А. У. Варьирование базовых технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы по регионам выращивания // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 3(74). С. 97–106.
11. Технологические качества экспериментальных гибридов сахарной свеклы / А. В. Логвинов, В. Н. Мищенко, А. А. Бородин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 183. С. 158–165.
12. Кульнева Н. Г., Путилина Л. Н. Выбор параметров бактерицидной обработки свеклы низкого качества перед закладкой на хранение // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 38–47.
13. Минакова О. А., Александрова Л. В., Подвикина Т. Н. Влияние погодных условий на эффективность удобрений и обработки почвы в зерносвекловичном севообороте в условиях ЦЧР / Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБНУ «РЭА» Минэнерго России, 2018. 138 с.
14. Лукьянюк Н. А., Турук Е. В., Останин А. В. Влияние органических удобрений и доз внесения азота на качество хранения корнеплодов сахарной свеклы в кагатах // Защита растений. 2017. № 41. С. 296–306.
15. Реестр селекционных достижений. Государственная Комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения: 20.01.2025).

Поступила в редакцию 31.03.2025

После доработки 29.04.2025

Принята к публикации 13.05.2025

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.16; 631.527

DOI 10.31857/S2500262725030036 EDN FDOYSB

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОСЕВА

© 2025 г. Л. В. Панихина, И. Н. Щенникова, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: panikhina95@yandex.ru

Исследование проводили в 2022–2024 гг. в Кировской области с целью выделить новый исходный материал для селекции на основе изучения генотипических особенностей коллекционных образцов ярового ячменя, проявляющихся в реакции морфологических признаков на изменение плотности посева. Объект изучения – 31 образец ячменя (*Hordeum vulgare* L.). Схема опыта включала варианты с нормой высева 5,0 млн шт./га (контроль) и 7,0 млн шт./га. Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Погодные условия лет исследования варьировали от засушливых (ГТК=0,73) в 2024 г. до избыточного увлажнения (ГТК=2,03) в 2022 г. В среднем за годы изучения к уборке в контроле сохранялось 411 шт./м² (93 %), в экспериментальном варианте – 585 шт./м² (92 %). Метеорологические условия воздействовали на изменение урожайности, длину и озерненность колоса, продуктивность колоса и растения (доля вклада 43,6...69,3 %). Норма высева повлияла на количество сохранившихся к уборке растений и продуктивный стеблестой (16,8...27,9 %). В среднем по годам и выборке образцов с увеличением густоты посева отмечено достоверное снижение общей (на 0,16) и продуктивной (на 0,11) кустистости, длины колоса (на 0,2 см), количества колосков (на 0,8 шт.) и зерен (на 0,7 шт.) в колосе, массы зерна с растения (0,06 г). Выделены образцы Салаир, Radegast, Л-223/15 и Л-209/11, у которых при увеличении густоты посева урожайность достоверно увеличилась на 165...243 г/м², масса зерна с растения – на 0,28...0,68 г и масса 1000 зерен – на 2,4...4,0 г.

FEATURES OF MORPHOLOGICAL REACTIONS OF COLLECTION SAMPLES OF SPRING BARLEY TO AN INCREASE IN CROP DENSITY

L. V. Panikhina, I. N. Shchennikova

Rudnitsky Federal Agrar Scientific Center of the North-East,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a
E-mail: panikhina95@yandex.ru

The research was conducted in 2022–2024 in the Kirov region in order to identify a new source material for breeding based on the study of genotypic features of collectible samples of spring barley, manifested in the reaction of morphological features to changes in crop density. The object of study was 31 samples of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). The scheme of the experiments: crop density 5.0 million pcs./ha (control) and 7.0 million pcs./ha. The observations and accounting of the harvest were carried out in accordance with the Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats. The registered area of the plot is 1.35 m², the repeat rate is twofold. The soil is sod-podzolic medium loamy. Weather conditions ranged from arid (HTC=0.73) in 2024 to excessive moisture (HTC=2.03) in 2022. On average, over the years of study, 411 pcs./m² (93 %) remained in the control for harvesting, 585 pcs./m² (92 %) in the experiment. Meteorological conditions affected the change in yield, ear length, quantities grain of the ear, productivity of the ear and the plant (contribution share 43.6–69.3 %), the density of the crop affected the number of plants preserved for harvesting and productive stand (16.8–27.9 %). On average, over the years and in the sample, with an increase in crop density, there was a significant decrease in general (by 0.16) and productive (0.11) bushiness, ear length (0.2 cm), number of spikelets (0.8 pcs.) and grains (0.7 pcs.), grain weight per plant (0.06 g). Selected samples Salair, Radegast, L-223/15 and L-209/11 which significantly increased yields by 165...243 g/m², grain weight from the plant by 0.28...0.68 g, and thousand-kernel weight by 2.4...4.0 g with an increase in crop density.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), густота посева, структура урожайности, продуктивный стеблестой, масса 1000 зерен, масса зерна с растения, сохранность растений.

Key words: *Hordeum vulgare* L., crop density, yield structure, productive stand, thousand-kernel weight, grain weight from the plant, plant safety.

Для достижения потенциально возможных урожаев сельскохозяйственных культур, в том числе ячменя, необходимо разрабатывать и совершенствовать те агротехнические приемы, которые позволяют сделать производственный процесс менее зависимым от факторов внешней среды [1]. Самым эффективным и экологически безопасным способом уменьшения негативного влияния региональных стрессовых факторов была и остается селекция [2, 3]. Разработка и совершенствование технологии выращивания в соответствии с требованиями культуры позволяет увеличивать ее урожайность благодаря полной реализации генетического потенциала [4, 5].

Урожайность ярового ячменя в значительной степени зависит от количества продуктивных стеблей на единице площади [6, 7]. Установлено [8], что показатель «густота продуктивного стеблестоя» определяет уровень урожайности только в засушливые годы ($r=0,866$), в условиях достаточного увлажнения отмечено его обратное значимое влияние ($r=-0,493$). Однако количество высеванных семян не всегда обуславливает урожайность сортов ярового ячменя [9]. Это объясняют проявлением генотипических особенностей сортов в их реакции на условия произрастания. В ранее проведенных на базе Федерального государственного бюджетно-

го научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» исследования было установлено, что увеличение густоты посева влияет на структурные показатели растений ярового ячменя, снижает продуктивность и качество зерна [10, 11]. Наибольшие изменения параметров в сторону ухудшения отмечали при увеличении густоты посева культуры до 7,0 млн всхожих зерен на 1 га [11]. Причиной этому служит уменьшение площади питания и усиление конкуренции между растениями за тепло, свет и влагу. Рекомендуемая густота посева для ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона – 5,0 млн всхожих зерен на 1 га. Она рассчитана с учетом способности культуры повышать урожайность благодаря хорошему продуктивному кушению растений. Однако доказано, что такую способность определяют погодные условия, складывающиеся в критические фазы роста и развития растений [2]. В последние годы в Волго-Вятском регионе наблюдают увеличение частоты засух в критический межфазный период «всходы-кушение», что оказывает негативное влияние на процессы кушения растений и, как следствие, на формирование продуктивного стеблестоя. Для минимизации такого отрицательного воздействия возникло предположение о потенциальной эффективности использования различных агротехнических приемов, включая обособованное увеличение нормы высева семян. В то же время современные методы селекции позволяют создавать генотипы, обладающие толерантностью к повышенной густоте стояния растений, что открывает перспективы для оптимизации агротехнических приемов в условиях дефицита влаги. В связи с изложенным необходимо изучение генотипической изменчивости образцов ячменя по реакции на изменение густоты посева и выявление форм, сочетающих высокую устойчивость к стрессовым условиям и способность к формированию стабильной урожайности.

Цель исследований – выделение нового исходного материала для селекции на основе изучения генотипических особенностей коллекционных образцов ярового ячменя, проявляющихся в реакции морфологических признаков на изменение плотности посева.

Для ее достижения решали следующие задачи: оценить влияние увеличения густоты посева на урожайность и элементы ее структуры; выделить образцы, адаптивные к повышенной конкуренции между растениями.

Методика. Полевые исследования проводили на базе Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (г. Киров) в 2022–2024 гг. Объект изучения – 31 образец ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) из мировой коллекции ВИР.

Различную плотность посева создавали с использованием норм высева 5,0 млн всхожих зерен на 1 га (млн шт./га) – контроль и 7,0 млн шт./га – опыт. Предшественник – чистый пар. Учетная площадь делянки – 1,35 м², повторность двукратная. Наблюдения и учет урожая проводили в соответствии с Методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса [12].

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформирована на элювии пермских глин, хорошо окультуренная со следующими агрохимическими показателями пахотного горизонта: содержание гумуса – 1,37...2,67 % (по методу Тюрина, ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и калия – соответственно – 339...383 мг/кг и 243...275 мг/кг (по методу Кирсанова, ГОСТ Р 54650-2011), pH солевой вытяжки – 5,1...5,2 (по методу ЦИНАО, ГОСТ 26483-85).

Полевые работы начинали ранней весной с закрытия влаги боронованием. Под предпосевную культивацию фоном вносили нитроаммофоску в дозе рекомендованной по результатам многолетних исследований [13]. Посев проводили кондиционными семенами (всхожесть 93...96 %) селекционной сеялкой СКС-6-10 в оптимальные агротехнические сроки с последующим прикатыванием. В фазе полного кушения растений посевы обрабатывали гербицидом: в 2022 г. препаратом Балерина СЭ (410 г/л), в 2023 и 2024 гг. препаратом Рефери (0,2 л/га) с добавлением Гран При (10 г/л). Уборку осуществляли селекционным комбайном Winterstaiger в стадии полной спелости зерна. Анализ элементов структуры урожайности проводили в лабораторных условиях.

Метеоусловия в годы проведения исследований значительно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков. В 2022 г. посев провели 6 мая. В начале вегетационного периода преобладала неустойчивая погода с выпадением значительного количества осадков в виде дождя с мокрым снегом, температура воздуха была ниже климатической нормы на 3,4 °С, что привело к сдерживанию развития растений. Большое количество осадков (145 % от нормы) и умеренно теплая погода в июне (16,1 °С) способствовали увеличению продолжительности межфазного периода «кушение-выход в трубку». В июле–августе сложились благоприятные условия для формирования и налива зерна. В июле выпало достаточное количество осадков (130 мм), средняя температура воздуха весь период была выше среднеемноголетней и составляла 20,0 °С. Теплая и жаркая, с атмосферной засухой и редкими дождями погода в августе способствовала уборке урожая в краткие сроки. За месяц выпало 18 мм осадков, гидротермический коэффициент в течение вегетационного периода варьировал от избыточного увлажнения (ГТК=4,22) в межфазный период «всходы-кушение» до умеренного (ГТК=1,29) в период «выход в трубку-колошение», ГТК за вегетацию составил 2,03.

В 2023 г. посев провели 18 апреля. В последней пятидневке месяца отмечали почти ежедневные и временами значительные осадки. Снижение температуры и недостаток осадков (86 % от нормы) в мае способствовали задержке наступления фазы «кушение». В июне преобладала холодная (ниже нормы на 2,3 °С) с редкими дождями погода. В июле средняя температура воздуха составила 18,6 °С, наблюдали частое и обильное выпадение осадков (227 % от нормы) с грозами и сильным ветром. В 2023 г. ГТК изменялся от засушливого (0,43) в межфазный период «всходы-кушение» до избыточного увлажнения (2,23) в период «колошение-созревание» и в среднем составил 1,70.

Посевные работы в 2024 г. осуществили 25 апреля. Начало вегетации растений характеризовалось пониженными температурами (на 4,5 °С меньше среднеемноголетней) и избытком осадков (137 % от нормы). В июне во время закладки колоса была жаркая и сухая погода, температура воздуха составила 18,8 °С, сумма осадков – 32 мм (39 % от нормы). Длительная засушливая погода в период налива и созревания зерна сократила продолжительность вегетационного периода и снизила продуктивность растений. Значения ГТК изменялись от засушливых (0,94) в период «всходы-кушение» до очень засушливых (0,51) в межфазный период «выход в трубку-колошение», средняя величина этого показателя за период вегетации составила 0,73.

В целом погодные условия способствовали всесторонней оценке потенциальных возможностей изучаемых коллекционных образцов.

Для определения вклада факторов в проявление признака проводили трехфакторный дисперсионный анализ (фактор А – образец, фактор В – густота посева, фактор С – год), при дальнейшем анализе показателей – двухфакторный без учета фактора «год» (фактор А – образец, фактор В – густота посева). Дисперсионный и корреляционный анализ осуществляли с использованием пакета селекционно-генетических программ AGROS (версия 2.07) и пакетом программ Microsoft Office Excel 2016. Полученные значения коэффициента корреляции сравнивали с критическими ($r_{критич} = 0,361$) при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Согласно результатам трехфакторного дисперсионного анализа продолжительность вегетационного периода ярового ячменя в значительной степени определяли метеорологические условия, сложившиеся в период роста и развития растений. Их вклад в формирование этого признака составил 80,3 %. Согласно литературным данным [14], увеличение густоты посева может приводить к уменьшению продолжительности периода вегетации ячменя. В наших опытах более позднее созревание растений при норме высева 7,0 млн шт./га, которое задерживалось на 8 дней, по сравнению с контролем, наблюдали только в 2022 г. В остальные годы достоверных различий по продолжительности вегетации между вариантами опыта не выявлено. В среднем за период исследований продолжительность вегетационного периода в контроле составила 73 дня, при увеличении нормы высева до 7,0 млн шт./га – 75 дней.

Табл. 1. Результаты дисперсионного анализа урожайности ярового ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Источник варьирования	Сумма квадратов (SS)	Число степеней свободы (df)	Среднее квадратическое отклонение (MS)	Критерий Фишера (F)	HCP ₀₅
Фактор А (образец)	896354,69	30	29878,49	3,60	73
Фактор В (густота посева)	165820,12	1	165820,12	19,97	19
Взаимодействие (А×В)	1329769,25	30	44325,64	5,34	104
Фактор С (год)	14223664,00	2	7111832,00	856,33	23
Взаимодействие (А×В)	853865,31	60	14231,09	1,71	127
Взаимодействие (В×С)	64719,87	2	32359,94	3,90	32
Взаимодействие (А×В×С)	1394482,75	60	23241,38	2,80	180

Коэффициент корреляции между продолжительностью вегетационного периода и урожайностью был статистически незначим, что связано с принадлежностью большинства образцов к группе среднеспелых сортов. То есть в условиях экспериментов продолжительность вегетационного периода не лимитировала формирование урожайности.

Доминирующий вклад в формирование урожайности коллекционных образцов вносил фактор «год» (69,3 %). На количество всходов и растений, сохранившихся к уборке, большее влияние оказал фактор «густота посева» (27,9...58,6 %). В развитие таких признаков, как масса 1000 зерен и параметры колоса, наибольший вклад внес фактор «образец» (до 69,1 %).

В результате многолетних исследований установлены достоверные различия между образцами и вариантами густоты посева (табл. 1). Существенные различия между изучаемыми образцами и вариантами опыта по урожайности были установлены только в 2022 г. У 18 образцов

наблюдали ее значительное увеличение при повышении нормы высева, например у Л-103/16 прибавка достигала 406 г/м². В то же время у 4 образцов зафиксировано ее снижение, по сравнению с контрольным вариантом. У остальных генотипов изменение густоты посева не оказало существенного влияния на урожайность. В контрольном варианте были выделены образцы Памяти Родиной (695 г/м²) и Памяти Дудина (689 г/м²), однако при увеличении густоты посева их урожайность снижалась на 555 и 492 г/м² соответственно. Наибольшая урожайность при норме высева 7,0 млн шт./га отмечена у образца П-23/08 (633 г/м²). Полученные результаты свидетельствуют о наличии генотипической изменчивости изучаемых образцов по реакции на густоту посева, что подчеркивает важность учета сортовых особенностей при выборе исходного материала для селекции.

Наиболее благоприятные условия для реализации потенциальной урожайности коллекционных образцов ячменя сложились в 2023 г. Средняя величина этого показателя по вариантам опыта в контроле составила 557 г/м² при норме высева 7,0 млн шт./га – 602 г/м², однако различия между вариантами были недостоверны. Это можно объяснить тем, что образцы, отобранные для исследования на основании предварительного изучения, характеризовались высокой урожайностью. Практически у всех, за исключением АС Alberta, Фобос и Lawina, они превышала 500 г/м² в обоих вариантах. Максимальная урожайность в опыте зафиксирована у образца Jenuta (870 г/м²) при норме высева 7,0 млн шт./га. В контроле выделили образцы Ворсинский 2 (763 г/м²) и Л-243/15 (724 г/м²).

В 2024 г. неблагоприятные погодные условия отразились на продуктивности растений. Достоверных различий между образцами и вариантами опыта не выявлено. Урожайность в контроле в среднем по выборке составила 101 г/м², в опытном варианте – 108 г/м². Наибольшей при норме высева 5,0 млн шт./га она была у образцов Tallon (263 г/м²) и Памяти Дудина (254 г/м²), 7,0 млн шт./га – Л-102/17 (232 г/м²) и Салаир (197 г/м²). Полученные данные подтверждают значительное влия-

Табл. 2. Урожайность и продуктивный стеблестой коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Урожайность, г/м ²			Продуктивный стеблестой, шт./м ²		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Салаир	287	495*	391	664	1070*	867
Radegast	270	435*	352	640	951*	796
П-23/08	350	494*	422	599	835*	717
Л-223/15	250	461*	355	517	950*	734
Л-236/10	266	410*	338	503	790*	646
АС Alberta	193	324*	258	471	650	561
Л-209/11	249	492*	371	598	951*	774
Clearwater	267	453*	360	683	830	756
Jenuta	347	509*	428	613	992*	803
CDC Gainer	250	387*	318	528	972*	750
Соборный	302	434*	368	675	822	749
Л-168/16	418	406	412	662	974*	818
Сигнал	304	412*	358	541	837	689
Бионик	336	331	334	609	919*	764
Зазерский 85	389	465	427	589	905*	747
Tallon	415	353	384	651	886*	768
Среднее	338	380*	359	659	870*	765
HCP ₀₅	73	–	–	146	–	–
фактор А						
HCP ₀₅	19	–	–	37	–	–
фактор В						
HCP ₀₅ А×В	104	–	–	206	–	–

*достоверно превысили контроль при уровне значимости $p = 0,05$ (здесь и в табл. 3, 4, 5, 6).

Табл. 3. Полевая всхожесть и сохранность растений к уборке в зависимости от густоты посева (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Полевая всхожесть, шт./м ²			Сохранность растений к уборке, шт./м ²		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Родник Прикамья	490	630	560	461	603	532
Л-102/17	462	642	552	437	598	517
Л-168/16	491	685	588	463	645	554
Форвард	480	637	559	456	587	522
Дина	489	671	580	477	631	554
Среднее	441	634*	538	411	585*	489
НСР ₀₅						
фактор А	57	–	–	77	–	–
фактор В	14	–	–	19	–	–
НСР ₀₅ А×В	нет различий	–	–	нет различий	–	–

яние агроклиматических условий на реализацию продуктивного потенциала ячменя.

В среднем по опыту более высокая урожайность формировалась при густоте посева 7,0 млн шт./га – 380 г/м² (табл. 2), что на 42 г/м² выше, чем в контроле (НСР₀₅ = 19 г/м²). Самым урожайным был образец Jenuta (509 г/м²). Выявлена сортоспецифичность реакции образцов на увеличение густоты посева. Достоверным повышением урожайности на 108...243 г/м² (НСР₀₅ = 104 г/м²) относительно контрольного варианта отличались образцы Салаир, Radegast, П-23/08, Л-223/15, Л-236/10, AC Alberte, Л-209/11, Clearwater, Jenuta, CDC Gainer, Соборный и Сигнал. В то же время изменение количества высеванных семян не повлияло на урожайность 16 и достоверно снизило ее у 3 образцов ячменя.

С увеличением густоты посева повышается количество всходов и растений, сохранившихся к уборке [15]. В наших исследованиях наибольшее количество всходов (634 шт./м²) и сохранившихся к уборке растений (585 шт./м²) отмечено при густоте посева 7,0 млн шт./га, разница с контрольным вариантом составляла 193 шт./м² (НСР₀₅ = 14 шт./м²) и 174 шт./м² (НСР₀₅ = 19 шт./м²) соответственно (табл. 3).

Изменение нормы высева не оказало существенного влияния на полевую всхожесть семян, которая составляла 88 % в контрольном варианте и 91 % в опытном. При анализе показателя «сохранность растений к уборке»

достоверных различий между вариантами опыта не выявлено. Установлено незначительное варьирование значений по годам от 91 (2023 г.) до 95 % (2024 г.) при высева 5,0 млн шт./га и от 90 (2022, 2023 гг.) до 96 % (2024 г.) в варианте с 7,0 млн шт./га. В среднем за годы исследований доля растений, сохранившихся к уборке, в контроле составила 93 %, в опытном – 92 %. Среди изучаемых образцов выделялся Л-168/16, который характеризовался высокой полевой всхожестью (98 %) в обоих вариантах опыта, а также высокой сохранностью растений к уборке: в контроле – 97 %, в варианте с повышенной нормой высева – 92 %. Это свидетельствует о устойчивости указанного образца к неблагоприятным факторам внешней среды и его способности поддерживать высокую жизнеспособность на протяжении всего вегетационного периода. Корреляционный анализ выявил значимую зависимость ($r=0,544$) урожайности от показателя «сохранность растений к уборке» только при норме высева 5,0 млн шт./га.

При загущении посевов сорта формируют урожайность благодаря увеличению продуктивного стеблестоя [16]. Наши исследования подтверждают эти данные. Независимо от варианта опыта коэффициент корреляции между урожайностью и продуктивным стеблестоем составлял $r=0,704...0,710$ ($p \leq 0,05$). Наибольшее количество продуктивных стеблей на единице площади отмечено при норме высева 7,0 млн шт./га – в среднем 870 колосьев на 1 м². В контрольном варианте оно было значительно ниже – 659 колосьев на 1 м² (см. табл. 2). Достоверное увеличение числа колосьев на 236...444 шт./м² при повышении нормы высева продемонстрировали только 13 образцов: Салаир, Radegast, П-23/08, Л-223/15, Л-236/10, Л-209/11, Jenuta, CDC Gainer, Л-168/16, Сигнал, Бионик, Зазерский 85 и Tallon.

Увеличение густоты посева приводит к усилению конкуренции между за доступ к свету и пространству, что оказывает влияние на морфологические параметры, включая высоту растений. При этом в зависимости от сортовых особенностей она может как увеличиваться, так и снижаться [17, 18]. В изучаемом наборе у большинства образцов значительных изменений высоты растений при загущении посева не наблюдали. Однако у некоторых генотипов выявлено достоверное увеличение высоты растений на 8,7...16,0 см (НСР₀₅ = 7,8 см) при норме высева 7,0 млн шт./га, которое, как правило, происходит из-за ухудшения освещенности нижних междоузлий

Табл. 4. Влияние густоты посева на высоту растений, устойчивость к полеганию и кустистость коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Высота растений, см			Устойчивость к полеганию, балл			Общая кустистость, шт./раст.			Продуктивная кустистость, шт./раст.		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Алей	69,9	59,2	64,5	8	9	8	2,13	1,50	1,82	1,87	1,25	1,56
Л-102/17	56,0	62,5	59,2	8	8	8	1,73	1,43	1,58	1,43	1,30	1,37
Салаир	62,9	72,7*	67,8	9	7	8	1,92	2,04	1,98	1,57	1,65	1,61
Radegast	51,1	60,4*	55,8	9	9	9	1,78	2,20	1,99	1,54	1,90*	1,72
Л-223/15	53,9	68,2*	61,1	9	8	8	1,61	1,68	1,65	1,32	1,56	1,44
Л-236/10	60,4	71,9*	66,2	9	8	8	1,52	1,29	1,40	1,19	1,22	1,20
AC Alberte	55,8	64,5*	60,1	9	8	9	1,91	1,63	1,77	1,48	1,43	1,46
Л-209/11	55,8	64,5*	59,9	9	6	8	1,61	1,74	1,68	1,45	1,57	1,51
Clearwater	51,9	67,9*	66,6	8	7	8	1,99	1,86	1,93	1,61	1,72	1,66
Jenuta	56,6	61,6	59,1	9	7	8	2,13	2,17	2,15	1,82	1,87	1,84
Памяти Дудина	73,3	61,4	67,3	6	8	7	1,89	1,37	1,63	1,63	1,27	1,45
Дина	59,9	54,6	57,2	7	8	8	1,82	1,52	1,67	1,47	1,18	1,33
Triumph	62,0	50,3	56,2	9	8	9	1,86	1,63	1,63	1,61	1,33	1,47
Среднее	61,9	62,4	62,1	8	8	8	1,86	1,70	1,78	1,56	1,45	1,51
НСР ₀₅ фактор А	5,5	–	–	нет различий	–	–	0,31	–	–	0,22	–	–
НСР ₀₅ фактор В	нет различий	–	–	нет различий	–	–	0,07	–	–	0,06	–	–
НСР ₀₅ А×В	7,8	–	–	нет различий	–	–	0,43	–	–	0,31	–	–

и увеличения их длины. К таким образцам относятся Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-236/10, АС Alberte, Л-209/11 и Clearwater (табл. 4).

С высотой растений ячменя тесно коррелирует их устойчивость к полеганию [19, 20]. В ходе исследований установлена достоверная связь между величинами этих показателей в контрольном варианте ($r = -0,434$). При повышении густоты посева она усиливалась, достигая значения $r = -0,719$. У всех образцов, которые продемонстрировали при загущении посева увеличение высоты растений, устойчивость к полеганию снижалась на 1...3 балла. Исключением стал Radegast, который сохранял высокую устойчивость к полеганию на уровне 9 баллов независимо от плотности стеблестоя.

При увеличении густоты посева сортов Алей и Памяти Дудина высота растений достоверно снижалась, что сопровождалось повышением устойчивости к полеганию на 1 и 2 балла соответственно. В то же время у образца Triumph уменьшение высоты растений привело к ухудшению устойчивости к полеганию. Эти данные подчеркивают сложный характер взаимосвязи между высотой растений и их устойчивостью к полеганию, а также наличие специфичной сортовой реакции на изменение густоты посева. Полученные результаты важны для селекции сортов, сочетающих оптимальную высоту растений и высокую устойчивость к полеганию в условиях интенсивного земледелия.

Формирование общей и продуктивной кустистости растений ячменя в значительной степени зависит от погодных условий в период кущения. Повышенные температуры и дефицит влаги могут существенно снизить величины этих показателей. Кроме того, негативное влияние на процессы кущения способны оказывать загущенные посевы [14]. В проведенных исследованиях у большинства образцов при увеличении густоты посевов показатели общей и продуктивной кустистости достоверно снижались на 0,16 и 0,11 шт./раст. соответственно ($HCP_{05} = 0,06$ шт./раст.). Исключением был сорт Фобос, у которого общая кустистость возросла, по сравнению с контролем, на 0,49 шт./раст. и Radegast с достоверно более высокой продуктивной кустистостью на 0,34 шт./раст. (см. табл. 4). Это может быть связано с их способностью эффективнее использовать площадь питания и ресурсы среды при повышенной норме высева. Кроме того, были идентифицированы 9 образцов, у которых изменения условий вегетации не повлияли на способность к кущению (Л-102/17, Салаир, АС Alberte, Л-209/11, Clearwater, Jenuta, Сигнал, Дина и Triumph).

В результате проведенных исследований установлено значимое влияние изучаемого фактора на параметры развития колоса. В опытным варианте отмечено уменьшение длины колоса у коллекционных образцов на 0,2 см

($HCP_{05} = 0,1$ см). Наибольшей в контроле она была у сорта Памяти Дудина. У 24 образцов при норме высева 7,0 млн шт./га изменений длины колоса не наблюдали. Особый интерес представляют образцы Салаир, Radegast и Jenuta, которые сформировали более длинный колос (на 0,5...0,7 см) в опытном варианте, по сравнению с контролем (табл. 5).

Параметры колоса – наследуемые признаки, однако их формирование также подвержено влиянию абиотических факторов [21]. С увеличением густоты посева наблюдали достоверное снижение величин таких показателей, как плотность колоса (на 0,2 шт.), количество колосков (на 0,8 шт.) и количество зерен (на 0,7 шт.). К перспективным для использования в качестве исходного материала для селекции сортов, адаптивных к изменению условий вегетации, следует отнести образцы Radegast и Л-209/11, у которых количество зерен в колосе при увеличении плотности посева возросло на 2,4...3,4 шт. (см. табл. 5). Кроме того, выделено 19 образцов, включая Л-102/17, Салаир, П-23/08, Л-223/15, АС Alberte и др., у которых изменение условий вегетации не оказало значимого влияния на параметры колоса.

Масса зерен с колоса находится в прямой пропорциональной зависимости от их количества [22]. В проведенном исследовании выявлена высокая корреляционная связь между этими признаками: при норме высева 5,0 млн шт./га – $r = 0,754$, при норме 7,0 млн шт./га – $r = 0,858$. У образцов Radegast и Л-209/11 увеличение густоты посева привело к повышению продуктивности главного колоса на 0,14...0,24 г ($HCP_{05} = 0,11$ г), тогда как у образцов Jenuta и Сигнал ее изменения не наблюдали (табл. 6). Высокая продуктивность растений при густоте посева 7,0 млн шт./га отмечена у образцов Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-209/11, Clearwater, Jenuta и Л-103/16. Она была выше, чем в контроле, на 0,26...0,68 г ($HCP_{05} = 0,25$ г). При этом масса зерна с растения у образца Л-236/10 осталась неизменной. Согласно результатам корреляционного анализа урожайность достоверно зависела от продуктивности колоса ($r = 0,551...0,749$) и растения ($r = 0,749...0,855$).

Результаты исследований ряда авторов [16, 23] свидетельствуют, что увеличение густоты посевов приводит к снижению массы 1000 зерен. В нашем эксперименте в среднем по изучаемому набору образцов взаимосвязи между величинами этих показателей не установлены. Однако выявлена сортоспецифичность реакции на изменение условий вегетации. Самая высокая масса 1000 зерен как в контрольном, так и в опытном вариантах отмечена у образца Л-102/17. У образцов Л-243/15, Салаир, Radegast, Л-223/15, АС Alberte, Л-209/11, Clearwater, CDC Gainer, Соборный, Фобос,

Табл. 5. Влияние густоты посева на параметры колоса коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец (фактор А)	Длина колоса, см			Плотность колоса, шт.			Количество колосков, шт.			Количество зерен, шт.		
	5,0 млн шт./га	7,0 млн шт./га	среднее	5,0 млн шт./га	7,0 млн шт./га	среднее	5,0 млн шт./га	7,0 млн шт./га	среднее	5,0 млн шт./га	7,0 млн шт./га	среднее
	(фактор В)	(фактор В)		(фактор В)	(фактор В)		(фактор В)	(фактор В)		(фактор В)	(фактор В)	
Салаир	6,3	6,8	6,5	13,1	13,1	13,1	18,6	19,4	19,0	16,9	17,9	17,4
Radegast	6,1	6,8*	6,5	12,6	13,0	12,8	17,9	19,9*	18,9	15,2	18,6*	16,9
Л-209/11	4,9	5,5	5,2	13,6	13,6	13,6	15,0	16,9	15,9	12,9	15,3*	14,1
Jenuta	5,9	6,6*	6,3	13,6	12,9	13,2	17,0	18,1	17,5	15,9	16,4	16,2
Памяти Дудина	6,8	5,5	6,2	13,2	13,3	13,2	20,3	17,3	18,8	17,7	14,5	16,1
Среднее	6,0	5,8	5,9	13,8	13,6	13,7	18,7	17,9	18,3	16,6	15,9	16,2
HCP_{05}												
фактор А	0,4	-		0,5	-		1,4	-		1,5	-	
HCP_{05}												
фактор В	0,1	-		0,1	-		0,4	-		0,4	-	
HCP_{05} А×В	0,7	-		нет различий	-		2,0	-		2,1	-	

Табл. 6. Влияние густоты посева на продуктивность колоса и растения у лучших коллекционных образцов ячменя (среднее за 2022–2024 гг.)¹

Образец (фактор А)	Масса зерна с главного колоса, г			Масса зерна с растения, г			Масса 1000 зерен, г		
	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее	5,0 млн шт./га (фактор В)	7,0 млн шт./га (фактор В)	среднее
Л-243/15	0,71	0,67	0,69	1,17	0,90	1,03	44,8	46,3*	45,6
Л-102/17	0,66	0,73	0,69	0,98	0,86	0,92	48,7	50,2*	49,5
Салаир	0,75	0,82	0,79	1,06	1,38*	1,22	44,0	46,6*	45,3
Radegast	0,63	0,87*	0,75	0,99	1,67*	1,33	45,0	47,7*	46,3
Л-223/15	0,61	0,71	0,66	0,76	1,04*	0,90	43,8	47,8*	45,8
Л-236/10	0,77	0,71	0,74	0,84	0,84	0,84	43,1	43,6	43,4
АС Alberte	0,53	0,58	0,56	0,73	0,79	0,76	39,2	40,6*	39,9
Л-209/11	0,55	0,69*	0,62	0,70	1,01*	0,86	43,0	45,4*	44,2
Clearwater	0,68	0,74	0,71	0,95	1,21*	1,08	36,0	38,2*	37,1
Jenuta	0,74	0,74	0,74	1,13	1,41*	1,27	46,4	46,4	46,4
CDC Gainer	0,71	0,73	0,72	1,10	1,31	1,20	34,1	36,5*	35,3
Соборный	0,66	0,60	0,63	1,08	1,16	1,12	41,3	42,2*	41,7
Фобос	0,66	0,63	0,64	0,80	0,82	0,81	39,0	40,3*	39,7
Л-103/16	0,79	0,84	0,81	1,08	1,43*	1,26	40,9	41,9*	41,4
Lawina	0,66	0,63	0,64	0,93	0,78	0,85	40,0	41,4*	40,7
Сигнал	0,76	0,76	0,76	1,02	1,19	1,10	45,0	44,1	44,5
Triumph	0,75	0,58	0,67	1,23	0,69	0,96	45,2	46,7*	45,9
Среднее	0,71	0,69	0,70	1,05	0,99	1,02	43,7	43,8	43,8
HCP ₀₅ фактор А	0,08	-	-	0,18	-	-	0,4	-	-
HCP ₀₅ фактор В	нет различий	-	-	0,05	-	-	нет различий	-	-
HCP ₀₅ А×В	0,11	-	-	0,25	-	-	0,6	-	-

¹Представлены образцы, у которых при изменении условий вегетации наблюдали увеличение или стабильность показателей продуктивности колоса и растения.

Л-103/16, Lawina и Triumph при увеличении густоты посева наблюдали достоверное увеличение массы 1000 зерен на 0,9...2,7 г (HCP₀₅=0,6 г). Повышение массы 1000 зерен при увеличении густоты посева может быть обусловлено снижением продуктивной кустистости растений. При росте плотности стеблестоя усиливается конкуренция за ресурсы, что приводит к уменьшению количества продуктивных стеблей на одно растение. В результате доступные ресурсы перераспределяются на меньшее количество колосьев, что способствует увеличению массы зерна в каждом из них. Таким образом, растения компенсируют снижение продуктивной кустистости увеличением массы 1000 зерен.

У образцов Л-236/10, Jenuta и Форвард увеличение густоты посева не вызвало достоверных изменений массы 1000 зерен, что может указывать на их ограниченную способность к перераспределению ресурсов в условиях усиленной конкуренции за свет, влагу и питательные вещества.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено достоверное влияние повышения плотности посевов на урожайность и развитие морфологических признаков коллекционных образцов ярового ячменя. Увеличение густоты посева до 7,0 млн шт./га привело к значительному росту урожайности на 42 г/м², благодаря повышению величин показателей продуктивного стеблестоя на 211 шт./м² и количества растений, сохранившихся к уборке, – на 174 шт./м². Одновременно наблюдали значительное снижение общей (на 0,16 шт./раст.) и продуктивной (0,11 шт./раст.) кустистости, длины колоса (на 0,2 см), количества колосков (на 0,8 шт.) и зерен (на 0,7 шт.) в колосе. Полученные данные свидетельствуют о комплексном влиянии густоты посевов на формирование морфологической структуры растений и их продуктивности.

Выявлена сортоспецифичность реакции коллекционных образцов ярового ячменя на увеличение плотности посевов. Выделены перспективные для использования в дальнейшей селекционной работе источники. У образцов Л-23/08, Л-236/10, АС Alberte, Jenuta, CDC Gainer, Соборный, Сигнал и Clearwater отмечено существенное повышение урожайности при высеве 7,0 млн шт./га,

по сравнению с контролем, на 108...186 г/м². У образцов Салаир, Radegast, Л-223/15 и Л-209/11, помимо значительного увеличения урожайности на 165...243 г/м², зафиксировано улучшение таких показателей, как продуктивный стеблестой – на 312...434 шт./м², масса зерна с растения – на 0,28...0,68 г и масса 1000 зерен – на 2,4...4,0 г.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко» FNWE-2024-0002 «С использованием физиологических и биотехнологических подходов получить адаптивные к биотическим и абиотическим факторам, лимитирующим величину и качество урожая семян, генотипы ячменя и овса для европейской территории России» (№ 124122500160-2).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Евдокимова М. А., Марьина-Чермных О. Г. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 91–97. doi: 10.18286/1816-4501-2018-4-91-97.
2. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.
3. Солонечный П. Уровень проявления и корреляция количественных признаков сортов ячменя ярового // Stiinta Agricola. 2018. № 1. С. 23–27.
4. Сапега В. А. Урожайность, сортовое районирование ярового ячменя в Тюменской области и оценка экологической пластичности и стабильности его

- сорт // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 3. С. 84–95. doi: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-84-95>.
5. Влияние препаратов Биоклад и Вермикс на элементы продуктивности, урожайность и качественные показатели ярового ячменя / И. Л. Тычинская, А. А. Зеленов, Е. Н. Мерцалов и др. // Земледелие. 2021. № 4. С. 7–10. doi: [10.24411/0044-3913-2021-10402](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10402).
6. Мартынова С. В., Пакуль В. Н., Андросов Д. Е. Взаимосвязь морфометрических параметров ярового ячменя с урожайностью // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 5. С. 11–20.
7. Засыпкина И. М., Филиппов Е. Г., Попова О. А. Сравнительный анализ сортов озимого ячменя по урожайности и ее компонентов в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 5. С. 59–65. doi: [10.31367/2079-8725-2022-82-5-59-65](https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-5-59-65).
8. Левакова О. В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 3. С. 327–333. doi: [10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333](https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333).
9. Новохатин В. В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 40–47. doi: [10.24411/0235-2451-2018-10910](https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10910).
10. Родина Н. А., Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Реакция новых сортов ячменя на различные приемы технологии // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 8. С. 14–16.
11. Панихина Л. В. Влияния нормы высева на формирование устойчивого урожая сортов ярового ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы IX международной научно-практической конференции. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2023. С. 172–176.
12. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012. 63 с.
13. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя / В. Д. Абашев, Е. В. Светлакова, Ф. А. Попов и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 1(50). С. 24–30.
14. Герасимов С. А., Ляхова Н. Е. Формирование элементов структуры урожая ячменя при увеличении нормы высева в условиях Красноярской лесостепи // СибСкрипт. 2015. № 1–2(61). С. 11–15.
15. Авдеенко А. П., Шестов И. Н., Мокриков Г. В. Влияние нормы высева на продуктивность ярового ячменя в условиях Ростовской области // Сельское, лесное и водное хозяйство. 2014. № 3(30). URL: <https://agro.snauka.ru/2014/03/1338> (дата обращения: 30.03.2025).
16. Ильин А. В., Шарганова И. А., Деревягин С. С. Новый сорт ярового ячменя Граник // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4. С. 23–27. doi: [10.31367/2079-8725-2021-76-4-23-27](https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-23-27).
17. Чернобай С. В., Рожков А. А. Влияние нормы высева и внекорневой подкормки на формирование биометрических показателей растений ячменя ярового // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 58–60.
18. Левакова О. В. Сортвые особенности формирования продуктивности ячменя сорта Рафаэль при разной норме высева // Аграрная наука. 2023. № 367(2). С. 82–86. doi: [10.32634/0869-8155-2023-367-2-82-86](https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-82-86).
19. Бабайцева Т. А., Гамберова Т. В. Модель сорта озимой тритикале для условий Среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 1(62). С. 27–31. doi: [10.30766/2072-9081.2018.62.1.27-31](https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.27-31).
20. Ашаева О. В., Балугев Ю. С. Влияние обработки посевов ячменя регулятором роста ХЭФК на урожайность зерна // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 161(07). С. 172–180. doi: [10.21515/1990-4665-161-013](https://doi.org/10.21515/1990-4665-161-013).
21. Коблянский А. С., Репко Н. В. Влияние нормы высева на формирование густоты продуктивного стеблестоя и число зерен в колосе у сортов озимого ячменя // Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства: Сборник тезисов по материалам II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству. Краснодар: ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, 2018. С. 241–243.
22. Тибирьков А. П., Юдаев И. В. Электрофизическая обработка семян – новый агроприем при возделывании ярового ячменя на юге России // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–22. С. 4930–4933.
23. Кривошеев С. И., Шумаков В. А. Технология возделывания целым колосом в первичном семеноводстве озимой пшеницы в условиях Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67–5(401). С. 608–612. doi: [10.55186/25876740_2024_67_5_608](https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_5_608).

Поступила в редакцию 13.02.2025

После доработки 17.03.2025

Принята к публикации 30.04.2025

РЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ЭНТОМОФАГОВ В СНИЖЕНИИ ЧИСЛЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ПОСЕВАХ СОИ

© 2025 г. **И. С. Агасьева**, кандидат биологических наук, **В. Я. Исмаилов**, кандидат биологических наук, **М. В. Петрищева**, кандидат биологических наук, **А. С. Настасий**, **В. С. Петрищев**

Федеральный научный центр биологической защиты растений,
350039, Краснодар, ул. им. Калинина, 62
E-mail: maria.petrische@yandex.ru

Исследования проводили с целью изучения видового состава и трофической специализации энтомофагов для регулирования численности основных вредителей сои. Работу выполняли в 2023–2024 гг. в г. Краснодаре на сортах сои Вита и Грант (2 га), а также в Динском (10 га) и Кореновском (15 га) районах Краснодарского края на сортах Вилана, Вилана Бета и Веда, в хозяйствах, практикующих экологизированные системы защиты растений. Против хлопковой совки и акациевой огневки двукратно применяли биопрепарат Аккар, Ж (4 л/га) с интервалом 10 суток. Для учета видового состава и численности насекомых использовали кошение энтомологическими сачками различных модификаций, ловушки Малеза, методы массового и индивидуального выведения паразитов (коконы, куколки или имаго паразитов вместе с насекомым-хозяином или яйцекладками раскладывали на индивидуальное выведение в изолированные контейнеры). Комплекс паразитов совок сои был представлен 43 видами семейств Ichneumonidae, Bethyidae, Braconidae, Encyrtidae, Elasmidae, Eupelmidae, Eulophidae, Pteromalidae, Torymidae, Trichogrammatidae. В посевах сои обнаружено 7 видов семейства Coccinellidae, среди которых 6 видов – энтомофаги, 1 вид – микофаг. Трофические связи основных видов паразитических перепончатокрылых сопряжены с акациевой (бобовой) огневкой (*E. zinckenella*) на различных преимагинальных стадиях ее развития. В посевах сои выявлены два аборигенных паразитических перепончатокрылых *P. cassidae* и *A. bifasciatus*, эффективных против адвентивных видов клопов-пентатомид *H. halys* и *N. viridula*.

THE REGULATORY ROLE OF ENTOMOPHAGES IN REDUCING THE ABUNDANCE OF MAJOR PESTS IN SOYBEAN CROPS

I. S. Agas'eva, V. Ya. Ismailov, M. V. Petrishcheva, A. S. Nastasii, V. S. Petrishchev

Federal Scientific Center for Biological Plant Protection,
350039, ul. im. Kalinina, 62
E-mail: maria.petrische@yandex.ru

The aim of the research was to study the species composition and trophic specialization of entomophages to regulate the number of major soybean pests. The research was carried out in 2023–2024 in Krasnodar on soybean varieties Vita and Grant (2 ha), as well as in the Dinskoy (10 ha) and Korenovsky districts (15 ha) on varieties Vilana, Vilana Beta, and Veda, in farms practicing environmentally sound plant protection systems. The biopesticide Akkar, Zh (4 l/ha) was applied twice against the cotton bollworm and the acacia moth at 10-day intervals. To account for the species composition and abundance of insects were conducted, mowing with entomological nets of various modifications, setting Malaise traps, and for accounting of parasites were used cocoons, pupae, imagoes and eggs of host insects, which were set in semi-isolated containers. The species composition of the dominant pests and their complex of entomophages on soybean crops has been established. The parasite complex of owl moths on soybean was represented by 43 species of the following families: Ichneumonidae, Bethyidae, Braconidae, Encyrtidae, Elasmidae, Eupelmidae, Eulophidae, Pteromalidae, Torymidae, Trichogrammatidae. 7 species of the Coccinellidae family were found on soybean crops, where 6 species are entomophages and 1 species is mycophage. The main species of parasitic hymenoptera have been identified, the trophic relationships of which are associated with pulse pod borer moth (*E. zinckenella*) at various preimaginal stages of its development. Two native parasitic Hymenoptera *P. cassidae* and *A. cassidae* identified in soybean crops showed to be effective against adventitious species of stink bugs *H. halys* and *N. viridula*.

Ключевые слова: соя (*Glycine max* (L.) Merr.), энтомофаги, паразиты, пищевые связи, контроль вредителей.

Key words: Soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.), entomophages, parasites, trophic relationships, pest management.

В производстве сои серьезную угрозу представляют вредные организмы. Потери урожая от вредителей и болезней могут достигать 30...40 % [1, 2, 3], что приводит к значительным экономическим убыткам в регионах выращивания этой культуры. Насекомые-вредители оказывают негативное влияние на урожайность и качество семенного материала сои [4]. Видовой состав вредителей сои достаточно хорошо изучен, однако уровень доминирования, вредоносность и численность насекомых варьируют в зависимости от абиотических и биотических факторов среды, влияющих на развитие и размножение фитофагов [5, 6, 7].

Среди вредителей, которые наносят ущерб посевам сои, особенно выделяют представителей отрядов

Hemiptera (клопы, тли), Lepidoptera (различные виды совок, огневки и др.) и Coleoptera (клубеньковые долгоносики, шелкокрылы). В частности, насекомые надсемейства Aphidoidea (тли) вызывают скручивание и сморщивание листьев, сильное увядание и в отдельных случаях гибель растений. Кроме того, такие патогены, переносимые соевой тлей, как вирус мозаики сои, снижают урожайность до 40 %, а также уменьшают содержание белка в семенах на 7...19 %, масла – на 2,5 %. Эффективность использования сортов, устойчивых к повреждению различными видами вредителей, ограничена из-за их адаптации к устойчивости растений-хозяев [8].

Клопы, например *Halyomorpha halys* Stal, повреждают бобы, семена и плоды сои. Наибольшую численность

популяций и, соответственно, ущерб от этих вредителей регистрируют в период созревания сои, от образования бобов до сбора урожая [9].

Личинки хлопковой совки *Helicoverpa armigera* Нб., проникая внутрь боба, частично или полностью уничтожают его. Подобно личинкам акациевой огневки (*Etiella zinckenella* Tr.), гусеницы *H. armigera* загрязняют семена экскрементами. Повреждения, наносимые хлопковой совкой, наиболее значительны, а совместное поражение двумя указанными вредителями приводит к снижению урожайности культуры до 15 % [10, 11].

Масштабная защита посевов сои от вредителей, осуществляемая на миллионах гектаров по всему миру, зачастую сопряжена с применением значительных объемов химических инсектицидов. Однако удовлетворение растущего спроса на продовольствие в условиях быстрого увеличения населения требует защиты сельскохозяйственных культур при одновременном сохранении качества окружающей среды, что достижимо только с использованием экологически и экономически обоснованных методов [12]. Известны случаи нецелесообразности ряда инсектицидов, используемых против вредных членистоногих. Например, такие листовые инсектициды, широко применяемые на Среднем Западе США для борьбы с соевой тлей, как хлорпирифос, лямбда-цигалотрин и бифентрин, токсичны для диких животных в лабораторных условиях [13]. В то же время у ряда видов вредителей формируется устойчивость к существующим химическим соединениям. Адаптацию к инсектицидам наблюдают и у основных вредителей сои. Изучение чувствительности клопов-пентатомид (Hemiptera: Pentatomidae) к инсектицидам показало их низкую или среднюю восприимчивость к ацетамиприду + α -циперметрину, ζ -циперметрину + бифентрину, динотефурану + λ -цигалотрину и бифентрину + карбо-сульфану [14, 15].

В условиях нарастающей угрозы, обусловленной вредоносностью фитофагов и развитием у них резистентности к различным группам инсектицидов, а также под влиянием растущего спроса на экологически безопасную соевую продукцию, все более востребованными становятся биологические методы контроля вредителей. В рамках их реализации необходимо уделять повышенное внимание естественной биоценотической регуляции, эффективность которой напрямую связана с детальным изучением видовой разнообразия и трофических связей популяций насекомых, обитающих на посевах сои.

Цель исследования – изучение видового состава и трофической специализации энтомофагов для регулирования численности основных вредителей сои.

Методика. Работу проводили в 2023–2024 гг. в посевах сои в восьмипольном севообороте Федерального научного центра биологической защиты растений (г. Краснодар) на сортах сои Вита и Грант на общей площади 2 га, а также в фермерских хозяйствах КХ (крестьянское хозяйство) «Кононенко» Динского района и ИП ГКФХ (индивидуальный предприниматель, глава крестьянского (фермерского) хозяйства) В. Н. Чуб Кореновского района Краснодарского края на сортах сои среднеспелого срока созревания Вилана, Вилана Бета и Веда на общей площади 10 и 15 га соответственно. Указанные хозяйства ориентируются на разработку биологических систем защиты сои. Двукратную обработку против основных вредителей (хлопковая совка и акациевая огневка) проводили с интервалом 10 суток биопрепаратом Аккар, Ж (4 л/га).

Почва во всех трех точках проведения мониторинга типичная для центральной зоны Северо-Кавказского

Табл. 1. Метеоданные в период вегетации сои (Краснодарский край (метеостанция Круглик))

Год	Месяц и декада											
	май			июнь			июль			август		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °C												
Средне-много-летняя	15,0	16,8	18,5	19,5	20,4	21,3	20,3	23,2	25,0	23,9	22,7	21,9
2023 г.	14,7	13,8	19,4	24,0	25,6	24,4	30,2	29,0	33,2	27,8	26,9	27,1
2024 г.	14,0	17,2	22,3	25,0	26,6	27,7	30,2	29,0	33,2	35,0	35,9	33,1
Количество осадков, мм												
Средне-много-летнее	18	19	20	22	23	22	21	19	19	16	18	18
2023 г.	52,0	2,0	45,1	64,5	36,0	30,0	30,0	25,0	-	2,0	-	-
2024 г.	11,0	54,0	-	21,0	-	-	8,0	28,0	11,0	-	1,2	6,2
Относительная влажность воздуха, %												
Средне-много-летняя	67	67	67	66	66	65	65	65	64	63	63	65
2023 г.	78	63	75	66	64	61	47	46	41	36	33	26
2024 г.	57	72	59	52	51	38	36	30	59	56	43	52

*1, 2, 3 – номер декады.

региона – чернозем выщелоченный легкоглинистого гранулометрического состава. Глубина гумусового горизонта – 80...150 см.

Учет метеорологических параметров, сложившихся в регионе в годы проведения исследований, осуществляли на основе данных метеостанции Круглик (г. Краснодар). Они в полной мере отражали общую картину погоды в регионе. Существенных различий в метеорологических условиях между тремя пунктами проведения мониторинга не наблюдали. Температурный режим в мае 2023 г. находился на уровне среднесного. Июнь–август характеризовались более высокими температурами по сравнению со среднесноголетними (среднемесячные показатели выше нормы на 5...6 °C. В мае–июле наблюдали обильные осадки, которые превышали среднесноголетние значения. При этом август выделялся отсутствием осадков и низкой влажностью (табл. 1).

В мае–июле 2024 г. во всех хозяйствах, где проводили учеты, сохранялась тенденция к высоким температурам, характерная для 2023 г. Среднемесячные значения превышали норму на 5...7 °C. При этом количество осадков с мая по август было значительно ниже среднесноголетних значений (в 3-й декаде мая, 2-й, 3-й декадах июня осадков не было, затем в 1-й декаде июля выпало 8 мм осадков, что почти в 4 раза меньше, чем в 2023 г.), наблюдали сильный дефицит влаги, что повлияло на урожайность культуры.

Для определения видового состава энтомокомплекса ценоза сои применяли стандартные энтомологические методики учета [16]. Маршрутные обследования начинали весной после появления всходов сои с интервалом 1 раз в 7 дней до конца вегетационного периода. При этом до образования 6 настоящих листочков осматривали по 10 растений в трехкратной повторности рандомизированно. После этого учеты проводили методом кошени энтомологическим сачком: по диагонали поля на каждом участке брали по 4 пробы (по 25 взмахов сачком в каждом), то есть всего по 100 взмахов сачком. Учеты выполняли в теплую погоду в 10...11 часов утра, когда насекомые активно ведут себя на растениях и выявляются наиболее полно.

Трофическую специализацию энтомофагов изучали с использованием стандартных энтомологических методик [17, 18], а также методов сбора преимагинальных стадий насекомых-хозяев (в ценозе сои и прилегающих

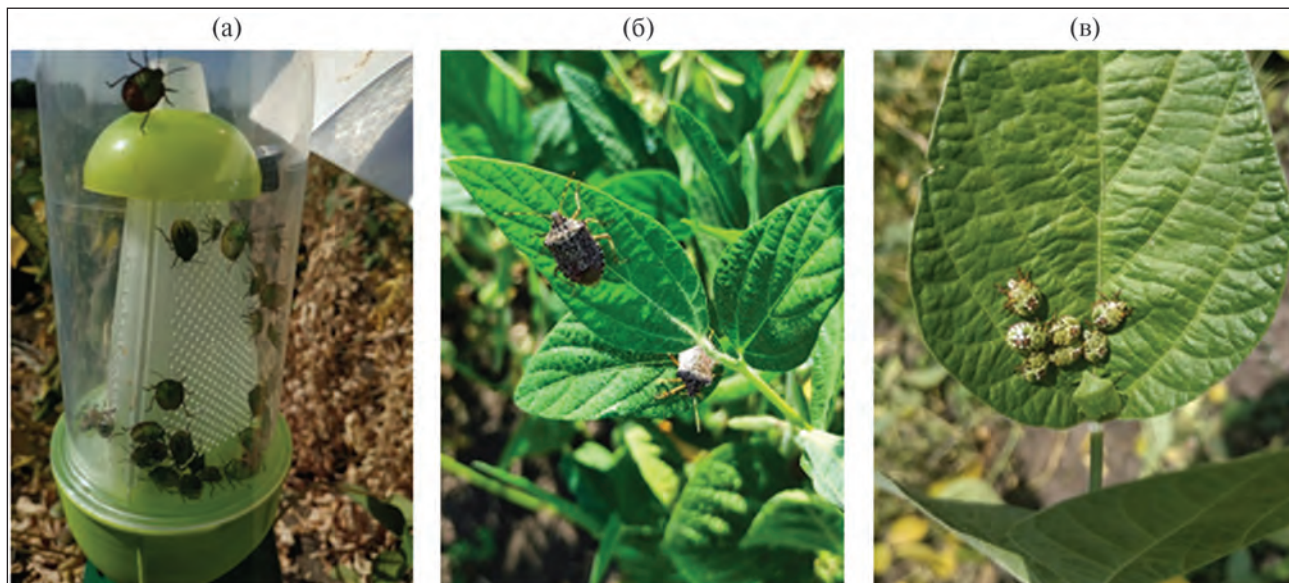


Рис. 1. Феромонная ловушка (а) для учета клопов *Halyomorpha halys* Stål (б) и *Nezara viridula* Linnaeus (с) на сое.

станций) с индивидуальным и массовым выведением паразитов. Для учета чешуекрылых вредителей применяли ловушки с феромонами хлопковой, озимой, восклицательной совки, совки-гамма, совки-ипсилон и капустной моли. Учет видового состава и численности жуков-щелкунов выполняли с использованием наземных феромонных ловушек «Эстрон» с синтетическим феромоном. Дополнительно задействовали феромонные ловушки, предназначенные для отлова мраморного клопа, обладающие агрегационными свойствами и привлекающие родственные виды клопов-пентатомид, в частности, незару зеленую (*Nezara viridula* Linnaeus), нимфы которой часто встречались на листьях сои (рис. 1в). Феромон для коричнево-мраморного клопа привлекал не только взрослых насекомых (рис. 1б), но и их нимф [19]. В феромонной ловушке большая часть отловленных клопов была представлена нимфами старшего возраста (рис. 1а).

Результаты и обсуждение. В посевах сои Краснодарского края выявлены 211 видов насекомых и 2 вида клещей (*Tetranychus urticae* Koch. и *Tetranychus atlanticus* McGregor). Среди обнаруженных видов насекомых 47,9 % оказались фитофагами (101 вид), 52,1 % (110 видов) – энтомофаги (табл. 2).

Все идентифицированные в посевах сои представители отрядов прямокрылых, равнокрылых и чешуекрылых были фитофагами. Наибольшее видовое

разнообразие энтомофагов отмечено в отряде перепончатокрылых, который представлен 84 видами паразитических насекомых, что составляет 39,8 % от общего числа энтомофагов, зарегистрированных в ценозе сои. Остальные 10,9 % энтомофагов включали представителей отрядов Thysanoptera, Hemiptera, Neuroptera, Diptera и Coleoptera (6 видов семейства Coccinellidae и 2 вида семейства Carabidae).

Высокое разнообразие вредителей, поражающих сою, указывает на существование значительной угрозы для этой культуры. Подавляющее большинство фитофагов, выявленных на сое, относятся к полифагам. Среди этой группы многоядных вредителей наиболее значимыми были *Melanotus desertus* Pall., *Thrips tabaci* Lind., *Polymerus cognatus* Fieber., *Lygus pratensis* Linnaeus., *Adelphocoris lineolatus* Goeze., *Dolycoris baccarum* Linnaeus., *Halyomorpha halys* Stal., *Nezara viridula* Linnaeus., *Agriotes sputator* L., *Agriotes gurgistanus* Fald., *Agriotes litigiosus* Rossi., *Opatrum sabulosum* Linnaeus., *Etiella zinckenella* Treitschke., *Helicoverpa armigera*, *Tetranychus urticae* Koch. Гусеницы хлопковой совки наносили повреждения листьям (рис. 2а) и незрелым бобам сои (рис. 2б). Также на бобах отмечали многочисленные повреждения, вызванные гусеницами акациевой огневки (рис. 2в).

Среди основных вредителей, повреждающих сою, наиболее вредоносные фитофаги составили 9,3 % общей фауны членистоногих. Отдельные виды фитофагов присутствовали на посевах в течение всего вегетационного периода. К числу наиболее опасных вредителей отнесены *Helicoverpa armigera*, *Heliothis virescens* Hufnagel, *Autographa gamma* Linnaeus, *Etiella zinckenella* Treitschke, а также клопы семейств Miridae и Pentatomidae. На отдельных участках отмечены локальные популяции соевой тли (*Aphis glycines* Matsumura).

Среди 110 видов энтомофагов, составляющих ценоз сои, значительную роль в регулировании численности доминирующих вредителей играют представители отрядов перепончатокрылых, жесткокрылых, равнокрылых, двукрылых и полужесткокрылых.

Комплекс паразитов совки, повреждающей сою, включал 43 вида, относящихся к следующим семействам отряда перепончатокрылых:

Табл. 2. Соотношение видов насекомых соевого ценоза по пищевой специализации (среднее за 2023–2024 гг. во всех исследуемых хозяйствах)

Отряд	Количество видов									
	общее		фитофаги		энтомофаги					
					всего		из них			
	ед.	%	ед.	%	ед.	%	паразитов	%	хищников	%
Orthoptera	12	5,7	12	5,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Homoptera	2	1,0	2	1,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Thysanoptera	4	1,9	3	1,4	1	0,5	0	0,0	1	0,5
Hemiptera	40	19,0	34	16,1	6	2,8	0	0,0	6	2,8
Coleoptera	28	13,3	20	9,5	8	3,8	0	0,0	8	3,8
Neuroptera	6	2,9	0	0,0	6	2,8	0	0,0	6	2,8
Lepidoptera	28	13,3	28	13,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Hymenoptera	85	40,5	1	0,5	84	39,8	84	39,8	0	0,0
Diptera	6	2,9	1	0,5	5	2,4	3	1,4	2	1,0
Bcero	211	100	101	47,9	110	52,1	87	41,2	23	10,9

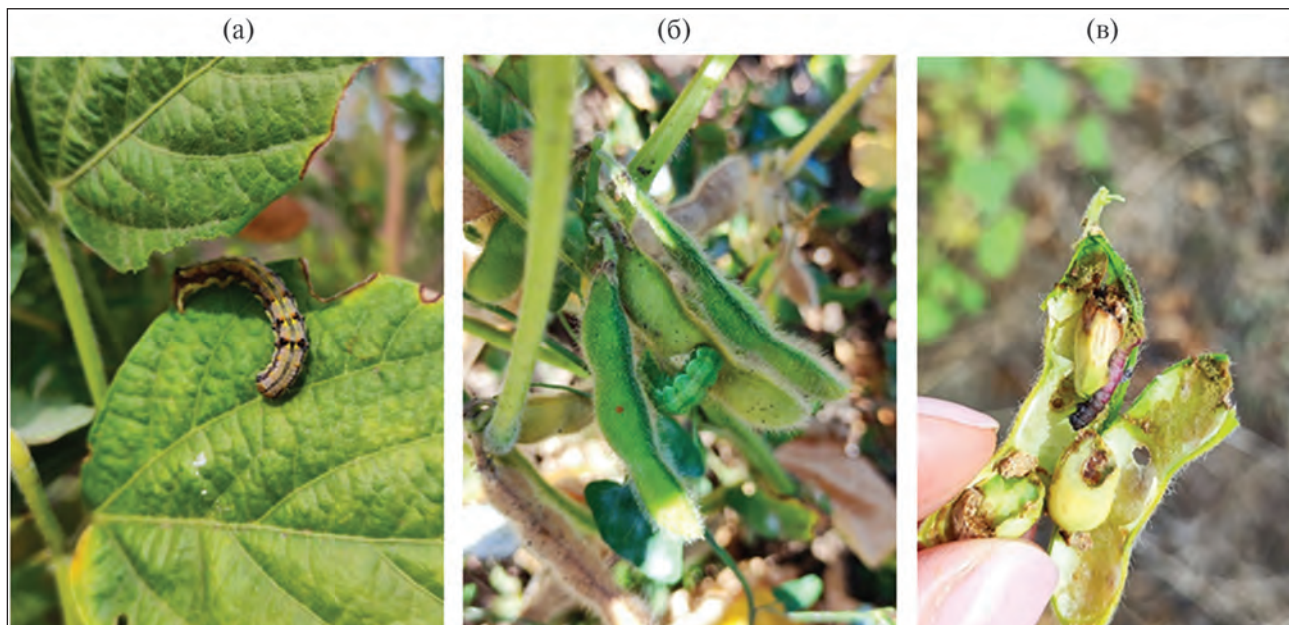


Рис. 2. Гусеницы *H. armigera* (a, b), *Etiella zinckenella* (c) на сое сорта Веда.

Ichneumonidae (*Hyposoter didumator* Wesmael, *Exetastes fornicator* Fabricius, *Exetastes nigripes* Gravenhorst, *Banchus falcatorius* Fabricius, *Banchus volutatorius* Linnaeus, *Netelia testacea* Gravenhorst, *Itopectis melanocephala* Gravenhorst, *Barylypa pallida* Gravenhorst, *Barylypa amabilis* Tosquinet);

Braconidae (*Apanteles plutellae* Kurdjumov, *Apanteles vanessae* Reinhard, *Apanteles kazak* Tobias, *Apanteles arcticus* Tobias, *Microgaster vidua* Ruthe, *Chelonus oculator* Fabricius, *Chelonus annulipes* Wesmael, *Macrocentrus collaris* Spinola, *Rogas rossicus* Spinola, *Rogas dimidiatus* Spinola, *Bracon hebetor* Say, *Bracon simonovi* Kokujev, *Bracon quadrimaculatus* Telenga, *Bracon minutator* Fabricius);

Pteromalidae (*Dibrachys cavus* Walker);

Encyrtidae (*Copidosoma agrotis* Fonscolombe);

Eulophidae (*Eulophus larvarum* Linnaeus, *Eulophus pennicornis* Nees, *Eulophus tespius* Walker, *Euplectrus bicolor* Swederus, *Euplectrus flavipes* Fonscolombe, *Colpoclipeus florus* Walker, *Sympiesis viridula* Thomson, *Sympiesis sericeicornis* Nees, *Sympiesis xanthostoma* Nees, *Pediobius pyrgo* Walker, *Pediobius foliorum* Geoffroy, *Pediobius cassidae* Erdös, *Rhichnopelte crassicornis* Nees);

Trichogrammatidae (*Trichogramma evanescens* Westwood, *Trichogramma pinto* Voegelé);

Eupelmidae (*Eupelmus microzonus* Förster, *Eupelmus urozonus* Dalman);

Elasmidae (*Elasmus unicolor* Rondani).

Выявлены основные виды паразитических перепончатокрылых, трофические связи которых сопряжены с акациевой (бобовой) огневкой (*Etiella zinckenella* Tr.) на различных преимагинальных стадиях ее развития. Комплекс паразитов бобовой огневки был представлен видами *Bracon hebetor* Say, *B. variator* Nees, *B. piger* Wesmael (Braconidae); *Eulophus larvarum* Linnaeus; *Colpoclipeus florus* Walker, *Sympiesis viridula* Thomson, *Sympiesis xanthostoma* Nees, *Euplectrus bicolor* Swederus, *Euplectrus flavipes* Fonscolombe, *Elachertus innunctus* Nees (Eulophidae); *Trichogramma pinto* Voegelé, *Trichogramma evanescens* Westwood, *Trichogramma principium* (Sugonjaev & Sorokina), (Trichogrammatidae) и *Copidosomopsis*

pliothorica Kaltarigone (Encyrtidae), *Elasmus unicolor* Rondani, *Elasmus albipennis* Thomson (Elasmini (ранее Elasmidae)).

В регулировании численности соевой тли особая роль принадлежит божьим коровкам (Coleoptera: Coccinellidae), златоглазкам (Neuroptera: Chrysopidae), хищным клопам (Hemiptera: Anthocoridae, Nabidae), мухам-сирфидам (Diptera: Syrphidae), а также представителям семейства Aphidiidae (Hymenoptera): *Aphidius ervi* Hal., *Aphidius colemani* Hal., *Lysiphlebus fabarum* Marsh., *Lysiphlebus testaceipes* Hal., *Praon volucres* Hal.

В посевах сои выявлены 7 видов семейства Coccinellidae (табл. 3), в том числе 6 видов хищных энтомофагов – *Exochomus quadripustulatus* L., *Coccinella septempunctata* L., *Harmonia axyridis* Pal., *Coccinella bipunctata* L., *Coccinella quatuordecimpustulata* L., *Stetorus punctillum* Ws.; 1 микофаг – *Psyllobora vigintiduopunctata* L.

Выявленные виды хищных кокцинеллид оказывают влияние на численность не только тли, но и других фитофагов сои: паутинных клещей, трипсов, цикадок, а также представителей чешуекрылых, питающихся их яйцами и личинками.

В 2023 г. в Динском районе тля на сое появилась в первой декаде августа и составляла 10,9 экз./растение, жаркое лето 2024 г. (см. табл. 1) способствовало развитию тли, численность которой к концу июля достигала 11,6 экз./растение (см. табл. 4). Афидофаги (Coleoptera:

Табл. 3. Трофическая специализация Coccinellidae, обитающих в Краснодарском крае на сое

Таксономический статус	Трофическая специализация
Триба Coccinellini Latreille, 1807	
<i>Coccinella septempunctata</i> L.	Aphididae (тли) Latreille
<i>Harmonia axyridis</i> Pal.	Diaspididae (щитовки) T.
<i>Propylea</i>	Aleyrodidae (белокрылки) W.
<i>quatuordecimpunctata</i> L.	Metcalfa pruinosa S. (цикадки)
<i>Adalia bipunctata</i> L.	Thysanoptera (трипсы) Haliday
<i>Stetorus punctillum</i> Ws.	Яйца Lepidoptera (чешуекрылые) L.
<i>Coccinula</i>	Tetranychidae (паутинные клещи) D.
<i>quatuordecimpustulata</i> L.	Aphididae (тли) Latreille
Триба Psylloborini Gade, 1921	
<i>Psyllobora</i>	Erysiphaceae (мучнисто-росянные
<i>vigintiduopunctata</i> L.	грибы) Tul. et C. Tul.

Табл. 4. Влияние афидофагов на численность тли в посевах сои, фермерское хозяйство КХ «Кононенко» Динского района

Год	Среднее число тлей на растение		Эффективность, %
	до появления афидофагов, экз.	после появления афидофагов, экз.	
2023	10,9 ^b	2,9 ^a	73,4
2024	11,6 ^b	2,2 ^a	81,0

*Между вариантами, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при уровне вероятности 95 % (здесь и в табл. 5).

Coccinellidae, Neuroptera: Chrysopidae, Hemiptera: Anthocoridae, Nabidae, Diptera: Syrphidae) начали мигрировать на сою с других сельскохозяйственных культур. Эффективность афидофагов в 2023 г. составила 73,4 %, в 2024 г. – 81,0 %.

В посевах сои выявлены два аборигенных паразита *Pediobius cassidae* Erdos и *Anastatus bifasciatus* Geoffroy, способных контролировать численность коричнево-мраморного клопа и незары зеленой. Их паразитическая активность в ранневесенний период составляла 14...18 % (табл. 5). Природные паразиты эффективно заражали яйцекладки клопов-пентатомид. Заражение яиц коричнево-мраморного клопа паразитом *P. cassidae* составило 14,3 %, *A. bifasciatus* – 18,0 %.

Табл. 5. Количество яиц *Halyomorpha halys* Stål., зараженных паразитическими насекомыми из Hymenoptera (2024 г.)

Вид паразита	<i>Halyomorpha halys</i> Stål.		
	Количество яиц, шт.	Паразитировано, %	Заражено, %
<i>Pediobius cassidae</i> Erdos	66±0,6 ^c	42 ^a	14,3 ^a
<i>Anastatus bifasciatus</i> Geoffroy	54±0,6 ^b	48 ^a	18,0 ^b

Выводы. В видовом составе энтомофагов в посевах сои в Краснодарском крае комплекс паразитов совок сои представлен 43 видами семейств Ichneumonidae, Bethyridae, Braconidae, Encyrtidae, Elasmidae, Eupelmidae, Eulophidae, Pteromalidae, Torymidae, Trichogrammatidae. В посевах культуры обнаружено 7 видов семейства Coccinellidae, среди которых 6 видов – энтомофаги, 1 вид – микофаг, а также два аборигенных паразитических перепончатокрылых *P. cassidae* и *A. bifasciatus*, эффективных против адвентивных видов клопов-пентатомид *H. halys* и *N. viridula*.

Видовой состав паразитических перепончатокрылых, ассоциированных с акациевой огнёвкой (*Etiella zinckenella* Tr.) на различных преимагинальных стадиях, включал 16 видов из семейств Braconidae, Eulophidae, Trichogrammatidae, Encyrtidae и Elasmidae.

Отмеченные энтомофаги эффективно регулируют численность доминантных вредителей сои.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00263 (<https://rscf.ru/project/24-26-00263/>).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Заостровных В. И., Дубовицкая Л. К. Вредные организмы сои и система фитосанитарной опти-

мизации ее посевов. Новосибирск: Издательство Максачук Н. Л., 2003. 528 с.

2. Экологическая защита посевов сои в орошаемых агроландшафтах Нижнего Поволжья / В. В. Мелихов, О. П. Комарова, Е. В. Комаров и др. // Успехи современного естествознания. 2018. № 12. С. 81–86.
3. The biochemical and molecular mechanisms of plants: a review on insect herbivory / A. A. Adedayo, R. Musser, M. Aanaenson, et al. // Plant Signaling and Behavior. 2025. Vol. 20. No. 1. Article 2439248. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15592324.2024.2439248> (дата обращения: 18.02.2024). doi: 10.1080/15592324.2024.2439248.
4. Федорова С. Н. Вредная энтомофауна соевого агроценоза в Орловской области // Зернобобовые и крупные культуры. 2013. № 4(8). С. 58–63.
5. Коваленко Т. К., Гришечкина С. Д., Кочева Н. С. Защита растений сои от фитофагов в условиях Приморского края // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. № 11. С. 46–52. doi: 10.26898/0370-8799-2023-11-5.
6. Коваленко Т. К., Лукашенко А. В. Фитосанитарное состояние посевов сои в Приморском крае // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 8–1(98). С. 208–211. doi: 10.23670/IRJ.2020.98.8.032.
7. Дега Л. А., Бутовец Е. С., Лукьянчук Л. М. Соя: болезни и вредители – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», 2022. 127 с.
8. Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) Feeding Behavior is Largely Unchanged by Soybean Mosaic Virus but Significantly Altered by the Beetle-Transmitted Bean Pod Mottle Virus / J. C. Todd, L. R. Stewart, M. G. Redinbaugh, et al. // Journal of Economic Entomology. 2022. Vol. 115. No. 4. P. 1059–1068. doi: 10.1093/jeet/toac060.
9. Feeding Behavior Comparison of Bean Bugs, Riptortus pedestris and Halyomorpha halys on Different Soybean Cultivars / S. B. Park, H. N. Koo, S. J. Seok, et al. // Insects. 2023. Vol. 14. No. 4. Article 322. URL: <https://www.mdpi.com/2075-4450/14/4/322> (дата обращения: 3.03.2024). doi: 10.3390/insects14040322.
10. Nutritional indices of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, on 13 soybean varieties / B. Naseri, Y. Fathipour, S. Moharramipour, et al. // Journal of Insect Science. 2010. Vol. 10. Article 151. URL: <https://bioone.org/journals/journal-of-insect-science/volume-10/issue-151/031.010.1411/Nutritional-Indices-of-the-Cotton-Bollworm-Helicoverpa-armigera-on-13/10.1673/031.010.1411.full> (дата обращения: 3.03.2024). doi: 10.1673/031.010.1411.
11. Feeding injury of major lepidopteran soybean pests in South America / P. D. Carpane, M. Llebaria, A. F. Nascimento, et al. // PLoS One. 2022. Vol. 17. No. 12. Article e0271084. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0271084> (дата обращения: 3.03.2024). doi: 10.1371/journal.pone.0271084.
12. Challenges for Adoption of Integrated Pest Management (IPM): the Soybean Example / A. F. Bueno, A. R. Panizzi, T. E. Hunt, et al. // Neotropical Entomology. 2021. Vol. 50. No. 1. P. 5–20. doi: 10.1007/s13744-020-00792-9.
13. Tallgrass prairie wildlife exposure to spray drift from commonly used soybean insecticides in Midwestern USA / K. M. Goebel, N. M. Davros, D. E. Andersen, et al. // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 818.

- Article 151745. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721068212?via%3Dihub> (дата обращения: 3.03.2024). doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151745.
14. *Modeling the Resistance Evolution to Insecticides Driven by Lepidopteran Species Competition in Cotton, Soybean, and Corn Crops* / J. B. Malaquias, C. P. Ferreira, F. S. Ramalho, et al. // *Biology (Basel)*. 2022. Vol. 11(9). Article 1354. URL: <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/9/1354> (дата обращения: 3.03.2024). doi: 10.3390/biology11091354.
15. *Intra- and Interspecific Variation in the Susceptibility to Insecticides of Stink Bugs (Hemiptera: Pentatomidae) That Attack Soybean and Maize in Southern Brazil* / E. A. Steinhaus, L. F. Warpechowski, L. E. Braga, et al. // *Journal of Economic Entomology*. 2022. Vol. 115. No. 2. P. 631–636. doi: 10.1093/jee/toac013.
16. Савчук И. В. Мониторинг численности и вида насекомых-вредителей для обеспечения безопасности сельскохозяйственной продукции. Тюмень: ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2023. 154 с.
17. Злотин А. З. Техническая энтомология. Киев: Наукова думка, 1989. 183 с.
18. Тамарина Н. А. Основы технической энтомологии. М.: Изд-во МГУ, 1990. 202 с.
19. *Use of Biological Agents to Control the Number of Halyomorpha halys Stål* / I. S. Agasyeva, V. Ya. Ismailov, M. V. Petrishcheva, et al. // *Advancements in Life Sciencis*. 2024. Vol. 11. 3. P. 696–702. doi: 10.62940/als.v11i3.3265.

Поступила в редакцию 05.03.2025

После доработки 19.04.2025

Принята к публикации 13.05.2025

**СОХРАНЕНИЕ СОРТОВ И ОБРАЗЦОВ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ *IN VITRO*
И АНАЛИЗ ИХ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ**

© 2025 г. Н. А. Егорова, доктор биологических наук, С. С. Бабанина,
И. В. Ставцева, кандидаты сельскохозяйственных наук

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма,
295453, Республика Крым, Симферополь, ул. Киевская, 150,
E-mail: yegorova.na@mail.ru

Исследования проводили с целью определения особенностей развития эксплантов сортов и образцов лаванды в процессе длительного сохранения *in vitro* при разных условиях (в темноте или при слабом освещении) и последующего возобновления роста, а также оценки их генетической стабильности. В качестве исходного материала использовали сорта и образцы *Lavandula angustifolia* Mill. – Степная, Синева, Вдала, Волна, Крымчанка, Галлея, № 12-95, № 372-44, Д-356. Развитие эксплантов (сегментов стебля с узлом) анализировали после 6, 9, 12 месяцев депонирования при 6...8 °С в темноте и при освещенности 150...300 лк, а также после их отрастания *in vitro* при 24...26 °С и освещенности 2...3 клк. Число жизнеспособных эксплантов после года хранения в условиях освещения (20,8...63,3 %, в зависимости от генотипа) было выше, чем в темноте (16,3...38,9 %). Анализируемые параметры сильно варьировали в зависимости от сорта и образца. В процессе депонирования отмечали до 44,5...49,8 % эксплантов, у которых формировались побеги. Число жизнеспособных эксплантов при возобновлении роста культур после года хранения при освещении в первом субкультивировании достигало 85,5...98,5 %, а без освещения – всего 30,0...60,0 %. При этом морфометрические параметры и коэффициенты размножения были сопоставимы с таковыми при клональном микроразмножении. На примере сортов Степная, Синева, Вдала с использованием 7 молекулярно-генетических маркеров (RAPD и ISSR) установлено отсутствие генетической дивергенции после года хранения *in vitro*, по сравнению с исходными растениями. В результате исследований оптимизированы режимы депонирования лаванды (освещение, длительность хранения и последующего отрастания), а также показано сохранение генетической стабильности.

**IN VITRO PRESERVATION OF LAVENDER CULTIVARS AND SAMPLES
AND ANALYSIS OF THEIR GENETIC STABILITY**

N. A. Yegorova, S. S. Babanina, I. V. Stavtseva

Crimea Research Agricultural Institute,
295453, Respublika Krym, Simferopol', ul. Kievskaya, 150
E-mail: yegorova.na@mail.ru

The aim of the study was to identify the developmental features of lavender cultivars and samples explants during long-term *in vitro* storage under different conditions (in the dark or in low light) and subsequent regrowth, as well as to assess their genetic stability. The following cultivars and samples of *Lavandula angustifolia* Mill. were used as the source material: Stepnaya, Sineva, Vdala, Volna, Krymchanka, Galleya, No. 12-95, No. 372-44, D-356. An analysis of the development of explants (stem segments with a node) after 6, 9, 12 months of storage at 6...8 °C in the dark and with illumination of 150–300 lux, as well as after their regrowth under *in vitro* conditions at 24...26 °C and illumination of 2–3 klux was carried out. It was found that after a year of storage under illumination, the number of viable explants (20.8...63.3 %, depending on the genotype) was higher than in the dark (16.3...38.9 %). Significant variability of the analyzed parameters depending on the cultivar and sample was shown. During the deposition process, up to 44.5...49.8 % of developing explants were noted, in which shoots were formed. Analysis of regrowth at 24...26 °C and illumination of 2...3 klx showed that the number of viable explants after a year of storage under illumination in the first subculture reached 85.5...98.5 %, and without illumination – only 30.0...60.0 %. At the same time, restoration of morphometric parameters and multiplication index comparable to those in clonal micropropagation was revealed. Using the example of the Stepnaya, Sineva, Vdala cultivars with the use of 7 molecular genetic markers (RAPD and ISSR), the absence of genetic divergence after a year of *in vitro* storage compared to the original plants was established. As a result, lavender storage conditions (lighting, storage duration and subsequent regrowth) were optimized and the preservation of genetic stability was shown.

Ключевые слова: *Lavandula angustifolia*, хранение *in vitro*, эксплант, субкультивирование, генетическая стабильность, ПЦР-анализ.

Key words: *Lavandula angustifolia*, *in vitro* conservation, explant, subcultivation, genetic stability, PCR-analysis.

Создание коллекций генетической плазмы сортов и перспективных образцов сельскохозяйственных, декоративных и лесных культур, а также редких дикорастущих видов в асептических условиях *in vitro* в последние десятилетия становится все более актуальным не только в плане сохранения генетического разнообразия растений, но и с экономической точки зрения [1]. Долгосрочное депонирование *in vitro* позволяет снизить затраты, по сравнению с традиционными приемами поддержания коллекций в полевых условиях *in situ* или при

постоянном субкультивировании образцов в обычных условиях выращивания культур *in vitro* в ходе клонального микроразмножения, а также обеспечить их генетическую стабильность [1, 2, 3]. Одним из альтернативных приемов длительного беспересадочного сохранения растительных объектов в асептических условиях, считают криосохранение, при котором растительный материал находится в жидком азоте при –196 °С [4]. В таких условиях метаболическая активность клеток и тканей прекращается и биоматериал может сохраняться неогра-

ниченно долго без каких-либо генетических изменений. Однако этот метод требует достаточно сложной аппаратуры, поэтому многие биотехнологические лаборатории используют протоколы сохранения *in vitro* в условиях замедленного роста, которые позволяют проводить субкультивирование эксплантов не через 1...2 месяца (как при обычном микроразмножении), а от 6 месяцев до 2...4 лет, в зависимости от вида растения [5]. Снижение кинетики роста культивируемых тканей при этом обеспечивается путем понижения температуры и освещенности, изменения состава питательной среды, а иногда и таким редким приемом, как наслаивание минерального масла [1, 4].

Различные теоретические и методические аспекты создания коллекций *in vitro* достаточно широко представлены во многих экспериментальных и обзорных публикациях, которые главным образом посвящены исследованиям декоративных, плодово-ягодных [2], овощных, лесных и других культур [1, 3, 6]. Во всех работах авторы акцентируют внимание на особенностях влияния на выживаемость и морфогенез депонируемых объектов таких факторов, как генотип растения, тип и размер экспланта, состав питательной среды, культуральный сосуд, температура и освещенность во время хранения (в том числе и с синергетическим эффектом). Чаще всего для замедления роста культур *in vitro* снижают температуру окружающей среды, при этом для многих видов используют низкие положительные температуры в пределах 4...8 °C [1, 6]. Для некоторых тропических или субтропических видов рекомендуют более высокие значения. Например, виды *Vitis* хранили при 10...15 °C, *Arbutus unedo* и *Ceratonia sativa* – при 18 °C, а *Citrus jambhiri* – при 22 °C [5]. И. В. Митрофанова с соавт. отмечали важность оптимизации температуры хранения для декоративных и ароматических растений. Так, после года депонирования при повышении температуры с 4...6 до 12...14 °C у хризантемы и клематиса жизнеспособность эксплантов снижалась с 98 до 70 % [2], тогда как у хурмы наибольшую жизнеспособность (80 %) отмечали при 8...10 °C, а при 4...6 °C – всего 35 % [2, 7].

К важным факторам, лимитирующим рост культур при хранении *in vitro*, относится состав питательной среды. Чаще всего используют среды с добавлением ингибиторов роста и ретардантов (абсцизовая кислота, хлорхлинхлорид, гидразид малеиновой кислоты) или осмотически активных соединений (сорбит, маннит, полиэтиленгликоль, сахароза) [2, 4, 6]. Хотя для некоторых видов рекомендуют среды, применяемые для микроразмножения, иногда со сниженной концентрацией солей [8, 9, 10].

Многие авторы отмечают существенную роль культурального сосуда и способа его закрытия (особенно в связи с негативным влиянием избыточного накопления этилена и CO₂), при этом в зависимости от генотипа для депонирования рекомендуют пробирки, колбы, стеклянные банки или пластиковые контейнеры различного типа [5, 11, 12]. Что касается других условий культивирования, то выбор исходного экспланта и его размера [2, 5] или освещения [5, 6, 13] также варьирует в зависимости от вида растения и используемой методики.

Протоколы поддержания коллекций *in vitro* разработаны для многих видов, хотя остается немало вопросов, касающихся методических приемов, позволяющих продлить беспересадочное культивирование при сохранении достаточного уровня жизнеспособности культур. Очень важно в такого рода исследованиях определить степень сохранения генотипических особенностей растения после депонирования, поскольку сама процедура

подразумевает ряд стрессовых воздействий – снижение температуры и интенсивности освещения, действие осмотиков и др., что само по себе может не только привести к селекции устойчивых к стрессорам форм, но и индуцировать соматоклональные вариации или эпигенетические изменения. Для мониторинга генетической стабильности применяют различные молекулярно-генетические и цитогенетические подходы. В частности, широкое распространение получили такие молекулярные маркеры, позволяющие идентифицировать изменения на уровне ДНК, как RAPD, AFLP, ISSR, SSR. У каждой из этих маркерных систем есть свои преимущества и недостатки [14, 15]. С использованием разных методов анализа ДНК показана генетическая стабильность растений после хранения *in vitro* у розы [16], хризантемы [17], яблони [12], рябчика [18] и других видов [5, 19, 20], хотя в некоторых работах представлены сведения о появлении определенных изменений в ходе депонирования [5, 21, 22].

Лаванда (в частности, *Lavandula angustifolia*) – одно из основных возделываемых в России эфиромасличных растений, сырье которого активно используют в медицине, кулинарии, при производстве парфюмерно-косметических изделий, в ландшафтном озеленении и др. [23]. Исследования в области клеточной инженерии для видов лаванды проводят достаточно активно, чаще всего это разработки протоколов клонального микроразмножения [2, 24, 25], индукции соматоклональных вариантов в каллусных культурах, клеточной селекции *in vitro*, получения вторичных метаболитов [26]. Имеются сведения и о некоторых аспектах длительного хранения лаванды *in vitro*, которые в основном касаются состава питательных сред и температуры культивирования [2, 7, 27]. Однако многие вопросы, связанные с оптимизацией условий депонирования, а главным образом появления генетической вариативности при хранении, остаются неизученными.

Цель исследования – выявить особенности развития эксплантов сортов и образцов лаванды в процессе сохранения *in vitro* в разных условиях (в темноте или при слабом освещении) и последующего возобновления роста, а также оценить их генетическую стабильность.

Методика. В качестве исходного растительного материала использовали сорта и образцы лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) из коллекции генофонда пряно-ароматических, эфиромасличных и лекарственных растений ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) (УНУ № 507515) – Степная, Синевая, Вдала, Волна, Крымчанка, Галлея, № 12-95, № 372-44, Д-356. Работу проводили в лаборатории биотехнологии НИИСХ Крыма с использованием как общепринятых методик культуры органов и тканей растений [2, 7], так и разработанным ранее для лаванды [26].

Для получения асептической культуры участки побегов длиной 3...4 см промывали в мыльном растворе, стерилизовали в 70 %-ном этаноле (40 с) и 50 %-ном растворе препарата «Брадофен» 10Н (ФЛОРИН АО, Венгрия) (12 мин), затем 3 раза промывали дистиллированной автоклавированной водой. Введение в культуру *in vitro* и микроочеренкование осуществляли в ламинарном боксе БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2 (Россия). Из побегов под микроскопом МСП-1 (ЛОМО, Россия) выделяли пазушные почки (3...5 мм), которые помещали на оптимизированную для 1 этапа микроразмножения лаванды питательную среду Мурасиге и Скуга (МС), дополненную 1,0 мг/л кинетина и 0,5 мг/л гибберелловой кислоты (ГК₃) (Sigma, США) [26]. Затем проводили 2...3 субкультивирования на среде МС с 0,5 мг/л

кинетина и 0,1 мг/л ГК₃ [26] в условиях культуральной комнаты при 24...26 °С, 70 %-ной влажности воздуха, освещенности 2...3 клк и 16-часовом фотопериоде.

В экспериментах по долгосрочному хранению *in vitro* эксплантов служили сегменты стебля с одним узлом (5...7 мм), которые культивировали в закрытых ватно-марлевыми пробками пробирках (150×16 мм) на ранее рекомендованной питательной среде МС с добавлением 0,5 мг/л кинетина и 0,1 мг/л ГК₃ [27]. Депонирование культур *in vitro* проводили при пониженной температуре 6...8 °С в холодильной камере НУС-610 (Haier Biomedical, Китай) в условиях круглосуточного освещения 150...300 лк или в темноте (штатив с пробирками закрывали темной бумагой). Через 6, 9 и 12 месяцев определяли число жизнеспособных и развивающихся эксплантов, длину и число побегов, количество узлов на побег, частоту корнеобразования и витрификации. Подсчет числа жизнеспособных эксплантов выполняли визуально, учитывая зеленые микрочеренки без признаков некроза.

После 1 года хранения при низкой температуре проводили анализ эффективности восстановления роста культур. Для этого развившиеся микропобеги черенковали в условиях ламинарного бокса, после чего экспланты (сегменты стебля с 1 узлом) помещали на среду для микроразмножения. На этом этапе выращивание осуществляли в культуральной комнате при 24...26 °С, 70 %-ной влажности воздуха, освещенности 2...3 клк и 16-часовом фотопериоде. В конце первого субкультивирования (30...35 сут) определяли ранее перечисленные морфометрические параметры, а также рассчитывали коэффициент размножения (как произведение количества образующихся на экспланте побегов на число узлов на побег). Во втором субкультивировании проводили аналогичный анализ.

Для оценки генетической стабильности лаванды после низкотемпературного хранения использовали сорта Вдала, Синева и Степная. Материалом для исследования служили исходные растения, выращиваемые в закрытом грунте, а также микрорастения, полученные *in vitro* после низкотемпературного хранения в течение 12 месяцев. Геномную ДНК выделяли из листовой ткани модифицированным СТАВ-методом [28]. Молекулярно-генетический анализ проводили с использованием 2 праймеров RAPD и 5 праймеров ISSR (Евроген, Россия), ранее валидированных для идентификации генотипов лаванды при клональном микроразмножении [29]. Так как все применяемые в работе праймеры уже были апробированы в предыдущей работе на сортах лаванды селекции НИИСХ Крыма и показали надежность в идентификации отдельных генотипов и сохранении зародышевой плазмы при клональном микроразмножении, эффективность использования их при оценке генетической стабильности при холодном хранении не вызывает сомнения. Амплификацию ДНК осуществляли с использованием ДНК Таq-полимеразы (QiaGen, Германия). Условия ПЦР (полимеразной цепной реакции) и электрофоретического разделения продуктов амплификации подробно описаны в работе [29]. Расчет молекулярной массы продуктов амплификации выполняли в программе Totallab v2.01. Расчет генетических дистанций и построение дендрограммы на основе коэффициента сходства (SM) осуществляли в программе NTSYS-pc (Numerical Taxonomy System, версия 2.0).

В каждом варианте опыта анализировали не менее 15 эксплантов в 3-кратной повторности. Статистическую обработку данных осуществляли согласно общепринятым методам математической статистики при помощи

стандартного пакета документов Microsoft Office Excel (2010). Достоверность отличий оценивали по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$. В таблицах представлены средние значения и их стандартные ошибки, а на графиках – доверительные интервалы.

Результаты и обсуждение. После полугодового депонирования в темноте у всех сортов и образцов отмечали 100 % жизнеспособных эксплантов, после 9 месяцев величина этого показателя снизилась до 32,8...63,5 %, а после 12 месяцев – до 16,3...38,9 %, в зависимости от генотипа. Наибольшее число жизнеспособных микрочеренков через год отмечали у образцов № 372-44, Д-356 и № 12-95. В условиях проведенного эксперимента не наблюдали полной остановки развития всех эксплантов. Так, после года хранения у 20,0...44,5 % микрочеренков отмечали замедленное формирование тонких светлых этиолированных побегов и пазушных почек (рис. 1, 2а). При этом, как правило, развивалась 1 пазушная почка или микропобег длиной 10...15 мм с 1,5...1,7 узлами. Частота множественного побегообразования достигала 16,7 %. Наибольшее число развивающихся жизнеспособных эксплантов было характерно для сортов Синева и Вдала. У основания микропобегов с частотой до 5...20 % отмечали ризогенез, при котором формировалось 2...3 корня длиной до 30...40 мм.

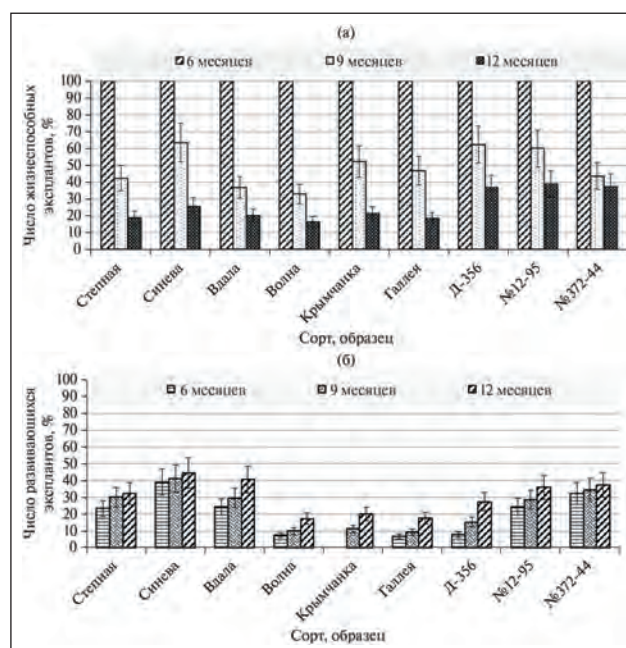


Рис. 1. Число жизнеспособных (а) и развивающихся (б) эксплантов лаванды при депонировании без освещения в зависимости от генотипа и длительности хранения.

При хранении эксплантов в условиях низкой интенсивности освещения (150...300 лк) наблюдали сходные тенденции развития, особенно это касается морфометрических параметров развивающихся микропобегов. Вместе с тем количество жизнеспособных эксплантов после года депонирования в этом варианте у большинства генотипов достигало 20,8...63,3 % (рис. 3), что гораздо выше (до 1,6 раза), чем при хранении в темноте (см. рис. 1).

По основным параметрам развития эксплантов при депонировании установлены значительные генотипические различия. Наибольшая частота жизнеспособных эксплантов после 12 месяцев депонирования отмечена

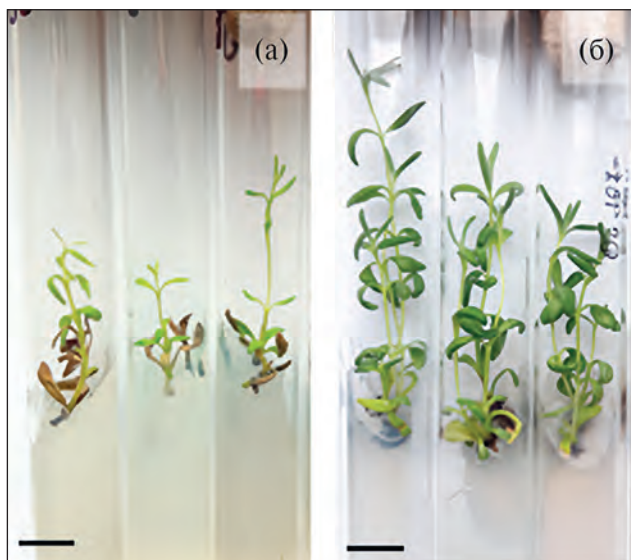


Рис. 2. Развитие эксплантов лаванды сорта Синева: а) после 12 месяцев хранения *in vitro* в темноте; б) при последующем отрастании после года депонирования в культуральной комнате (2-е субкультивирование). Масштаб – 10 мм.

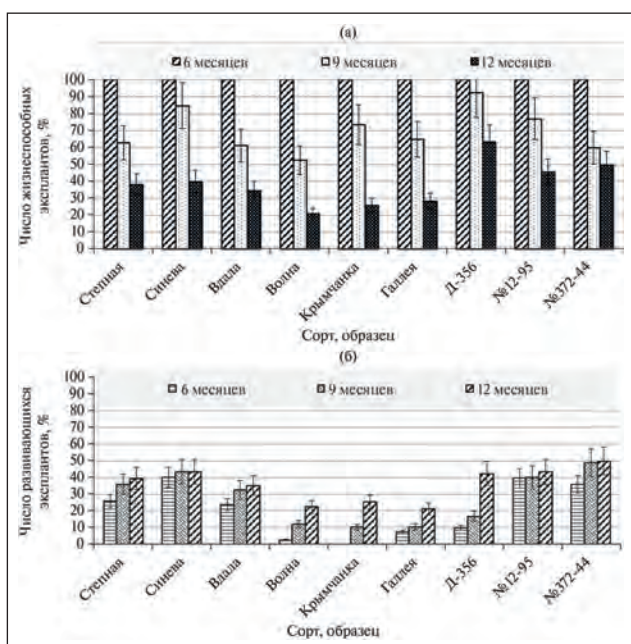


Рис. 3. Число жизнеспособных (а) и развивающихся (б) эксплантов лаванды при депонировании с освещенностью 150...300 лк в зависимости от генотипа и длительности хранения.

у образца Д-356, а наименьшая – у сорта Волна. Часть жизнеспособных эксплантов развивалась (21,3...49,8 %), при этом формировались побеги длиной до 20...30 мм. По числу развивающихся микрочеренков достоверных различий с темновым хранением не выявлено.

Необходимый, на наш взгляд, этап, характеризующий эффективность протоколов депонирования, – определение способности культур восстанавливать рост после переноса из стрессовых условий хранения при низкой температуре в обычные условия *in vitro* (что, к сожалению, многие исследователи не освещают в своих работах). После первого и второго субкультивирования

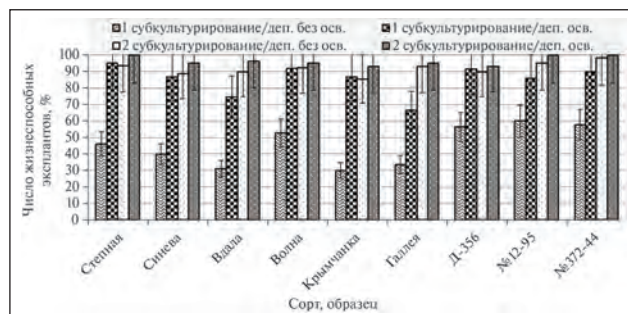


Рис. 4. Число жизнеспособных эксплантов при отрастании в культуральной после 12 месяцев хранения *in vitro* при разных режимах освещения в зависимости от генотипа (деп. без осв. – депонирование без освещения; деп. осв. – депонирования с освещенностью 150...300 лк).

в этих условиях, прежде всего, оценивали основной параметр – число жизнеспособных эксплантов (рис. 4).

Результаты определения способности культур восстанавливать рост и развитие после переноса из стрессовых условий хранения при низкой температуре в обычные условия *in vitro* свидетельствуют, что практически все жизнеспособные экспланты развивались, формируя микропобеги (см. рис. 26). В результате первого субкультивирования после темнового хранения число жизнеспособных эксплантов было наименьшим – от 30,0 % у сорта Крымчанка до 60,0 % у № 12–92 (рис. 4). После второго субкультивирования величина этого показателя значительно увеличилась до 66,7...95,0 %. Следует обратить внимание на то, что после хранения объектов при освещении число жизнеспособных эксплантов уже в первом пассаже в культуральной комнате достигало 85,5...98,5 %, а во втором – 100 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что для полного возобновления роста у лаванды после хранения при освещении достаточно провести всего одно субкультивирование, тогда как после темнового депонирования необходимы 2 пассажа (что более длительно и дороже).

При отрастании после года депонирования в первом субкультивировании отмечали достаточно активное множественное побегообразование – формировалось, в зависимости от генотипа, 1,7...4,2 побега длиной до 15,7 мм (см. табл.). Коэффициент размножения варьировал от 3,2 у сорта Галлея до 11,6 у Д-356. Это свидетельствует о значительной генотипической зависимости морфогенетических процессов как в период хранения лаванды *in vitro*, так и при возобновлении роста. Во втором субкультивировании, по сравнению с предыдущим, наблюдали снижение количества побегов (максимум до 2,7 раза) при увеличении их длины (максимум до 2,9 раза), достоверное у многих генотипов. Коэффициенты размножения в двух анализируемых пассажах были сходны, хотя у сортов Волна и Галлея выявлено достоверное повышение величины этого показателя в 1,6...1,8 раза, а у Д-356, наоборот, – снижение в 1,8 раза. При отрастании культур после хранения в условиях освещения наблюдали сходные закономерности изменения морфометрических параметров. Необходимо отметить, что многие морфометрические показатели были достаточно близкими с таковыми при размножении лаванды *in vitro*. Например, у сортов Степная, Вдала и Синева коэффициенты размножения составили 6,0...8,8 (см. табл.), что сопоставимо с этими показателями, выявленными ранее в 5...6 пассажах [24, 29].

Выявленные при депонировании и отрастании особенности морфогенеза эксплантов лаванды свидетель-

Влияние генотипа на развитие эксплантов лаванды при отращивании в культуральной комнате после 12 месяцев хранения без освещения

Число суб-культиви-руваний	Сорт, образец	Число побегов, шт./эксплант	Длина побега, мм	Число узлов, шт./побег	Коэффициент размножения
1	Степная	2,8±0,2	15,7±1,2	2,9±0,3	8,1±0,7
	Синева	4,2±0,2	11,2±0,8	2,1±0,2	8,8±0,8
	Вдала	2,6±0,2	10,9±1,1	2,3±0,2	6,0±0,5
	Волна	2,6±0,2	11,2±0,8	2,0±0,2	5,2±0,5
	Крымчанка	2,3±0,2	11,4±1,0	2,1±0,3	4,8±0,5
	Галлея	1,7±0,2	10,9±0,9	1,9±0,2	3,2±0,3
	Д-356	4,0±0,4	14,1±0,9	2,9±0,2	11,6±1,0
	№12-95	1,9±0,3	14,4±1,8	3,1±0,3	5,9±0,6
	№372-44	2,5±0,2	12,0±1,0	2,6±0,3	6,5±0,6
	Степная	2,3±0,2	29,5±3,2*	3,6±0,3	8,3±0,8
2	Синева	2,2±0,2*	18,0±1,7*	2,9±0,2*	6,4±0,6
	Вдала	1,7±0,2*	20,3±2,0*	3,3±0,3*	5,6±0,6
	Волна	2,0±0,2	32,6±2,1*	4,1±0,4*	8,2±0,8*
	Крымчанка	2,2±0,2	20,4±1,5*	2,6±0,3	5,7±0,6
	Галлея	1,9±0,2	19,5±1,2*	3,1±0,3*	5,9±0,6*
	Д-356	1,5±0,1*	23,7±2,4*	4,3±0,4*	6,5±0,6*
	№12-95	1,7±0,3	26,5±2,0*	3,3±0,4	5,6±0,6
	№372-44	2,4±0,2	26,8±1,9*	3,2±0,2	7,7±0,8

*достоверное изменение во втором субкультивировании, по сравнению с первым, при уровне значимости $p \leq 0,05$.

ствуют о целесообразности использования освещения (150...300 лк) при цикле депонирования, не превышающем 12 месяцев. Для возобновления роста эксплантов после депонирования при освещении достаточно провести одно субкультивирование.

Сопоставление результатов собственных исследований с литературными данными в таких экспериментальных работах затруднено не только из-за разных используемых видов или сортов, но и, прежде всего, из-за различающихся условий культивирования (в частности, культуральных сосудов, температуры), эксплантов, питательных сред и других, часто не описываемых авторами деталей. В частности, по поводу необходимости и эффективности освещения культур при хранении порой даже для одного вида растения разные авторы рекомендуют различные режимы. В частности, в одних работах для фикуса, зизифуса, черники [5], мяты [10], розы [13] использовали хранение в темноте, тогда как в других – экспланты ряда плодовых культур [2], березы [9], земляники, инжира, розы [16], а также редких видов растений [8] выращивали при пониженной интенсивности света 500...1500 люкс. При этом, как правило, сравнительного анализа режимов освещения не проводили. В нашем исследовании для сортов лаванды показана большая эффективность слабого освещения 150...300 лк, по сравнению с темновым хранением.

Что касается немногочисленных исследований депонирования лаванды, в работе А. О. Attia et al. показана значительная вариабельность выживаемости эксплантов (от 0 до 90 %) у *L. dentata*, в зависимости от состава питательной среды после 12 месяцев сохранения при температуре $22 \pm 2^\circ \text{C}$ [30]. Наибольший показатель был достигнут при использовании среды МС с добавлением 15 г/л сахарозы и 15 г/л сорбита. При сохранении разных типов эксплантов эти авторы не выявили достоверных различий на некоторых средах по уровню жизнеспособности, хотя на большинстве сред величина этого показателя была выше у пазушных почек, по сравнению с почками, выделенными из верхушек побегов.

В ходе изучения депонирования нескольких сортов *L. angustifolia* и *L. × intermedia* при низких положительных температурах выявлено снижение жизнеспособности эксплантов с 90...100 % до 60 % по мере повышения температуры хранения с 4...6 до 12...14 °C [2]. В наших исследованиях показана значительная вариабельность

большинства морфометрических параметров в зависимости от депонируемого сорта и образца *L. angustifolia* как при хранении, так и при последующем отращивании эксплантов в культуральной комнате. Ранее при анализе хранения *in vitro* эксплантов 6 сортов лаванды была выявлена их различная реакция на питательные среды разного состава [27], что еще раз подтверждает установленную и у других видов растений высокую зависимость эффективности депонирования от генотипа [5]. К сожалению, даже при использовании оптимального для одного сорта протокола среди генотипов в пределах одного вида можно обнаружить разный уровень выживаемости и развития эксплантов.

Поддержка генетической стабильности – критически важный фактор обеспечения эффективного сохранения зародышевой плазмы *in vitro*, поскольку основная задача при создании коллекции – сохранение генотипа исходных сортов, которое можно подтвердить путем анализа ДНК [31, 32]. Анализ генетического профиля микропобегов исследуемых сортов после 12 месяцев хранения при низких положительных температурах, проведенный с использованием маркеров RAPD и ISSR, не выявил различий с исходными растениями. Визуальная оценка электрофореграмм продемонстрировала наличие идентичных полос (бэндов) в спектрах ДНК, выделенной из исходных генотипов и депонированного материала (рис. 5).

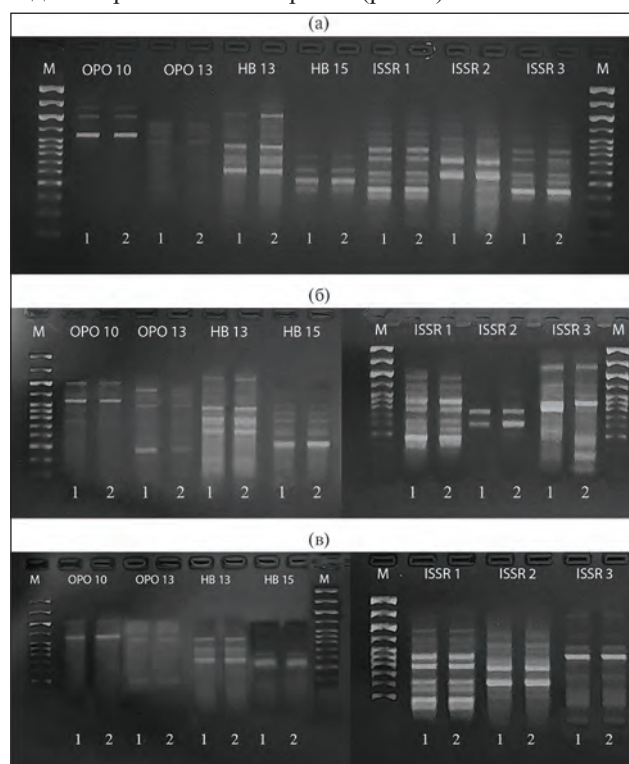


Рис. 5. Электрофореграммы генетических профилей исходных и депонируемых сортов лаванды Вдала (а), Синева (б) и Степная (в) с использованием RAPD и ISSR маркеров: М – маркер молекулярной массы; 1 – растение исходного сорта, 2 – микропобеги после 12 месяцев депонирования; OPO 10, OPO 13, HB 13, HB 15, ISSR 1, ISSR 2, ISSR 3 – названия молекулярно-генетических маркеров.

В результате ПЦР-анализа с 2 RAPD и 5 ISSR маркерами у исходных растений сорта Вдала и микроклонов, депонированных в течение одного года, было амплифицировано по 51 фрагменту. Для сортов Синева и Степная

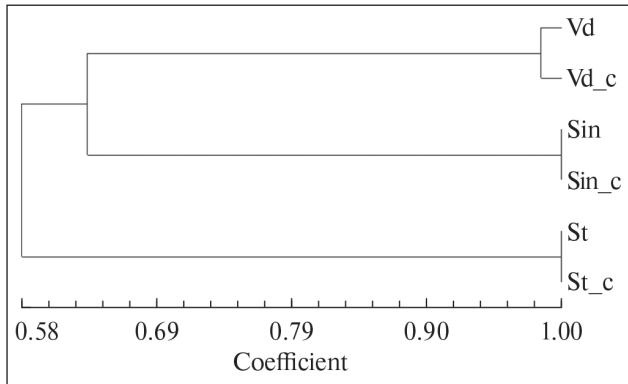


Рис. 6. Дендрограмма исходных и депонируемых сортов лаванды, построенная методом UPGMA на основании матрицы SM дистанций: Vd – исходный сорт Вдала, Vd_c – сорт Вдала после 12 месяцев хранения; Sin – исходный сорт Синева, Sin_c – сорт Синева после 12 месяцев хранения; St – исходный сорт Степная, St_c – сорт Степная после 12 месяцев хранения.

количество амплифицированных фрагментов составило 44 и 40 соответственно. Анализ электрофоретических картин показал, что количество амплифицированных фрагментов и их молекулярная масса у депонированных микрорастений не отличались от таковых у исходных растений.

При кластеризации образцов по данным молекулярно-генетического скрининга установлено расположение исходного и депонированного растений на одной ветке, при этом показана близкородственность сортов Вдала и Синева, при линии дискретизации на уровне коэффициента сходства (SM) 0,64, в то время как SM между исследуемым и сохраненным генотипом был равен 1,00 (рис. 6).

Одной из основных проблем при сохранении генотипов *in vitro* считают соматоклональную изменчивость, возникающую в процессе культивирования [31]. Накопление таких мутаций, а также стрессовые факторы среды культивирования (гормональный дисбаланс, осмотический стресс, др.) могут вызывать генетический дрейф, что уменьшает адаптивный потенциал и ценность сохраняемого материала [15, 33]. В большинстве работ, как и в нашем эксперименте, показана генетическая стабильность при сохранении генетических коллекций [1, 20, 34]. Однако наряду с такими исследованиями есть информация и о генетических изменениях, которые отмечали после хранения при низких температурах. Так, в рамках исследования генетической стабильности растений двух сортов картофеля при криосохранении была проведена оценка полиморфизма длин амплифицированных фрагментов, полученных при амплификации с AFLP-праймерами (7 праймеров), и показано для одного из сортов 100 % генетического сходства, для второго – только 97 % [35]. В работе бразильских исследователей при оценке жизнеспособности растений ананаса, сохраняемых *in vitro* в течение 10 лет в режиме медленного роста, проводили верификацию генетических профилей с использованием ISSR маркеров. Установлено, что у депонируемых растений *Ananas comosus* var. *comosus* и *A. comosus* var. *anapassoïdes* соматоклональные вариации не были обнаружены, но, вероятно, имели место при сохранении двух образцов *A. comosus* var. *bracteatus* [21]. В работе I. Кос с соавторами показано, что хранение *Pistacia lentiscus* L. при низкой положительной температуре может привести к активации транспозонов и, следовательно, вызвать генетическую нестабильность [22]. Интересен эксперимент, где оценивали

генетическую идентичность с использованием 5 RAPD праймеров после сохранения *in vitro* некоторых дикорастущих растений Саудовской Аравии, в числе которых была и *Lavandula dentata*. Результаты анализа электрофоретических картин свидетельствуют о генетической стабильности микрорастений после депонирования. В то же время в некоторых других вариантах обработки наблюдали потерю отдельных фрагментов, соответствующих определенным полосам [30].

В связи с такими противоречивыми данными для снижения рисков возникновения мутаций необходимы строгий мониторинг и контроль сохранения генетической целостности депонируемых сортов и образцов. Эффективные стратегии сохранения *in vitro* должны быть направлены на минимизацию этих рисков, чтобы обеспечить долгосрочную устойчивость и полезность генетических коллекций.

Выводы. После 6 месяцев депонирования при испытанных режимах у всех генотипов отмечали 100 %-ную жизнеспособных эксплантов. После 12 месяцев их число при хранении в темноте составило 16,3...38,9 %, при освещении – 20,8...63,3 %, в зависимости от генотипа. При обоих режимах культивирования обнаружено замедленное формирование тонких этиолированных побегов и почек с частотой до 44,5...49,8 %. Анализ возобновления роста культур (при 24...26 °C и освещении 2...3 клк) показал, что после хранения при освещении в первом субкультивировании число жизнеспособных эксплантов достигало 85,5...98,5 %, тогда как после темнового депонирования – всего 30,0...60,0 %. При этом отмечено восстановление морфометрических параметров и коэффициенты размножения (от 3,2 до 11,6), сопоставимые с таковыми при клональном микро размножении. При хранении и последующем отрастании эксплантов у изучаемых сортов и образцов выявлена значительная вариабельность анализируемых морфометрических параметров, при этом наиболее эффективное сохранение *in vitro* характерно для образцов Д-356, № 12-95, № 372-44. Для сортов Синева, Степная, Вдала при проведении ПЦР с 2 RAPD и 5 ISSR маркерами была показана их генетическая идентичность исходным сортам после 12 месяцев хранения. Полученные экспериментальные данные позволили оптимизировать режимы депонирования лаванды: для сохранения рекомендуется использование слабого освещения (150...300 лк), цикл депонирования длительностью 12 месяцев, а для возобновления роста объектов после хранения проведение одно субкультивирования. Результаты молекулярно-генетического анализа свидетельствуют о надежности используемых приемов *in vitro* в отношении сохранения генетической стабильности.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ FNZW-2022-0008 (122101300035-2).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. *In vitro* Germplasm collection and storage: a review / O. Imarhiagbe, J. O. Osazee, R. O. Aiwansoba, et al. // *International Journal of Biology Research*. 2016. Vol. 1. No. 1. P. 9–14.

2. *In Vitro Conservation and Cryopreservation of Clonally Propagated Horticultural Species* / A. Agrawal, S. Singh, E. V. Malhotra, et al. // In: *Conservation and Utilization of Horticultural Genetic Resources*. eds P. Rajasekharan, V. Rao. Singapore: Springer, 2019. P. 529–528. doi: 10.1007/978-981-13-3669-0_18.
3. Основы создания генобанка *in vitro* видов, сортов и форм декоративных, ароматических и плодовых культур: коллективная монография / под ред. И. В. Митрофановой. Симферополь: Ариал, 2018. 260 с. doi: 10.32514/978-5-907118-87-4.
4. Cruz-Cruz C. A., Gonzalez-Arnan M. T., Engelmann F. *Biotechnology and conservation of plant biodiversity* // *Resources*. 2013. No 2. P. 73–95. doi: 10.3390/resources2020073.
5. *In vitro conservation through slow growth storage technique of fruit species: an overview of the last 10 years* / C. Benelli, W. Tarraf, T. Izgu, et al. // *Plants*. 2022. Vol. 11. No. 23. Article 3188. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/23/3188> (дата обращения: 19.03.2025). doi: 10.3390/plants11233188.
6. *In vitro conservation of ornamental plants* / D. P. C. da Silva, E. A. Ozudogru, M. V. D. Reis, et al. // *Ornamental Horticulture*. 2018. Vol. 24. No. 1. P. 28–33. doi: 10.14295/oh.v24i1.1163.
7. Моделирование контролируемых условий, необходимых для адаптации и длительного хранения растительного материала декоративных, ароматических и плодовых культур в генобанке *in vitro*: методические рекомендации / И. В. Митрофанова, О. В. Митрофанова, Н. Н. Иванова и др.; под общ. ред. И. В. Митрофановой. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 72 с. doi: 10.32514/978-5-907118-88-1.
8. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений / О. И. Молканова, Ю. Н. Горбунов, И. В. Ширнина и др. // *Ботанический журнал*. 2020. Т. 105. № 6. С. 610–619. doi: 10.31857/S0006813620030072.
9. Табацкая Т. М., Машикина О. С. Опыт долговременного хранения коллекционных генотипов березы с использованием безгормональных питательных сред // *Лесоведение*. 2020. № 2. С. 147–161. doi: 10.31857/S0024114820020084.
10. Егорова Н. А., Загорская М. С., Абдурашитов С. Ф. Особенности длительного сохранения мяты сортов Ажурная и Бергамотная в коллекции *in vitro* // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2022. Т. 12. № 1. С. 64–75. doi: 10.21285/2227-2925-2022-12-1-64-75.
11. *Effect of culture container and carbohydrate content on in vitro slow growth storage of the cherry rootstock 'Gisela®5'* / E. A. Ozudogru, C. Benelli, G. Dradi, et al. // *Acta Physiol Plant*. 2017. No. 39. Article 94. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-017-2372-2> (дата обращения: 19.03.2025). doi: 10.1007/s11738-017-2372-2.
12. *Medium, container and genotype all influence in vitro cold storage of apple germplasm* / I. Kovalchuk, Y. Lyudvikova, M. Volgina, et al. // *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2009. Vol. 96. P. 127–136. doi: 10.1007/s11240-008-9468-8.
13. *Micropropagation and medium-term conservation of Rosa pulverulenta* / S. Kavand, M. J. Kermani, A. Haghazari, et al. // *Acta Scientiarum Agronomy*. 2011. Vol. 33. No. 2. P. 297–301. doi: 10.4025/actasciagron.v33i2.10279.
14. Sahin E. C., Aydin Y., Uncuoglu A. A. *Molecular Marker Applications in the Selection of Elite Genotypes for Plant Stress Tolerance and Genetic Fidelity* // *OBM Genetics*. 2024. Vol. 8. No. 3. Article 260. URL: <https://www.lidsen.com/journals/genetics/genetics-08-03-260> (дата обращения: 17.03.2025). doi: 10.21926/obm.genet.2403260.
15. *Epigenetic and Genetic Integrity, Metabolic Stability, and Field Performance of Cryopreserved Plants* / M. R. Wang, W. Bi, M. R. Shukla, et al. // *Plants (Basel)*. 2021. Vol. 10. No. 9. Article 1889. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/9/1889> (дата обращения: 17.03.2025). doi: 10.3390/plants10091889.
16. Влияние условий сохранения *in vitro* на жизнеспособность и генетическую стабильность садовых растений / Н. Н. Иванова, Н. В. Корзина, В. А. Цюпка и др. // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. № 2(38). С. 53–66. doi: 10.5281/zenodo.12178658.
17. Иванова Н. Н., Цюпка В. А., Корзина Н. В. Влияние состава питательной среды на сохранение жизнеспособности и генетической стабильности экплантов хризантемы садовой при депонировании *in vitro* // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023. Т. 13. № 4. С. 483–493. doi: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-483-493.
18. Сохранение эндемика Западного Саяна *Fritillaria sonnikovae* Schaule et A. Erst (Liliaceae) в коллекции *in vitro* / Д. С. Мурасева, Н. С. Звягина, Т. И. Новикова и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017. Т. 21. № 5. С. 554–560. doi: 10.18699/VJ17.272.
19. *Efficient long-term conservation of Taraxacum pinnatum synthetic seeds in slow growth conditions* / M. Kaminska, M. Golebiewski, A. Tretyn, et al. // *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2018. Vol. 132. P. 469–478. doi: 10.1007/s11240-017-1343-z.
20. *In Vitro Conservation and Genetic Stability in Vanilla planifolia* Jacks. / J. R. Bautista-Aguilar, L. G. Iglesias-Andreu, J. Martinez-Castillo, et al. // *Hort Science*. 2021. Vol. 56. No. 12. P. 1494–1498. doi: 10.21273/HORTSCI16118-21.
21. *Viability and genetic stability of pineapple germplasm after 10 years of in vitro conservation* / R. L. da Silva, C. F. Ferreira, C. A. da Silva Ledo, et al. // *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2016. Vol. 127. P. 123–133. doi: 10.1007/s11240-016-1035-0.
22. *Cold-induced genetic instability in micropropagated Pistacia lentiscus L. plantlets* / I. Koc, H. Akdemir, A. Onay, et al. // *Acta Physiol Plant*. 2014. Vol. 36. P. 2373–2384. doi: 10.1007/s11738-014-1610-0.
23. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра / В. С. Паптецкий, Н. В. Невкрытая, А. В. Мишнев и др. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 320 с.
24. *Morphogenetic, Physiological, and Biochemical Features of Lavandula angustifolia at Long-Term Micropropagation In Vitro* / N. A. Yegorova, I. V. Mitrofanova, V. A. Brailko, et al. // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2019. Vol. 66. No. 2. P. 326–334. doi: 10.1134/S1021443719010060.
25. *Micropropagation of lavender: a protocol for production of plantlets* / J. Koefender, C. E. Manfio, J. N. Camera, et al. // *Hortic. Bras.* 2021. Vol. 39. No. 4. P. 404–410. doi: 10.1590/s0102-0536-20210409.
26. Егорова Н. А. Биотехнология эфиромасличных растений: создание новых форм и микроразмножение *in vitro*. Симферополь: ИД «Автограф», 2021. 315 с. doi: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
27. Егорова Н. А., Ставцева И. В., Коваленко М. С. Длительное хранение сортов лаванды в культуре *in vitro* при использовании питательных сред разного

- состава // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. № 3(39). С. 58–71. doi: 10.5281/zenodo.13782781.
28. Загорская М. С. Некоторые аспекты выделения геномной днк из растений лаванды разного происхождения // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: материалы V международной научно-практической конференции*. Симферополь: ИТ «Ариал», 2020. С. 177–179. doi: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-90.
 29. Генетическая стабильность растений лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) при длительном клональном микроразмножении / С. С. Бабанина, Н. А. Егорова, И. В. Ставцева и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 1. С. 13–19. doi: 10.31857/S2500262723010039.
 30. *Ex situ preservation for some endemic and rare medicinal plants in Taif, KSA* / Attia O. Attia, El Dessoky S. Dessoky, Yassin M. Al-Sodany, et al. // *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2017. Vol. 31. No. 5. P. 912–920. doi: 10.1080/13102818.2017.1356690.
 31. Tavazza R., Rey N. A., Pagnotta M. A. *Globe artichoke in vitro conservation protocol to meet germplasm preservation and production management* // *Acta Hort.* 2016. No. 1147. P. 421–428. doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1147.59.
 32. Drew R. A. *Biotechnology and conservation of tropical fruit species* // *Acta Hort.* 2000. No. 523. P. 183–188. doi: 10.17660/ActaHortic.2000.523.23.
 33. *Conservation Genetics in the Age of Genomics* / Ed. by G. Amato, O. Ryder, H. Rosenbaum, et al. New York: Columbia University Press, 2009. 248 p.
 34. *Genetic stability of cryopreserved shoot tips of Rubus germplasm* / N. R. F. Castillo, N. V. Bassil, S. Wada, et al. // *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant*. 2010. Vol. 46. P. 246–256. doi: 10.1007/s11627-009-9265-z.
 35. *Evaluation of genetic stability in cryopreserved Solanum tuberosum* / R. Zarghami, M. Pirseyedi, S. Hasrak, et al. // *African Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 7(16). P. 2798–2802.

Поступила в редакцию 21.03.2025

После доработки 14.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

Агропочвоведение и агроэкология

УДК 579.6+631.17

DOI 10.31857/S2500262725030068 EDN FDWEBB

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР© 2025 г. **А. А. Завалин**¹, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, **А. С. Карашаева**¹, кандидат сельскохозяйственных наук, **Е. Н. Старостина**¹, **А. О. Зверев**²¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Санкт-Петербург, Пушкин-8, ш. Подбельского, 3
E-mail: zavalin.52@mail.ru

Полевые и лабораторные исследования проводили в 2023 г. с целью оценки изменений состава микробных сообществ дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при выращивании различных культур в звене севооборота со следующим чередованием культур: горчица – озимая пшеница – ячмень. Такая последовательная ротация культур выбрана для базовой оценки динамических преобразований структуры микробиологических сообществ почвы, обусловленных возделыванием различных сельскохозяйственных культур. Микробное сообщество в почвенных образцах, отобранных через 1, 2 и 3 года после заделки сидеральной массы, анализировали посредством ампликонного секвенирования гена 16S рРНК бактерий и архей. При попарном сравнении микробных сообществ почвы из-под различных культур наибольшее в опыте число достоверно изменяющихся таксономически значимых групп микроорганизмов (55) обнаружено в почве из-под озимой пшеницы и горчицы. При анализе почвы из-под ячменя и горчицы количество специфичных таксонов уменьшилось вдвое (до 24). Почвы, занятые пшеницей и ячменем, были практически идентичны по составу доминирующих таксонов бактерий. Наиболее выраженные изменения отмечали среди представителей архей типа Crenarchaeota, относящихся к классу Nitrososphaeria. Отдельные таксоны этого класса продемонстрировали высокую специфичность в отношении агроэкологических условий возделывания зерновых культур и горчицы. Сидерация оказывает минорное влияние на состав микробного сообщества, по-видимому, в первую очередь на уровне изменения численности отдельных бактериальных таксонов.

CHANGES IN THE MICROBIAL COMMUNITY OF SOD-PODZOLIC HEAVY LOAMY SOIL DURING CULTIVATION OF VARIOUS AGRICULTURAL CROPS**A. A. Zavalin**¹, **A. S. Karashaeva**¹, **E. N. Starostina**¹, **A. O. Zverev**²¹Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31a²All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 196608, Sankt-Peterburg, Pushkin-8, sh. Podbelskogo, 3
E-mail: zavalin.52@mail.ru

Field and laboratory studies were conducted in 2023 to assess changes in the composition of microbial communities of sod-podzolic heavy loamy soil when growing various crops in the crop rotation: mustard-winter wheat-barley. This sequential rotation of crops was chosen for the basic assessment of dynamic changes in the structure of soil microbiological communities caused by the cultivation of various agricultural crops. The microbial community in soil samples taken 1, 2, and 3 years after green manure plowing was analyzed by amplicon sequencing of the 16S rRNA gene of bacteria and archaea. The largest number of taxonomically significant groups of microorganisms (55) was found when comparing the soil used for growing winter wheat and after planting mustard. The number of specific taxa is halved (up to 24) when analyzing barley and mustard soils. The soils occupied under wheat and barley are almost identical in the composition of the dominant bacterial taxa. The most pronounced changes were observed among representatives of the Crenarchaeota archaea belonging to the Nitrososphaeria class. Individual taxa of this class have demonstrated high specificity in relation to the agroecological conditions of grain and mustard cultivation. It is shown that sideration has a minor effect on the composition of the microbial community, apparently primarily at the level of changes in the number of individual bacterial taxa.

Ключевые слова: микробоценоз почвы, сидераты, севооборот, таксономия, секвенирование.**Key words:** soil microbocenosis, siderates, crop rotation, taxonomy, sequencing.

Последние два десятилетия метагеномику активно используют для изучения структуры, разнообразия и функционирования почвенных микробных сообществ и их связей с внешними факторами. Школа генетического почвоведения, которая ведет свои корни от трудов В. В. Докучаева, рассматривает почвенный профиль как систему генетических горизонтов – слоев почвы с разным происхождением, физико-химическими свойствами и протекающими в них процессами [1].

Комплексные исследования динамики микробных сообществ и почвенных свойств выступают перспективным направлением развития микробиологии в части оценки экологического состояния почвы. Микробные сообщества почвы, как сложная и изменчивая экосистема, служат биоиндикаторами ее состояния. Их состав и функциональная активность тесно связаны с агрохимическими характеристиками почвы, включая содержание органического вещества, реакцию почвенной среды

(рН), концентрацию доступных элементов питания (азота, фосфора, калия), а также наличие тяжелых металлов и остатков пестицидов. Использование современных молекулярных и информационных методов открывает широкие возможности для анализа временных изменений почвенных микробных сообществ и их влияния на почвенные свойства.

Несмотря на активное изучение пространственной изменчивости микробных сообществ, динамика системы «почва–микробиом» во времени остается недостаточно исследованной. Использование удобрений не только влияет на производительность культур, но и существенно изменяет таксономическую структуру микробиоценоза, на которую оказывают значительное влияние севооборот и внесение удобрений. Вид возделываемой культуры определяет динамику микробиоты на уровне более крупных таксонов, например, доменов, а удобрения оказывают воздействие на более низком таксономическом уровне (филы, порядки, роды) [2]. Применение минеральных удобрений, например, может привести к увеличению численности определенных групп микроорганизмов, специализирующихся на разложении органических веществ, богатых азотом, а также к подавлению роста видов, зависящих от органического вещества почвы. В свою очередь, органическое земледелие, характеризующееся внесением органических удобрений и минимальной обработкой почвы, способствует развитию более разнообразных и устойчивых микробных сообществ, повышая содержание гумуса и улучшая структуру почвы [2, 3].

Севооборот эффективно снижает популяции фитопатогенов в почве, оказывая комплексное воздействие на структуру микробных сообществ. При известковании почвы уменьшается количество микроорганизмов, которые предпочитают кислые условия обитания (*Acidobacteria*), а при внесении удобрений увеличивается численность других семейств микроорганизмов (*Chitinophagaceae* и *Bacillaceae*) [3, 4].

Однако использование мочевины и аммиачных удобрений может временно повысить рН, осмотический потенциал и концентрацию аммиака до уровней, подавляющих микробные сообщества. Длительное многократное применение минерального азота может изменить состав микробного сообщества, даже если рН меняется незначительно. Однако реакция определенных группы микробов на повторное внесение минеральных удобрений широко варьирует и, по-видимому, зависит от факторов окружающей среды и управления культурами.

Так, было отмечено, что в почве, где удобрения не применяли, доля бактерий филума *Acidobacteriia* семейства *Solibacteriaceae*, а также неотрибутируемого семейства этого же филума приближается к уровню, характерному для залежи (1,04...1,35 %). Особенно заметно, почти в 4 раза, снижается количество бактерий *Candidatus solibacter* при внесении минеральных удобрений без известкования, а также в почве чистого пара. Бактерии этой группы могут служить индикаторами негативных изменений, происходящих в агродерново-подзолистых почвах [5, 6].

Результаты метаанализа, основанного на 107 наборах данных 64 долгосрочных исследований со всего мира, свидетельствуют, что применение минеральных удобрений привело к увеличению микробной биомассы на 15,1 %, по сравнению с уровнями без их использования. Минеральные удобрения также увеличили содержание органического углерода ($C_{орг}$) в почве [6, 7].

Цель исследования – изучить изменение таксономического состава прокариотного сообщества дерново-

подзолистой почвы после сидерации методом высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК.

Методика. Работу проводили в стационарном опыте ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова», расположенном в п. Шебанцево Домодедовского городского округа Московской области. Изначальные свойства почвы (1961 г.) характеризовались следующими параметрами: уровень кислотности ($pH_{ксл}$) находился в пределах от 4,3 до 4,5, гидролитическая кислотность по Каппену (Нг) составляла 4,6 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований – 8,3 мг-экв/100 г, водопроницаемость (V) – 64,3 %, содержание гумуса по Тюрину – 1,58 %, подвижного фосфора (P_2O_5) по Кирсанову – 21 мг/кг, обменного калия (K_2O) по Масловой – 113 мг/кг. В экспериментальный период (2023 г.) усредненные величины рН находились в диапазоне 5,3...5,5 ед., гидролитической кислотности – 2,28...3,03 мг-экв/100 г, суммы поглощенных оснований – 11,2...12,2 мг-экв/100 г, водопроницаемости – 84,2 %, содержания гумуса – 1,9...2,1 %, P_2O_5 – 221...229 мг/кг, K_2O – 207...218 мг/кг, $N_{общ}$ – 0,116 %. При использовании гербицидов содержание $N_{общ}$ снизилось до 0,0099 %, без их применения величина этого показателя изменялась в интервале 0,101...0,108 % [8].

Объектами исследования служили образцы почвы, отобранные на трех последовательных полях севооборота: горчица, озимая пшеница, ячмень. Пробы почвы, объединяющие три точечные выборки массой более 200 г, отбирали из верхнего гумусового слоя с глубины 5...15 см на участках, где заделку сидератов проводили один, два и три года назад, летом 2023 г. В качестве контрольных вариантов использовали образцы с аналогичных по типу и агрохимическим показателям почвы участков, расположенных в непосредственной близости от опытного поля, на которых сидераты не выращивали. Всего был проанализирован 81 почвенный образец.

Микробное сообщество отобранных проб оценивали посредством ампликонного секвенирования V3...V4 варибельного участка последовательности, кодирующей 16S рРНК, с использованием праймеров 515f (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA) и 806r (GGACTACVSGGGTATCTAAT). Секвенирование проводили на Illumina MiSeq согласно рекомендациям производителя. Обработку данных выполняли в программной среде R (v4.3.0) с использованием пакета *dada2* (v1.14.1) [9], в качестве референсной базы данных при таксономической аннотации последовательностей применяли SILVA 132. Основные анализы (альфа- и бета-разнообразие, дисперсионный анализ, барграфы, теплокарты) выполняли с использованием пакетов *phyloseq* (v1.30.0) [10] и *tidyverse* (2.0.0) [11]. Пермутационный дисперсионный анализ с перестановками (PERMANOVA) осуществляли с использованием пакета *vegan* (2.5–6) [12]. Поиск дифференциально представленных таксонов проводили с использованием DESeq2 (v1.26.0) [13] с указаниями пограничных значений (маркирующих ASV как «достаточно изменяющую численность в рамках сравнения») $baseMean \geq 10$, $\log_2 FoldChange \geq 2$ и $p\text{-adj} < 0.05$.

Изменения микробных сообществ описывали посредством метрик альфа-разнообразия сообществ (индексы общего видового богатства, разнообразия Шеннона и доминирования Симпсона), бета-разнообразия (взвешенный и невзвешенный Юнифрак и дистанция Брея).

Результаты и обсуждение. По результатам анализа видового богатства альфа-разнообразие исследуемых сообществ различалась незначительно. По данным двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) применение сидератов, в сравнении с контрольными почвами,

не приводит к изменению альфа-разнообразия. Тип сельскохозяйственной культуры, примененной в сидерации, не оказывает влияния на значения видового богатства или индекса Шеннона, однако по выровненности (индекс Симпсона) различия достоверны (рис. 1, табл. 1).

Различные метрики бета-разнообразия (дистанции Брея, взвешенный и невзвешенный Юнифрак) демонстрировали в целом схожие результаты, поэтому в работе рассмотрены данные наиболее показательной из них – взвешенный Юнифрак. Результаты ординации полученных дистанций (рис. 2), а также данные пермутационного дисперсионного анализа (табл. 2) свидетельствуют о том, что достоверным фактором в распределении дистанций бета-разнообразия выступает только тип выращиваемой культуры. Заделка сидератов в почву не оказывает какого-либо достоверного эффекта, в сравнении с контролем.

Поиск дифференциально представленных таксонов, несмотря на достаточно расслабленные установки (поиск изменений в 2 раза и более, при численности порядка 10 родов на образце), не выявил таксонов, ассоциированных с внесением в почву сидератов. При попарном сравнении микробных сообществ почвы из-под разных культур тот же анализ показал различия в малочисленных (менее 2...5 % от общего числа прочтений) таксонах: численность достоверно изменяющихся таксонов в среднем не превышала нескольких сотен прочтений, изменения численности составляли от 2 до 5 раз. Наибольшее число таких таксонов (55) отмечено при сопоставлении микробиомов почв из-под горчицы и пшеницы, при сравнении почв из-под ячменя и горчицы их было меньше (24). При этом в почвах из-под ячменя и озимой пшеницы достоверно различающихся таксонов не выявлено. Самые значительные изменения были связаны с представителями

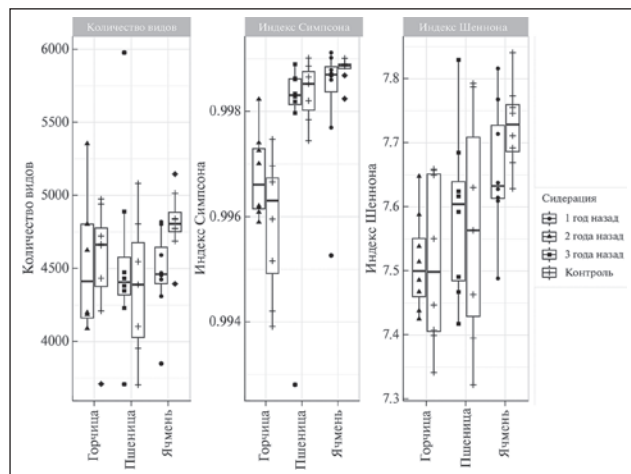


Рис. 1. Альфа-разнообразие различных почв с использованием сидератов.

Табл. 1. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) для индексов альфа-разнообразия

Фактор	Степени свободы	Сумма квадратов отклонений	Среднее квадратичное отклонений	F-значение	p-значение
Количество видов					
Культура	2	227 103	113 552	0,571	0,569
Сидерация	3	601 916	200 639	1,009	0,399
Остаток	41	8 152 496	198 841		
Индекс Симпсона					
Культура	2	4,18E-05	2,09E-05	14,611	1,62E-05
Сидерация	3	6,13E-06	2,04E-06	1,428	0,249
Остаток	41	5,87E-05	1,43E-06		

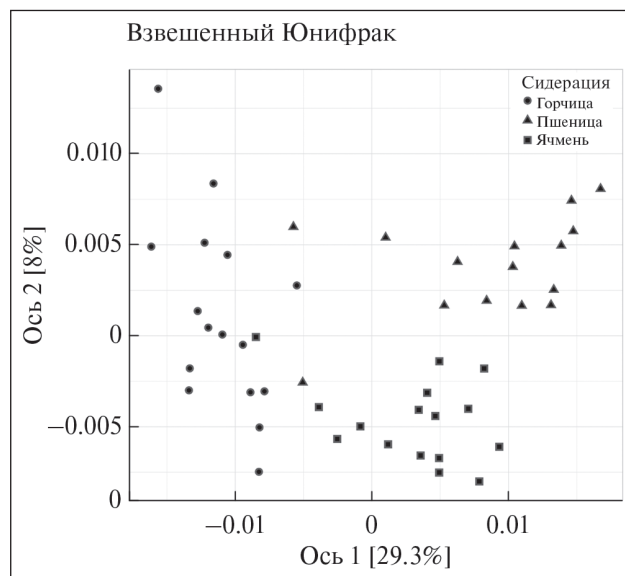


Рис. 2. Анализ главных координат для дистанций бета-разнообразия (взвешенный Юнифрак) микробных сообществ с использованием различных типов сидератов (в скобках приведены значения объясненной вариативности осей анализа главных координат).

Табл. 2. Результаты двухфакторного пермутационного дисперсионного анализа для дистанций бета-разнообразия (взвешенный Юнифрак)

Фактор	Степени свободы	Сумма квадратов отклонений	R ² -значение	F-значение	p-значение
Культура	2	4,09E-03	2,75E-01	8,4047	0,001
Сидерация	3	8,06E-04	5,42E-02	1,1039	0,255
Остаток	41	9,98E-03	6,71E-01		

класса Nitrososphaeria (Crenarchaeota), причем среди них отмечали таксоны, преимущественно ассоциированные как с почвой под злаками, так и с почвой под горчицей (рис. 3).

Таким образом, показано наличие только краткосрочного эффекта от заделки сидератов. Динамичные микробные сообщества почв ориентированы в большей степени на растительные экссудаты и депонированные в почве питательные вещества и, по-видимому, восстанавливают свой таксономический состав достаточно быстро. Через год после заделки в почву сидерата микробные сообщества возвращаются к исходному составу.

Вторым аспектом можно назвать высокую гетерогенность почвенных сообществ. Анализ альфа-и бета-разнообразия показывает достаточно широкий разброс между значениями в пределах одной группы, что затрудняет идентификацию значимых таксонов, «маскируя» изменения, обусловленные изучаемыми факторами.

Эти наблюдения подчеркивают сложность и многогранность взаимодействий внутри почвенных экосистем. Высокий уровень гетерогенности микробных сообществ указывает на то, что даже незначительные изменения в условиях окружающей среды могут существенно влиять на состав и структуру микробиоты. С другой стороны, быстрая адаптация микробных сообществ к изменениям условий свидетельствует о высокой пластичности и устойчивости почвенных экосистем. Они способны эффективно реагировать на внешние воздействия, восстанавливая баланс и продолжая выполнять свои ключевые функции. Это свой-

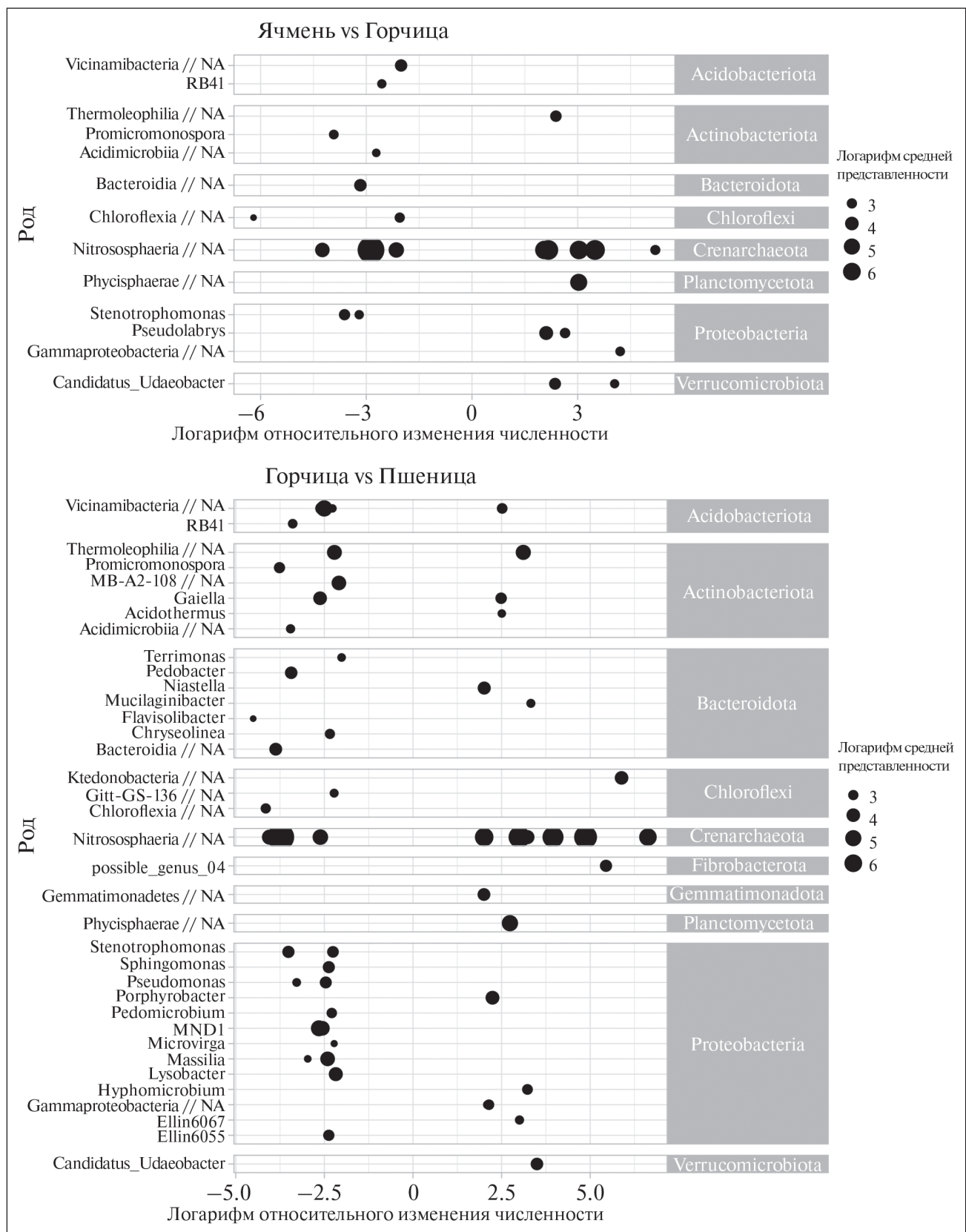


Рис. 3. Таксоны, достоверно изменяющие численность в сравнении почв от разных сельскохозяйственных культур.

ство особенно важно в контексте глобальных изменений климата и антропогенного давления на природные ресурсы. Для эффективного управления почвенными

ресурсами и повышения их продуктивности необходимо учитывать комплексный характер взаимодействия между различными компонентами экосистемы.

Выводы. Микробные сообщества почвы после сидерации практически не отличаются от контрольной почвы того же года. Это может быть следствием минорного влияния сидерации, незаметного на фоне общей сравнительно высокой внутригрупповой вариабельности сообщества.

В почвах под изученными культурами после сидерации отмечена разная представленность ряда таксонов. Этот эффект особенно выражен для почвы под горчицей. Однако из-за того, что он может быть связан с особенностями лет исследования, необходимо уточнение такой зависимости.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета в рамках выполнения Государственного задания по теме № FGWR-2024-0002. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Методология биологических исследований почвы в рамках проекта «Микробиом России» / Т. И. Чернов, В. А. Холодов, Б. М. Козут и др. // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2017. Вып. 87. С. 100–112. doi: 10.19047/0136-1694-2017-87-100-113.
2. Responses of soil physico-chemical properties, structure of the microbial community and crop yields to different fertilization practices in Russias'S conventional farming system. / A. N. Naliukhin, A. V. Kozlov, A. V. Eregina, et al. // Brazilian Journal of Biology. 2024. Vol. 84. e282493. URL: <https://www.scielo.br/bjb/a/6cLdJhvfSzCvMyTD-8mnbrw/?format=pdf&lang=en> (дата обращения: 14.05.2025). doi: 10.1590/1519-6984.282493.
3. Чернов Т. И., Семенов М. В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор) // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1506–1522. doi: 10.31857/S0032180X21120029.
4. Unveiling the roles, mechanisms and prospects of soil microbial communities in sustainable agriculture / K. Kiprotich, E. Muema, C. Wekesa, et al. // Discover Soil. 2025. Vol. 2:10. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44378-025-00037-4> (дата обращения: 14.05.2025). doi: 10.1007/s44378-025-00037-4.
5. Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake / N. Yadav, D. Kour, T. Kaur, et al. // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021. Vol. 33. 102009. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818121001055> (дата обращения: 14.05.2025). doi: 10.1016/j.bcab.2021.102009.
6. Изменение метагенома прокариотного сообщества как показатель плодородия пахотных дерново-подзолистых почв при применении удобрений / А. Н. Налиухин, С. М. Хамитова, А. П. Глинушкин и др. // Почвоведение. 2018. № 3. С. 331–337. doi: 10.7868/S0032180X18030073.
7. Microbial community succession in soil is mainly driven by carbon and nitrogen contents rather than phosphorus and sulphur contents. / Sh. Tang, Q. Ma, K. A. Marsden, et al. // Soil Biology and Biochemistry. 2023. Vol. 180. 109019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071723000810> (дата обращения: 14.05.2025). doi: 10.1016/j.soilbio.2023.109019.
8. Влияние удобрений и средств химизации на плодородие почвы и питание растений / А. С. Карашиева, А. А. Завалин, Г. А. Иващенко и др. // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 4(117). С. 4–14. doi: 10.24412/2713-2641-2023-4117-4-14.
9. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data // B. J. Callahan, P. J. McMurdie, M. J. Rosen, et al. Nature Methods. 2016. Vol. 13. No. 7. P. 581–583. doi: 10.1038/nmeth.3869.
10. P. J. McMurdie, S. Holmes. Phyloseq: An R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data // PLoS ONE. 2013. Vol. 8. No. 4. P. e61217. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0061217&type=printable> (дата обращения: 14.05.2025). doi: 10.1371/journal.pone.0061217.
11. Welcome to the tidyverse / H. Wickham, M. Averick, J. Bryan, et al. // Journal of Open Source Software. 2019. Vol. 4. No. 43. P. 1686. URL: <https://www.theoj.org/joss-papers/joss.01686/10.21105.joss.01686.pdf> (дата обращения: 14.05.2025). doi: 10.21105/joss.01686.
12. Amplicon Sequencing of Fusarium Translation Elongation Factor 1a Reveals that Soil Communities of Fusarium Species Are Resilient to Disturbances Caused by Crop and Tillage Practices / P. M. Henry, S. I. Koehler, S. Kaur, et al. // Journal Phytobiomes. 2022. Vol. 6(3). P. 261–274. doi: 10.1094/PBIOMES-09-21-0053-R.
13. Zhu A., Ibrahim J. G., Love M. I. Heavy-tailed prior distributions for sequence count data: removing the noise and preserving large differences // Bioinformatics. 2019. Vol. 35. No. 12. P. 2084–2092. doi: 10.1093/bioinformatics/bty895.

Поступила в редакцию 01.04.2025

После доработки 28.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

Зоотехния и ветеринария

УДК 636.034:082.25

DOI 10.31857/S2500262725030072 EDN FEBGKA

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО МОЛОКА КОРОВ-ПЕРВОТЕЛОК КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛИНЕЙНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

© 2025 г. **М. И. Сложенкина**, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, **И. Ф. Горлов**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, **Т. А. Антипова**, доктор биологических наук, **Н. И. Мосолова**, доктор биологических наук, **О. В. Кудряшова**, кандидат биологических наук, **Е. Ю. Анисимова**, кандидат биологических наук, **Н. А. Ткаченко**, соискатель

Поволжский научно-исследовательский институт
производства и переработки мясомолочной продукции,
400066, Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6
E-mail: niimmp@mail.ru

Исследования проводили в условиях племенного репродуктора с целью изучения показателей молочной продуктивности, качества молока и выработанных из него продуктов коров красной степной породы различной линейной принадлежности для дальнейшего применения в селекционно-племенной работе. Для постановки научно-хозяйственного опыта были сформированы три группы первотелок линий Андалуза 578, Цирруса 16497 и Фрема 17291 по 10 голов в каждой. Наибольшая молочная продуктивность отмечена у коров линии Фрема 17291–6537 кг за 305 дней лактационного периода, что больше, чем у животных линии Андалуза 578, на 108,8 кг, или 1,7 % ($P \geq 0,99$), линии Цирруса 16497 – на 243,7 кг, или 3,9 % ($P \geq 0,99$). Самым высоким содержанием белка и лактозы характеризовалось молоко животных линии Цирруса 16497; сухих веществ и СОМО – коров линии Фрема 17291; массовая доля жира во всех образцах была одинаковой и составляла в среднем 3,9 %. Наибольший валовый выход молочного жира и белка за изучаемый период отмечен у коров линии Фрема 17291, у которых величины этих показателей были выше, чем у животных линии Андалуза 578, соответственно на 1,7 % и 1,9 %, по сравнению с первотелками линии Цирруса 16497, – на 3,9 % и 3,6 %. Образцы кисломолочного продукта, выработанного из продукции исследуемых животных по традиционной технологии, отличались высоким содержанием жира (3,9 %) и белка (3,21...3,23 %), что обусловлено характеристиками используемого сырья. Анализ аминокислотного состава образцов продукта показал отсутствие лимитирующих аминокислот во всех исследуемых образцах, что свидетельствует о полноценности белкового компонента молока. Наибольшее количество незаменимых аминокислот (1542 мг/100 г) отмечено в образце, выработанном из молока коров линии Фрема 17291.

MILK PRODUCTIVITY AND MILK QUALITY OF THE FIRST-HEIFER COWS OF THE RED STEPPE BREED, DEPENDING ON THE LINEAGE

**M. I. Slozhenkina, I. F. Gorlov, T. A. Antipova, N. I. Mosolova,
O. V. Kudryashova, E. Yu. Anisimova, N. A. Tkachenkova**

Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing
of Meat-and-Milk Production,
400066, Volgograd, ul. Rokossovskogo, 6
E-mail: niimmp@mail.ru

The investigation was performed at a cattle breeding reproducer and was aimed to study of dairy productivity of red steppe cows from different genealogical lines as well as qualities of obtained milk and produced fermented dairy product to future using in breeding work, improving the efficiency of milk production. For experience three groups (ten head in each) of first-calf cows from three linear origins were formed: Andalusian 578, Cirrus 16497 and Frem 17291. The dairy productivity of cows from the Frem 17291 line was the highest, than in over groups (6537 kg of milk over 305 DIM). Content of protein and lactose content in milk, obtained from cows of the Cirrus 16497 line, were higher, than in others; and dry matter as well as DMSR (dry skimmed milk residue) were higher in animals of the Frem 17291 line. The highest total milk fat and total milk protein was obtained from cows of the Frem 17291 line, which is by 1.7 % and 1.9 % more, than in animals of the Andalusian 578 line, respectively, and by 3.9 % and 3.6 %, than in the Cirrus 16497 line. By traditional technology the fermented dairy product were produced from the milk of the studied cows. In the study of physicochemical parameters a high content of fat (3.9 %) and protein in the samples (3.21–3.23 %) were revealed, due to the characteristics of the raw materials used. The analysis of the amino acid composition of the samples showed the absence of limiting amino acids in all of each, which indicates the high balanced and nutritional quality of milk protein. The highest amount of essential amino acids (1,542 mg/100g) was found in a sample, produced from the Frem 17291 line cow's milk.

Ключевые слова: лактирующие коровы, красная степная порода, линейная принадлежность, молочная продуктивность, качество молока, кисломолочный продукт, аминокислотный состав.

Key words: lactating cows, red steppe cattle, linear origin, dairy productivity, milk quality, fermented dairy product, amino acid composition.

Совершенствование существующих линий и пород животных, а также создание на их основе новых, улучшенных, способных давать большое количество высококачественной продукции, – первоочередные за-

дачи селекционеров. Это сложная многоэтапная работа, основанная на постоянном анализе методов оценки племенных характеристик животного и интерпретации полученных результатов с дальнейшим их прогнози-

рованием [1, 2]. Основным направлением в племенной работе должно быть создание и улучшение поголовья, от которого получают максимальное количество продукции при минимальных затратах [3].

Наравне с решением вопросов по совершенствованию ведения отрасли молочного скотоводства возникают повышенные требования к генетическим характеристикам животных. Необходимость создания новых генотипов обусловлена неспособностью традиционных пород соответствовать изменяющимся требованиям по продуктивности, параметрам воспроизводства и адаптации в современных условиях. Селекция новых генотипов направлена на создание животных, обладающих высокой молочной продуктивностью на протяжении длительного времени с сохранением высоких показателей жира и белка, а также улучшенными репродуктивными свойствами [4, 5, 6].

Для достижения высоких показателей развития молочного скотоводства и расширения масштабов разведения животных новых генотипов необходимо проведение совместных исследований ученых и практиков [1, 7, 8]. Современные перерабатывающие предприятия предъявляют особые требования к молоку-сырью для производства продукции, обладающей высокими показателями качества. В связи с этим поиск наиболее эффективных генотипов молочного скота и исследование молочной продуктивности коров ведущих линий пород молочного направления – актуальное направление исследований в животноводстве [9].

На протяжении многих лет селекционная работа была направлена в основном на увеличение количественной продуктивности коров и повышение жирномолочности. Сегодня приоритет в исследованиях отдается изучению качественного состава белкового компонента молока, в частности аминокислотного, а также изучению соотношения белковых фракций и полноценности молока [10].

Красная степная порода крупного рогатого скота была одной из самых распространенных в СССР благодаря адаптационным способностям, неприхотливости к кормам, высокой молочности и продуктивному долголетию [11]. Несмотря на существующие трудности и значительное сокращение поголовья, в некоторых регионах до сих пор сохраняются племенные предприятия по ее разведению [12, 13]. Так, в репродукторе ПЗ к-з им. Ленина Суворовкинского района Волгоградской области насчитывается порядка 2000 племенных животных красной степной породы, из них – 720 коров.

Как известно, разведение по линиям – один из эффективных методов, который позволяет улучшать продуктивные качества скота, включая удой, содержание жира и белка в молоке [14]. В сочетании с современными методами селекции и генетического анализа использование такого подхода служит мощным инструментом для улучшения молочной продуктивности и повышения качества молока [15, 16].

Цель исследований – изучение влияния линейной принадлежности коров красной степной породы на молочную продуктивность и качественные показатели молока для использования полученных результатов в селекционно-племенной работе.

Методика. Исследования проводили на базе ПЗ колхоз им. Ленина Волгоградской области. В зависимости от линейной принадлежности коровы разделены на три группы по 10 голов каждая: 1-я группа – животные линии Андалуза 578; 2-я группа – Цирруса 16497; 3-я группа – потомки Фрема 17291.

Оценивали молочную продуктивность животных и качественные параметры получаемого молока (со-

держание жира, белка, лактозы, СОМО, сухих веществ и золы, титруемая кислотность, термоустойчивость). Исследования проводили в лаборатории Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции. На основе молока коров исследуемых групп были изготовлены образцы кисломолочного продукта. Их выработку проводили с соблюдением всех технологических операций, требуемых параметров каждого этапа обработки сырья и оборудования, позволяющим производить продукт с гарантированными характеристиками по составу и безопасности. При проведении исследований использовали заквасочную культуру прямого внесения, в составе которой присутствовали термофильный стрептококк и болгарская палочка. Соотношение микроорганизмов в заквасочной культуре подобрано с учетом производства готового продукта высоких органолептических кондиций, заданных показателей консистенции и срока годности. В готовом кисломолочном продукте определяли физико-химические показатели, проводили органолептическую оценку. Массовую долю жира (МДЖ) определяли по ГОСТ 5867-90, массовую долю белка (МДБ) – по ГОСТ 25179-2014, лактозы – по ГОСТ 34304-2017, сухих веществ (СВ) – по ГОСТ Р 54668-2011, сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО) – расчетным методом, золы – по ГОСТ Р 51463-99; титруемую кислотность – по ГОСТ Р 54669-2011, термоустойчивость – по ГОСТ 25228-82. Изучение состава белкового компонента проводили методом исследования аминокислотного состава по методике М 04-94-2021. Расчет коэффициента утилитарности, характеризующего сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к эталону, проводили по методике академика Липатова Н. Н. (мл) [17], лактационного показателя – на основе суммарного производства животными жира и белка [18].

Обработку данных, полученных в исследованиях, проводили с использованием программы Excel офисного пакета Microsoft Office (Microsoft, США) на основе классического метода параметрического анализа статистической проверки гипотез (t-теста). Для выявления достоверности различий между величинами изучаемых показателей опытной и контрольной групп использовали t-критерий Стьюдента при трех уровнях значимости: $P \geq 0,999$, $P \geq 0,99$, $P \geq 0,95$.

Результаты и обсуждение. Наивысшая молочная продуктивность отмечена у коров линии Фрема 17291. Она составила 6537,6 кг за 305 дней лактации (рис. 1), что больше, чем у животных линии Андалуза 578,

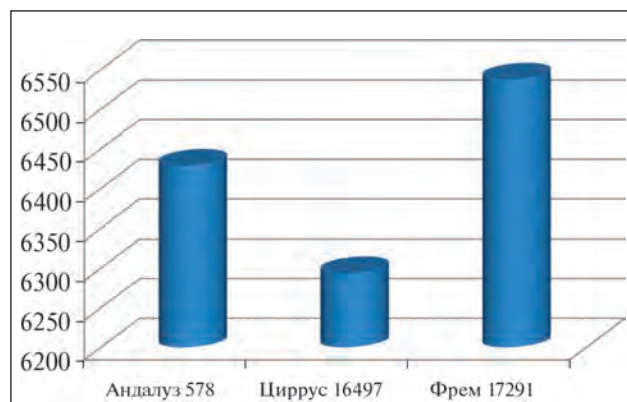


Рис. 1. Молочная продуктивность коров различной линейной принадлежности, кг.

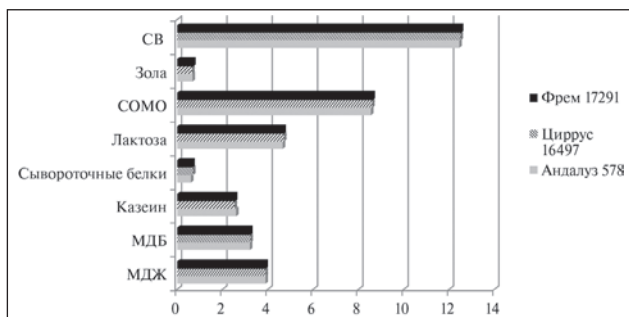


Рис. 2. Физико-химические показатели молока коров различной линейной принадлежности, %.

на 108,8 кг, или 1,7 % ($P \geq 0,99$), линии Циррус 16497 – на 243,7 кг, или 3,9 % ($P \geq 0,99$).

Содержание белка в молоке коров всех анализируемых линий находилось на уровне 3,21...3,23 % (рис. 2). Причем наибольшая величина этого показателя отмечена в продукции коров линии Цирруса 16497, в которой она была на 0,02 % ($P \geq 0,95$) выше, чем у потомков Андалуза 578, и на 0,01 % ($P \geq 0,95$), по сравнению с животными линии Фрема 17291. Самое высокое количество золы отмечено в молоке особей линии Фрема 17291–0,71 %, что больше, чем у коров линии Андалуза 578, на 0,03 % ($P \geq 0,95$), линии Цирруса 16497 – на 0,05 % ($P \geq 0,95$). Содержание молочного сахара во всех образцах находилось в пределах от 4,66 % до 4,71 %, массовая доля жира была одинаковой и составляла в среднем 3,9 %. Максимальное количество сухого вещества отмечали в молоке особей линии Фрема 17291, в котором оно было выше, чем в продукции дочерей Андалуза 578, на 0,07 % ($P \geq 0,99$), линии Цирруса 16497 – на 0,02 % ($P \geq 0,99$).

Основное влияние на количество полученного жира и белка оказала молочная продуктивность. За изучаемый период наибольшее количество молочного жира было получено от коров линии Фрема 17291–255,0 кг (рис. 3). Это больше, чем от животных линии Андалуза 578,

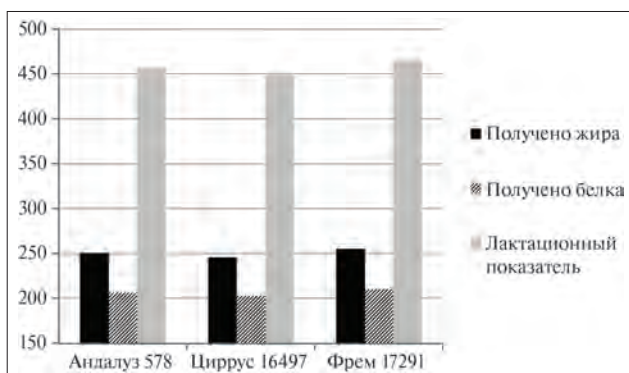


Рис. 3. Лактационный показатель коров красной степной породы различных линий, кг.

на 4,3 кг, или 1,7 % ($P \geq 0,999$), линии Цирруса 16497 – на 9,5 кг, или 3,9 % ($P \geq 0,99$). Количество молочного белка, полученного от коров различных линий, находилось в пределах 203,1...210,5 кг. Самая высокая величина этого показателя отмечена у коров линии Фрема 17291, у линии Цирруса 16497 она была ниже на 3,6 % ($P \geq 0,95$), линии Андалуза 578 – на 2,0 % ($P \geq 0,99$).

Лактационный показатель коров линии Фрема 17291 был равен 465,5 кг (рис. 3), что больше, чем у животных линии Андалуза 578, на 8,4 кг, или 1,8 % ($P \geq 0,95$), линии Цирруса 16497 – на 16,9 кг, или 3,7 % ($P \geq 0,95$).

Наибольшая скорость молокоотдачи установлена у коров линии Андалуза 578–2,03 кг/мин. У животных двух других линий она была практически одинаковой – 1,84...1,86 кг/мин, с незначительным преимуществом коров линии Цирруса 16497.

Массовые доли основных ингредиентов в молоке служат основополагающими характеристиками пригодности сырья для производства того или иного вида пищевого продукта. От их соотношения и структурных составляющих зависит не только качество получаемой продукции, но и выход готового продукта.

В последние годы с учетом негативного воздействия факторов внешней среды здоровье населения особое значение придается фактору здорового питания, в частности употреблению продуктов функциональной направленности, к числу которых относятся кисломолочные продукты, обладающие высокой степенью усвояемости и положительно влияющие на микроэкологию кишечника. При производстве такого рода продуктов в приоритете находится молочное сырье с высокими показателями пищевой ценности [19]. Предварительная высокотемпературная обработка молока, применяемая при производстве кисломолочных продуктов, способствует их микробиологической чистоте и безопасности, а также более активному развитию полезной микрофлоры, вносимой в дальнейшем с закваской. Поэтому получаемое молоко должно иметь высокие технологические показатели, в частности термоустойчивость.

Исследуемое молоко коров различной линейной принадлежности можно отнести к группе термоустойчивости с показателем 2,15...2,19 мин, что определяет возможность его использования для производства кисломолочных продуктов.

Термоустойчивость молока связана с его белковой составляющей и, в частности, с устойчивостью казеиновых мицелл, на что оказывают влияние кислотность молока и его минеральный состав. Величина показателя кислотности молока коров различной линейной принадлежности находилась в пределах 17,0...17,5 °Т, что соответствует требованиям, предъявляемым к молоку-сырью для производства кисломолочных продуктов.

По результатам органолептической оценки образцов продукта, выработанных из молока коров всех исследуемых линий, следует отметить, что они характеризуются чистым, кисломолочным вкусом и запахом. Продукт имеет светло-кремовый цвет, приятный аромат, обусловленный процессами ферментации в молочной смеси при внесении заквасочной культуры. Консистенция отличается однородностью и умеренной плотностью по всему объему, что предопределено содержанием сухих веществ и СОМО молока. При исследовании физико-химических показателей образцов отмечено высокое содержание жира (3,9 %) и белка (3,21...3,23 %), обусловленное характеристиками используемого сырья. Образцы продукта имеют оптимальную кислотность

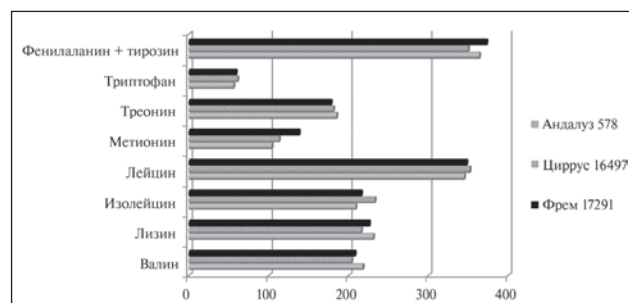


Рис. 4. Аминокислотный состав белка, мг в 100 г продукта.

на уровне 85...95 °Т, что не требует внесения дополнительных углеводов составляющих. Энергетическая ценность продукта в среднем составила 67,0 ккал. По показателям качества образцы, выработанные из молока коров всех подопытных групп, соответствовали требованиям, предъявляемым к кисломолочным продуктам.

Наибольшее количество незаменимых аминокислот (1542,0 мг/100 г) отмечено в образце, выработанном из молока коров линии Фрема 17291 (рис. 4). Количественно в продукте из молока животных линии Андалуза 578 было больше валина, лизина и треонина; коров линии Цирруса 16497 – триптофана, изолейцина и лейцина; особей линии Фрема 17291 – метионина и фенилаланин + тирозина. Наибольший аминокислотный скор (152,0 %) отмечен в образце продукта, выработанного из молока коров линии Фрема 17291.

По результатам расчета коэффициента «утилитарности» можно отметить, что все исследуемые образцы продукта были сбалансированы по аминокислотному составу. Это обусловлено высоким качеством использованного сырья. В идеале коэффициент утилитарности должен быть близок к 1, в изученных образцах его величина находилась на уровне 0,80...0,85 с наибольшим значением у образца, выработанного из молока коров линии Фрема 17291.

Учитывая, что исследуемый продукт состоял из чистого молока без использования корректирующих состав компонентов и добавок, результаты изучения качественных характеристик молочного белка в продукте могут быть экстраполированы и на молоко-сырьё.

В работе Петровой М. Ю. отмечается, что количество аминокислот в молоке чаще всего зависит от их уровня и структуры кормового рациона, а также во многом связано с удоем животного [20]. В наших исследованиях, проведенных в условиях Волгоградской области, у животных с самым высоким удоем отмечали наибольшее количество аминокислот и их сбалансированность в составе белка.

Выводы. Среди изученного поголовья наивысшей молочной продуктивностью за 305 дней лактации отличались коровы линии Фрема 17291, у которых она достигала 6537 кг и была выше, чем у животных других линий на 1,7...3,9 %. Кроме того, их продукция характеризовалась наибольшим содержанием сухих веществ и СОМО. Самое высокое количество белка и углеводов зафиксировано в молоке коров линии Цирруса 16497. Массовая доля жира в продукции животных всех исследуемых групп была на достаточно высоком уровне – 3,9 %. За изученный период времени от коров линии Фрема 17291 было получено наибольшее количество жира и белка – в совокупности 465,5 кг, что выше, чем от потомков остальных производителей, на 1,8...3,7 %. На основании изложенного в условиях Волгоградской области целесообразно более широкое использование животных линий Фрема 17291 и Цирруса 16497.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № 125020701763-0).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

Эксперименты с животными проводили в соответствии с Руководством Национального института здравоохранения по уходу и использованию лабораторных животных (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). Данное исследование выполнено с соблюдением этических принципов и одобрено комитетом по биоэтике Поволжского НИИ производства и переработки

мясомолочной продукции (идентификатор одобрения: КБ ГНУ НИИММП № 2 от 13 января 2025 года).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Влияние сочетаемости линий на воспроизводительную способность коров голштинской породы / О. А. Басонов, В. Н. Чичаева, Р. В. Гинойн и др. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. № 1(69). С. 69–75. doi: 10.31563/1684-7628-2024-69-1-69-75.
2. Титова С. В., Забиякин В. А. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 4. С. 434–442. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442.
3. Линейная принадлежность коров симментальской породы и их продуктивные качества в условиях ПЗК «Путь Ленина» Волгоградской области / В. А. Чучунов, В. П. Плотников, Е. Б. Радзиевский и др. // Известия НВ АУК. 2021. Т. 4. № 64. С. 223–238. doi: 10.32786/2071-9485-2021-04-24.
4. Exterior and Body Types of Cows with Different Levels of Dairy Productivity / D. A. Baimukanov, A. T. Bissembayev, S. D. Batanov, et al. // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. 2022. Vol. 17. № 2. P. 154–164. doi: 10.3844/ajavsp.2022.154.164.
5. Lyashuk A. R. Dairy productivity and efficiency of milk production of black-and-white cows of different thoroughbredness on the Holstein breed // Bulletin of Agrarian Science. 2020. Vol. 4. № 85. P. 168–175. doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.168.
6. Лефлер Т. Ф., Крашенинникова И. В. К вопросу о влиянии генотипа на продуктивные качества коров // Вестник КрасГАУ. 2022. Т. 5. № 182. С. 170–176. doi: 10.36718/1819-4036-2022-5-170-176.
7. Продуктивность и конкурентоспособность красной степной породы: методы и результаты совершенствования: монография / В. Х. Федоров, Ю. А. Колосов, В. В. Абонеев и др.; под общей редакцией Ю. А. Колосова. Персиановский: Донской ГАУ, 2024. 189 с.
8. Катмаков П. С., Анисимова Е. И., Бушов А. В. Опыт селекционно-племенной работы с красно-пестрой породой скота // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. Т. 2. № 54. С. 193–199. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-193-199.
9. Качественная оценка молока-сырья отечественных пород крупного рогатого скота / Е. В. Жукова, Е. Д. Савина, П. А. Корневская и др. // Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1 (17). С. 109–119. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/011.1.17.2024.
10. Скоркина И. А., Ламонов С. А. Особенности химического и аминокислотного состава молока крупного рогатого скота, разводимого в условиях Тамбовской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 3. С. 66–70.
11. Genetic diversity and bottleneck analysis of the Red Steppe cattle based on microsatellite markers / A. S. Kramarenko, E. A. Gladys, S. S. Kramarenko et al. // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. Vol. 8. № 2. P. 12–17. doi: 10.15421/2018_303.
12. Productivity of cows of the red steppe breed, considering the physique / S. A. Oleinik, D. R. Nizeva, M. G. Kokotka

- et al. // BIO Web of Conferences. 2024. № 82. Article: 02001. doi: 10.1051/bioconf/20248202001.*
13. Сравнительный анализ жирнокислотного состава молока от коров красной степной породы в условиях разных природно-климатических зон Северного Кавказа / С. А. Олейник, В. С. Скрипкин, А. В. Лесняк и др. // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15. № 4. С. 236–259. doi: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-236-259.
 14. Молочная продуктивность коров австралийской селекции разной линейной принадлежности / И. Ф. Горлов, Е. Ю. Злобина, А. А. Кайдулина и др. // *Молочное и мясное скотоводство*. 2019. № 7. С. 27–31.
 15. Самусенко Л. Д., Химичева С. Н. Генеалогические линии как биологические ресурсы молочного скотоводства // *Зоотехния*. 2018. № 6. С. 7–11.
 16. Влияние генетических факторов на продуктивность коров и качество молока / И. Ю. Михайлова, Е. Г. Лазарева, А. В. Бигаева и др. // *Пищевая промышленность*. 2021. № 1. С. 36–40. doi: 10.24411/0235-2486-2021-10007.
 17. Предпосылки совершенствования качества продуктов для централизованного питания детей / Н. Н. Липатов, О. И. Баширов, А. Л. Геворгян и др. М.: Россельхозакадемия, 2004. С. 67.
 18. Игнатов А. В., Коханов М. А. Влияние линейной принадлежности на молочную продуктивность коров-первотелок // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2009. № 3 (15). С. 73–76.
 19. К вопросу о качестве и гигиенической безопасности кисломолочных продуктов / Л. А. Румянцева, О. В. Ветрова, А. В. Истомина // *Здоровье населения и среда обитания*. 2021. Т. 29. № 8. С. 39–47.
 20. Петрова М. Ю. Красный степной скот Западной Сибири: прошлое и настоящее: монография. Омск: ФБГНУ «Омский АНЦ», 2023. 136 с.

Поступила в редакцию 06.03.2025

После доработки 18.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631

DOI 10.31857/S2500262725030081 EDN FEDQXJ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ АГРОИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

© 2025 г. **Я. П. Лобачевский**¹, доктор технических наук, академик РАН, **Ю. Ф. Лачуга**¹, доктор технических наук, академик РАН, **А. Ю. Измайл**², доктор технических наук, академик РАН, **Ю. Х. Шогенов**¹, доктор технических наук, академик РАН

¹Российская академия наук,
119991, Москва, Ленинский просп., 14

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5
E-mail: lobachevsky@yandex.ru

Представлена научно-техническая продукция за отчетный 2024 г. агроинженерных научных учреждений Министерства науки и высшего образования и Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, находящихся под научно-методическим руководством Отделения сельскохозяйственных наук РАН по фундаментальным, поисковым фундаментально ориентированным прикладным научным исследованиям в области развития энергоресурсосберегающих экологически безопасных машинных технологий, роботизированной техники и цифровых систем для производства высококачественной и конкурентоспособной продукции растениеводства и животноводства; энергообеспечения, энергосбережения, возобновляемой и альтернативной энергетики в агропромышленном комплексе Российской Федерации; технологий и автоматизированных средств технического сервиса, восстановления и повышения надежности техники с применением нанотехнологий, поликомпозиционных и наноматериалов. Востребованность и актуальность результатов исследований научных агроинженерных учреждений подтверждает заинтересованность в новых разработках сельхозтоваропроизводителей и организаций разных форм собственности аграрной отрасли страны.

SCIENTIFIC AND TECHNICAL ACHIEVEMENTS OF AGRO-ENGINEERING SCIENCE IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION OF AGRICULTURE

Ya. P. Lobachevsky¹, **Yu. F. Lachuga**¹, **A. Yu. Izmailov**², **Yu. Kh. Shogenov**¹

¹Russian Academy of Sciences,
119991, Moskva, Leninskii prosp., 32a

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
109428, Moskva, 1-i Institutskii proezd, 5
E-mail: lobachevsky@yandex.ru

The scientific and technical production for the reporting year 2024 of agroengineering research institutions of the Ministry of Science and Higher Education and the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, which are under the scientific and methodological guidance of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences on fundamental and applied research in the field of development of energy-saving environmentally safe machine technologies, robotic equipment and digital systems for the production of high quality and competitive crop production is presented. The demand and relevance of the research results of scientific agroengineering institutions is confirmed by the interest in new developments of agricultural producers and organizations of different forms of ownership of the agrarian sector of the country.

Ключевые слова: мобильные энергетические средства, машинные технологии, агрегат, культиватор, сушка зерна, обеззараживание, газоразрядная плазма, цифровой двойник, нейронная сеть, автоматизация, энергообеспечение, возобновляемая энергетика, аккумулятор, агроэкосистема, цифровые системы, роботизированная техника, диагностика, технический сервис, мониторинг.

Keywords: mobile energy means, machine technologies, aggregate, cultivator, grain drying, disinfection, gas-discharge plasma, digital twin, neural network, automation, energy supply, renewable energy, battery, agroecosystem, digital systems, robotic technology, diagnostics, technical service, monitoring.

Необходимость повышения конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса обозначена на государственном уровне и на современном этапе и активно решается в соответствии с приоритетными и перспективными направлениями научно-технологического развития Российской Федерации [1, 2, 3]. Преодоление технологических рисков в сфере продовольственной безопасности, вызванных отставанием в уровне технологического развития от производственной базы развитых стран [4, 5, 6], подразумевает переход к высокопродуктивному и экологически чистому производству качественной сельскохозяйственной продукции с применением передовых машинных техно-

логий, разработкой и внедрением в аграрную отрасль современных цифровых технологий, роботизированных систем [7, 8, 9], возобновляемой и ресурсосберегающей энергетики [10, 11, 12].

Цель исследований – анализ результатов исследований по механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства в рамках Программы фундаментальных научных исследований Российской Федерации в РФ на 2021–2030 годы (в дальнейшем Программа).

Методика. Поэтапное выполнение научно-исследовательских работ (НИР) снижает риски и создает базу для перехода к более высокому уровню готовно-

сти разрабатываемых технологий и технических средств. В 2024 г. исследования по механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства в рамках раздела «Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство» Программы фундаментальных научных исследований (ПФНИ) в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.) выполняли 5 федеральных государственных бюджетных научных учреждений, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации (ФНАЦ ВИМ, ФНЦ ЛК, ВНИИТиН, СФНЦА РАН, АНЦ Донской) с участием 456 научных работников (исследователей), в том числе 81 доктор и 167 кандидатов наук, 11 академиков и 8 членов-корреспондентов РАН. Для выполнения НИР были задействованы имеющиеся в научных организациях лаборатории и обновленное и современное инфраструктурное оборудование для достижения запланированных результатов по темам научных планов и проектов. В исследованиях задействованы современные и разработанные методики постановки и проведения фундаментальных, поисковых фундаментально ориентированных прикладных научных изысканий, в том числе междисциплинарного характера в области агроинженерии. За отчетный период 2024 г. число молодых ученых и специалистов в возрасте до 39 лет составило 241 человек, или 52,9 % от общего числа исследователей, что превысило на 13,1 % предыдущий отчетный период (2023 г.). При этом численность научных сотрудников по агроинженерной специальности снизилось на 0,9 %. Полученные научно-технические разработки в результате научных изысканий представлены в рамках отчетности научными учреждениями ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ФГБНУ ФНЦ ЛК, ФГБНУ ВНИИТиН, ФГБНУ СФНЦА РАН, ФГБНУ АНЦ Донской и вузами агроинженерной направленности в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2017. Для проведения исследований использовались информационные ресурсы научной электронной библиотеки elibrary.ru, результаты интеллектуальной деятельности, научно-исследовательские работы научных и образовательных учреждений Минобрнауки РФ и Минсельхоза РФ, в том числе электронные информационные ресурсы, которые создаются и ведутся в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и ФГБНУ «Росинформагротех», публикации ведущих ученых и специалистов отрасли по тематике исследований.

Результаты и обсуждение. По разделу «Развитие энергообеспечения, энергосбережения, возобновляемой и альтернативной энергетики в агропромышленном комплексе Российской Федерации» ПФНИ продолжены работы по изучению процессов энергообеспечения, энергоресурсосбережения, возобновляемых и альтернативных источников энергии, разработке экологически безопасных машинных технологий, роботизированной техники и цифровых систем для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции. В 2024 г. в этом направлении получена следующая научно-техническая продукция:

методика определения сокращения потерь электроэнергии и повышения надежности электроснабжения потребителей с использованием двух трансформаторов сезонно вместо одного на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ, позволяющая определять рациональные мощности трансформаторов на основе оценки потерь электроэнергии и надежности электроснабжения (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

методика сравнения систем локального обеспечения электроэнергией от солнечных панелей и электросети, позволяющая определить эффективную систему обе-

спечения электрической энергией для конкретного объекта с учетом его требований и условий эксплуатации (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

технологическая схема и методика расчета комбинированного электрического теплоаккумуляционного обогревателя при его работе с потолочным вентилятором, позволяющая определять теплоэнергетические, электрические и конструкционные параметры агрегатов, входящих в систему отопления (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети, позволяющий осуществлять подключение к резервному источнику только ответственных потребителей, исключая риск его перегрузки. Патент РФ № 2828477 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ согласования волноводов, позволяющий повысить эффективность передачи микроволновой мощности по целевым волноводам и ее рассеивание в объеме обрабатываемого материала, что приводит к повышению тепловой обработки зерна (сушка, обеззараживание, подготовка к скармливанию). Патент РФ № 2813853 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ повышения коэффициента использования установленной мощности ветроэлектрической станции, позволяющий увеличить коэффициент использования с 10 % до 53 % в условиях малых среднегодовых скоростей ветра (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ сезонного сокращения потерь электрической энергии и повышения надежности в электрической сети, включающий замену одного трансформатора на два трансформатора (для трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ), позволяющий сократить потери электроэнергии на 6...15 % и время перерывов в электроснабжении потребителей с 9,44 до 0,613 ч/год. Патент РФ № 2813851 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ и устройство для передачи электрической энергии, обеспечивающие передачу электроэнергии по однопроводной резонансной линии в режиме полуволны на любые расстояния, начиная с 3 км, с высоким КПД передачи электрической мощности. Патент РФ № 2819862 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

излучающий волновод электромагнитного поля СВЧ для повышения энергоэффективности установок СВЧ-конвективной сушки за счет охлаждающего магнетрон воздуха в качестве агента сушки. Патент РФ № 2821062 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

автономное зарядное устройство мобильного транспортного средства с электроприводом от солнечной энергии, обеспечивающее до 30 % дополнительной энергии в солнечный день (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ и устройство для нейтрализации и дезодорации вентиляционных выбросов крупных животноводческих и птицеводческих предприятий с использованием газоразрядной плазмы атмосферного давления, обеспечивающие нейтрализацию до 95 % газообразных вредных веществ, содержащихся в вентиляционных выбросах крупных животноводческих комплексов, при экономическом эффекте 5 млн р/год для свинооткормочного комплекса на 108 тыс. голов и электрической мощности устройства 2 кВт. Патент РФ № 2809452 (СФНЦА РАН);

модернизированный источник бесперебойного питания для применения в автономных и гибридных системах электроснабжения с использованием солнечных фотоэлектрических модулей. (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

сетевая солнечная фотоэлектрическая установка мощностью 1,6 кВт для снижения потребления электроэнергии из централизованной сети. Патенты

РФ № 2024663109, 2024661664 (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

мобильный автономный источник энергии на базе литийионных вторичных аккумуляторов с возможностью зарядки от солнечных фотоэлектрических модулей. Патенты РФ № 2022667930, 2022667166 (РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева);

электроозонатор «Норма-15» для дезинфекции воздушной среды (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

программа для ЭВМ «Цифровой свинокомплекс. Учет данных» автоматизации учета свойств свиного бесподстилочного навоза и создания цифрового двойника свинокомплекса для получения рекомендации по корректности/некорректности взаимодействия с пользователем. Патент РФ № 2024684861 (ФГБОУ ВО РГАТУ);

программа для ЭВМ «Искусственная нейронная сеть прогноза массы животных в зависимости от рациона их питания», Патент РФ № 2024686716 (ФГБОУ ВО РГАТУ);

программа для ЭВМ «Визуализация эффективности выращивания сои в зависимости от ее белковости» для визуализации и автоматизации расчета с элементами прогнозирования. Патент РФ № 2024684878 (ФГБОУ ВО РГАТУ);

программа для ЭВМ «Цифровой ассистент ведения журнала обращения с отходами и побочными продуктами животноводческих предприятий» для автоматизации всего процесса. Патент РФ № 2024680124 (ФГБОУ ВО РГАТУ);

биометановая установка для анаэробного эффективного сбраживания органических отходов, позволяющая получать биогаз и качественные органические удобрения при температуре сбраживания 30...36 °С. Патенты РФ № 230368, 2813442 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство для автоматизированной подачи кормов для животных с одновременным перемешиванием и дозированной подачей кормовых добавок. Патент РФ № 227092 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

программа для статистической экспресс-обработки данных научных экспериментов. Патент РФ № 2024664857 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

программа оценки эффективности конструктивных разработок и параметрам технико-экономических показателей (годовой экономической эффект, срок окупаемости и коэффициент эффективности капитальных вложений). Патент РФ № 2024664856 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

установка СВЧ для сушки растительного материала, позволяющая снизить энергетические затраты за счет более равномерного распределения электромагнитного поля и повысить качество сушки растительного материала при снижении энергопотребления с 7 до 3 мДж/кг. Патент № 226801 (ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ);

По разделу «*Энергоресурсосберегающие экологически безопасные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства высококачественной сельскохозяйственной продукции*» научные изыскания проводили ФНАЦ ВИМ, ФНЦ ЛК, ВНИИТиН, СФНЦА РАН, АНЦ Донской, ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои и др.

По результатам НИР в 2024 г. получена следующая научно-техническая продукция:

методика проектирования фронтальных плужных корпусов для прецизионной обработки почвы со сложной пространственной поверхностью, позволяющая на черноземной почве снизить тяговое сопротивление на 15 % ниже показателя серийного плуга ПЛН-8-40. Патент РФ № 2828845 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

методология формирования системы машин для комплексной механизации, автоматизации и роботизации сельскохозяйственного производства при использовании альтернативных энергоносителей, источников и накопителей энергии (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

автоматизированная машина закладки на хранение картофеля и овощных культур с цифровой системой управления, обеспечивающая снижение механических повреждений клубней до 5 % с годовым экономическим эффектом 87 000 руб. от внедрения разработки (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

закономерности идентификации биологических объектов цифровой системой управления для закладки на хранение картофеля и овощных культур, позволяющие обосновать конструктивные и технологические параметры машины: длину и ширину подпорного питателя, скорость движения машины и выгрузного транспортера, а также потребляемую мощность 2,14...2,55 кВт. Патент РФ № 2024624359 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

роботизированное кассетное загрузочное устройство подачи высеваемого материала (семян) к высевочному аппарату сеялки для селекционных работ. Патент РФ № 2806909 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

конструкция фитооблучателя с иммерсионным типом охлаждения со светоотдачей которого на 10 % выше облучателя с естественным воздушным охлаждением. Патент РФ № 2829989 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

климатическая камера СК-ВИМ-1.2 для клонирования растений, выращивания зеленных и овощных культур за счет точного моделирования климатических условий при снижении расходов на электроэнергию за счет применения светодиодного освещения. Патент РФ № 2022611514 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

климатическая камера СК-ВИМ-8.8 для ведения селекционных работ, выращивания зеленных, зерновых и овощных культур, способствующая сокращению времени проведения селекционных работ при круглогодичном выращивании Патент РФ № 2023663174 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

компоновочная, пневматическая и электрическая схемы системы регулирования давления воздуха в шинах (СРДВШ) мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения для повышения энергоэффективности МЭС и снижения динамической нагруженности элементов конструкции и переуплотнения почвы (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

концепция применения роевых технологий в мультиагентных системах сельскохозяйственных мобильных средствах с использованием алгоритма оптимизации PSO для повышения эффективности механизации, автоматизации и роботизации технологических операций (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

система проектирования и управления технологиями, комплексами машин и оборудованием рециклинга сельскохозяйственных отходов, обеспечивающих экологическую устойчивость агроэкосистем при интегрированном использовании современных методов оценки влияния агротехнологий на окружающую среду (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

исходные требования на экспериментальный образец биофильтра для очистки выбросов при интенсивных технологиях переработки побочной продукции животноводства с системой контроля технологического процесса улавливания из газовой смеси при биоферментации аммиака до 1,4 кг/т (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

исходные требования на опытный образец мобильного технического средства для очистки стоков при мытье групповых поилок для КРС, позволяющие на ферме

с поголовьем 1200 голов дойного стада со шлейфом снизить выход стоков до 12,5 % в сутки при производительности не менее 75 л/мин и давлении в системе 0,2...0,8 МПа (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

система управления манипулятором робототехнического комплекса для поточной уборки плодов яблони, обеспечивающая быстрое действие рабочих циклов манипулятора на сьем одного плода не более 12 секунд и точность распознавания плодов на кроне дерева с помощью модели сверточной нейронной сети на изображениях/видео в режиме реального времени не менее 96 % (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

программно-аппаратные средства для цифрового мониторинга биологических объектов и управления процессом роботизированной уборки, позволяющие распознавать и классифицировать плоды и листья яблони, цветки и завязи, определять их размеры, степень поражения болезнями в режиме реального времени с точностью 78...96 % в зависимости от условий окружающей среды и объекта распознавания. Патенты РФ №№ 2022680343 и 2024685179 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ определения полегания посевов зерновых культур с помощью нейронной сети, позволяющий сократить временные ресурсы и автоматизировать процессы оценки посевов зерновых культур. Патент РФ № 2024682640 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

алгоритм управления движением роботизированной платформы с использованием методов компьютерного зрения и кластеризации, позволяющий определять границы каждого ряда и позиционировать рабочие органы, обеспечивая точность внесения СЗР в рабочую зону не менее 96 % (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

имитационная модель энергетических показателей процесса вспашки, обеспечивающая оценку зависимости усилия вспашки от технологических и геометрических параметров корпуса плуга (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

методология создания цифровых двойников сельскохозяйственных биологических объектов и рабочих органов сельскохозяйственных машин с учетом технологических особенностей, обеспечивающая комплексный подход к созданию цифрового двойника (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

методика виртуальных испытаний цифровых двойников рабочих органов сельскохозяйственных машин в процессе их функционирования, позволяющая выстроить технологический процесс их проведения (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

универсальное оборудование для переработки растительного сырья, позволяющее повысить биодоступность компонентов получаемого кормового продукта на 25...50 % при снижении уровня загрязнения окружающей среды при переработке ингредиентов (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

безотходная технологическая линия по производству комбикорма с применением гидролизата, полученного путем глубокой переработки растительного сырья при сокращении времени обработки сырья на 38 % (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

научные основы для создания технологий и технических средств, обеспечивающих механизацию и автоматизацию процессов в племенном животноводстве (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

система автоматической бесконтактной оценки хромоты для ранней диагностики развивающихся и существующих заболеваний КРС (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

метод построения магнитного подвеса доильной платформы Карусель, включающая горизонтальные магнитные сборки левитации и вертикальные магнитные

сборки боковой стабилизации для повышения долговечности платформы до 2,5 раза за счет отсутствия трения и колесных движителей системы «рельс–колесо» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

технологические схемы ресурсосберегающей левитирующей доильной платформы Карусель, обеспечивающая снижение капитальных затрат на монтаж, техническое обслуживание и ремонт до 30 % при снижении потребляемой мощности привода платформы до 2,5 раза (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

математические модели для определения силы магнитной левитации и боковой стабилизации вращающейся доильной платформы карусель с использованием неодимовых магнитов, обеспечивающих левитационный зазор не менее 0,05 м (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

технологическая схема линии первичной обработки молока на базе термоэлектрических модулей, позволяющая проводить дифференцированную тепловую обработку молока на роботизированных молочных фермах (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

аэродинамический расчет и гидравлические параметры гибкого воздуховода для системы местной вентиляции коровника, обеспечивающие снижение теплового стресса у животных до 35 % (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

технологические схемы и методики для оптимизации состава технических средств и повышения производительности поточно-технологических линий приготовления и раздачи кормов до 20 % на фермах и комплексах КРС (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

вспушивающее устройство с повышенной плавностью хода и увеличенной прочностью зубьев, обеспечивающее полноту вспушивания лент льна не менее 98,8 % и снижение повреждений стеблей, влияющих на выход длинного волокна, на 1,5 % (ФГБНУ ФНЦ ЛК);

инновационная клеверотерка для механизированной послеуборочной и предпосевной подготовки семян многолетних бобовых трав (для селекции многолетних трав и кормовых культур, например, клевера ползучего) на современной элементной базе и программное обеспечение, обеспечивающие точную настройку параметров работы механического привода (время перетирания настраивается с точностью до ± 1 секунды, скорость вращения шпинделя с точностью до ± 25 об/мин) при общем объеме терочного стакана 700 см³ (ФНЦ ЛК);

параметры и режимы эффективности работы подбарабатывающего аппарата льноуборочной машины, обеспечивающие производительность работы до 1,2 га/час, чистоту очеса семенных коробочек до 99,8 %, минимальный отход стеблей в путанину 0,52 % (ФГБНУ ФНЦ ЛК);

конструктивно-технологическая схема и режимы работы инновационного самоходного оборачивателя лент льна на электроприводе с дистанционным управлением, обеспечивающие снижение энергоемкости машины до 3,5 кВт и экологичность ее работы (ФГБНУ ФНЦ ЛК);

опытный образец универсального технического средства, обеспечивающего измельчение неиспользуемых остатков стеблей лубяных культур в полевых условиях, сокращение количества технологических операций в 2 раза и экономию топлива (ФГБНУ ФНЦ ЛК);

параметры очесывающей гребенки и экспериментальные данные режимов работы однороторного очесывающего барабана, обеспечивающие чистоту очеса семенных коробочек со стеблей льна на корню не менее 99,2 % (пат. № 2816766) (ФГБНУ ФНЦ ЛК);

параметры многофункционального устройства для уборки технической конопля с плющением стеблей и разрезанием на отрезки заданной длины, позволяю-

щая сократить сроки получения тресты и повысить ее однородность (ФГБНУ ФНЦ ЛК);

инновационные технологии возделывания пропашных культур и хранения корнеплодов сахарной свеклы модернизированными техническими средствами с использованием цифровых систем управления, обеспечивающие снижение рисков потери качества сахарной свеклы в период хранения. Патенты РФ № 2024616636; 2024616645; 2024616861 (ФГБНУ ВНИИТиН);

компьютерная программа оценки эффективности использования зерноуборочных комбайнов на уборке сои в сельхозпредприятии, применение которой способствует повышению эффективности уборки сельскохозяйственной культуры с экономическим эффектом 1100...1800 руб/га убираемой площади. Производственная апробация разработки проведена в сельхозпредприятиях Тамбовской области: МФП «Нива» и СПК «Русь». Патент РФ № 2024618832 (ФГБНУ ВНИИТиН);

технологические регламенты и система управления качеством технологических процессов производства кормов для высокопродуктивного молочного скота, обеспечивающая повышение эффективности функционирования звеньев биотехнических систем в животноводстве за счет улучшения качества технологических процессов (ФГБНУ ВНИИТиН);

метод усовершенствования технологических процессов в молочном скотоводстве и способ повышения резистентности и продуктивности крупного рогатого скота за счет использования кормовой добавки из кипрея узколистного, способствующие повышению в молоке массовой доли жира до 13,3 %. Патент РФ № 2816330 (ФГБНУ ВНИИТиН);

комплекс технических средств при поверхностном внесении жидких форм минеральных удобрений, обеспечивающих распределение удобрений по подстилающей поверхности и активное смешивание их с поверхностным слоем почвы (СибИМЭ СФНЦА РАН);

пневмогидромеханические распылители лепесткового и тарельчатого типов, обеспечивающие равномерность распределения не менее 92 % (СибИМЭ СФНЦА РАН);

оптимальные параметры и режимы очистки зерна при форсированных режимах колебаний решетного стана в зависимости от засоренности зернового вороха (СибИМЭ СФНЦА РАН);

способ и устройство для нейтрализации и дезодорации вентиляционных выбросов биореакторов с использованием газоразрядной плазмы атмосферного давления, обеспечивающих нейтрализацию до 95 % газообразных вредных веществ, содержащихся в отходящих газах биореакторов. Патент РФ № 2809452 (СибИМЭ СФНЦА РАН);

рациональные параметры процесса гранулирования влажных кормов для рыб, включающих зерновое сырье ранней спелости (влажность сырья – 38...42 %, температура 46...49,5 °С, модуль помола сырья 1,4...1,7 мм, частота вращения рабочих органов 48...50 мин⁻¹), обеспечивающие удельную энергоемкость процесса – 2,2...2,7 кВт·ч/т (ФГБНУ АНЦ Донской);

опытный образец навесной сеялки прямого посева в дернину и многофункциональный почвообрабатывающий агрегат, обеспечивающие высокое качество почвообработки и посева при отклонении фактического высева от заданного (8,0 кг/га) на высева козлятника восточного до 4,8 %. Диапазон передаточных отношений обеспечивает норму высева в интервале 3,5...207,4 кг/га. Патент РФ № 2772128 (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока);

клеверотерка-скарификатор КС-0,3П, обеспечивающий степень вытирания 95,4...95,6 % при дроблении семян до 0,1...1,0 % с эффектом очистки от легких примесей до 73,6...77,7 %, а также с производительностью при скарификации 0,37...0,49 т/ч, обеспечивающий степень скарификации 95,8...96,5 % при дроблении 0,3...0,8 % (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока);

технические средства технологических линий и конструкторская документация кормоцеха для производства концентрированных полнораціонных комбикормов для крестьянских и фермерских хозяйств. Патенты РФ № 2813484 2812431, 2813794, 2813897, 2813908, 2812431, 2814234, 2815106, 2819163, 2829230. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №№ 2024615007, 2024615456, 20246660939, 2024685530 (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока);

модернизированный комбинированный стерневой агрегат КСА-3,8М, предназначенный для подрезания стерни, рыхления слоя почвы на глубину заделки семян, выравнивания поверхности поля, двухфазного разрушения планчатых почворежущими катками почвенных агрегатов до мелких фракций и их уплотнения с шириной захвата 3,8 м, глубине обработки 0,05...0,15 м и скорости движения 8...12 км/ч (ФГБУН НИИСХ Крыма).

регулируемая вентиляционная решетка с защищенным приводом для систем микроклимата свиноводческих предприятий, обеспечивающая механическое регулирование направления вектора потока струи приточного воздуха. Патент RU 228091 U1 (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

методика обеспечения экологической безопасной утилизации животноводческих стоков на земельно-технических полях орошения с применением численных алгоритмов расчета на ЭВМ процессов миграции влаги и азотных соединений и их трансформаций в почвах и подстилающих (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

технологический прием и опытный образец машины для химической обработки приствольных полос в садах интенсивного типа (ГербиСК-2000), обеспечивающей повышение эффективности интенсивного садоводства путем гербицидной обработки приствольных полос двух полурадов многолетних насаждений. Патент РФ № 2824205 (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ и ФГБНУ СКНИИГПС);

опытный образец инновационной комбинированной двухроторной садовой фрезы для эффективной обработки области приствольной полосы плодовых деревьев. Патент РФ № 229082 (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ);

математические модели формирования поверхностного стока, процесса фильтрации воды в почве, взаимодействия капель дождя с поверхностью почвы, позволяющие установить глубину стока в произвольный момент времени, анализировать режимы функционирования гидросооружений и эффективно управлять водными ресурсами (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ);

установка для обработки материалов СВЧ-полем, включающую одновременную обработку нескольких полимерных материалов для улучшения технологических качеств и свойств, обеспечивающая относительное разрывное удлинение полипропиленовых нитей на 48,2 %, увеличение разрывной нагрузки на 27,6 %, по сравнению с контрольными образцами (без обработки СВЧ). Патент № 226896 (ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ);

привод режущего аппарата для скашивания сельскохозяйственных растений, обеспечивающий качественную работу ножей режущего аппарата жатки сельскохозяйственной машины и повышение надеж-

ности режущего аппарата за счет сокращения числа кинематических звеньев. Патент РФ № 225821 (ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ);

пульсатор доильного аппарата, включающий корпус, вакуумную камеру, камеры атмосферного давления и переменного вакуума, обеспечивающий стабилизацию частоты пульсаций и величины вакуума под сосками вымени при доении коров. Патент РФ № 2824211 (ФГБОУ ВО РГАУ);

устройство для измерения корневых систем растений в полевых и лабораторных условиях, определяющее характер распределения в почве извлеченных корневых систем зерновых растений семейства злаковых, а также размеры почвенного пространства корневых систем. Патент РФ № 227557 (ФГБОУ ВО РГАУ);

пневматический распылитель для получения мелкодисперсных капель и охлаждения в сельскохозяйственном производстве, позволяющий снизить энергоемкость диспергирования жидкости в сравнении с существующими распылителями и получать газожидкостный мелкодисперсный поток. Патент РФ № 223575 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство для извлечения перги из перговых сот до отдельных гранул и очистки их от восковых примесей, позволяющее повысить эффективность работы устройства за счет увеличения выхода цельных и чистых качественных перговых гранул при снижении их повреждаемости. Патент РФ № RU 2824568 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство для смешивания и транспортирования полужидких кормов по трубам, предназначенное для наглядной демонстрации в учебной лаборатории по кормораздаточным агрегатам и в научно-исследовательских центрах. Патент РФ № 229126 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

пространственный смеситель барабанного типа с дифференциальным шестизвенным шарнирно-рычажным механизмом, обеспечивающий увеличение эффективности процесса смешения. Патент РФ № 2812926 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

смеситель сыпучих кормов, обеспечивающий требуемое качество смешивания компонентов корма с высоким уровнем производительности установки. Патент РФ № 223960 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

спирально-винтовая дробилка, обеспечивающая непрерывность процесса и качество дробления измельчаемого материала при повышении эффективности и производительности процесса дробления. Патент РФ № 230909 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

измельчитель-смеситель кормов, обеспечивающий высокую эффективность технологического процесса по измельчению кормов при эксплуатационной надежности оборудования. Патент РФ № 229533 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

опытный образец измельчителя фуражного зерна, обеспечивающий равномерное распределение и прохождение в камере зернового материала. Патент РФ № 230337 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

конструктивно-технологическая схема водяной воскотопки для переработки пчелиного воска, обеспечивающая автоматизированный процесс вытопки воска из рамок с воскосырьем за счет применения ленточного транспортера с максимальным выходом воска из сырья. Патент РФ № 227112 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

ротатор кустореза для осветления рядковых лесных культур с защитой от препятствий рубящих ножей с высокой эксплуатационной надежностью и долговечностью ножей и качественным измельчением кустарниковой

растительности. Патент РФ № 229930 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

спирально-винтовой почвообрабатывающий каток, обеспечивающий надежность и качество технологических процессов интенсивного крошения почвы, уничтожения сорняков и снижение энергоемкости процесса обработки. Патент РФ № 225723 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

ротационный почвообрабатывающий орган для внесения жидких и сыпучих удобрений, обеспечивающий совмещение операции безотвальной обработки с одновременной подкормкой почвы сыпучими и жидкими удобрениями. Патент РФ № 230908 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

экспериментальный комбинированный сошник применительно к сеялке-культиватору СКП-2.1 для посева и разноровневого внесения минеральных удобрений с разгребающим устройством и оборудованный телеметрической аппаратурой, обеспечивающий снижение тягового сопротивления сеялки-культиватора на 13 % в сравнении с контролем (при глубине посева 0,06 м и скорости 9 км/ч), раздельное полосное распределение семян в правую часть подлапового пространства, минеральных удобрений – в левую часть подлапового пространства. Урожайность зерна на делянках, засеянных экспериментальными сошниками, в сравнении с контрольным дало прибавку зерна 11 %, а экономическая эффективность использования сеялки, оборудованной комбинированными сошниками, составила 1265 096 руб./год в расчете на одну сеялку. Патент РФ № 224117 (ФГБНУ Омский АНЦ);

конструкция прицепного накопителя-питателя корнеклубнеплодов, позволяющая осуществлять более качественную их очистку от посторонних примесей, а также предусматривающая возвращение плодородного слоя почвы обратно на поля (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ);

конструкция пневматического высевающего аппарата, включающая вращающийся вакуумный барабан, установленный на полой цапфе с патрубком для присоединения к источнику разрежения и оборудованный присасывающими ниппелями, зону сбрасывания семян с минимальным зазором, обеспечивающая повышение качества посева семян сельскохозяйственных культур. Патент РФ № 224084 (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

По разделу «Технологии и автоматизированные средства технического сервиса, восстановления и повышения надежности техники, создание и применение нанотехнологий, поликомпозиционных и наноматериалов» научные изыскания проводили ФНАЦ ВИМ, ФНЦ ЛК, ВНИИТиН, СФНЦА РАН, АНЦ Донской, ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои и др.

По результатам НИР в 2024 г. получена следующая научно-техническая продукция:

метод цифрового мониторинга по сбору информации о техническом состоянии МЭС с электронным блоком управления, обеспечивающий снижение финансовых затрат на 10...12 % при проведении диагностических операций (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

способ дистанционного диагностирования технического состояния ДВС энергонасыщенной техники с электронным блоком управления с использованием нейронных сетей, позволяющий получать параметры технического состояния основных узлов и агрегатов в онлайн-режиме, прогнозировать отказы, снизить простой техники до 17 % (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

технология восстановления деталей оборудования животноводства, работающего в агрессивной среде, наплавкой хромистыми вторичными электроэрозийно-

ными диспергированными материалами с легирующими присадками, обеспечивающая снижение себестоимости процесса на 10...20 % за счет рециклинга дорожных материалов (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

устройство для безразборной диагностики технического состояния механических КПП с гидравлической системой управления гидроподжимными муфтами энергонасыщенных тракторов и получения данных для проведения ремонтно-обслуживающих мероприятий и снижения риска отказов I–III групп сложности. Патент РФ № 2828999 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

газоиспользующий парогенератор с плавным регулированием теплового потока по температуре смеси конденсата для снабжения группы потребителей паром (приготовление кормов, пищи, отопление, горячее водоснабжение) в личных подсобных, крестьянских хозяйствах со сроком окупаемости 1,1 года при годовом экономическом эффекте более 230 тыс. руб. (ФГБНУ ВНИИТиН);

рациональный состав наноразмерных добавок к моторному маслу, обеспечивающий повышение противозносных и антифрикционных свойств масел с использованием углеродных и металлосодержащих наноматериалов, увеличение сроков службы сельскохозяйственной техники и снижение затрат на ее обслуживание до 20 %. Патент РФ № 2818564 (ФГБНУ ВНИИТиН);

технология утилизации и вторичного использования теплоты двигателя внутреннего сгорания в условиях Сибири (СибИМЭ СФНЦА РАН);

металлополимерный подшипник скольжения, включающий металлическую втулку с металлополимерной рабочей частью, обеспечивающий повышение долговечности узла трения за счет формирования винтовых поверхностей полимерной и металлической частей подшипника. Патент РФ № 229206 (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

установка для упрочнения шнеков экструдеров диффузионным борированием в обматках нагревом токами высокой частоты, обеспечивающая увеличение ресурса работы шнека за счет получения износостойкого упрочняющего покрытия на его рабочей кромке. Патенты РФ №№ 2820894, 2024669388 (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

программно-вычислительный комплекс «Сапфир», предназначенный для рационального распределения и контроля целевого использования производственных ресурсов в АПК. Патент РФ № 2024667321. (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

программа для ЭВМ для составления баз данных и анализа наличия на складах запасных частей и контроля остатков, позволяющая сократить время деталей и в автоматическом режиме проводить статистический анализ изменения позиций на складе. Патент РФ № 2024661414 (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

программа для ЭВМ для построения графиков спроса дилерских автозапчастей с дальнейшим их исследованием, которая позволяет сократить время анализа потребности в запчастях. Патент РФ № 2024661400 (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

методика оценки тягового потенциала энергонасыщенных тракторов мощностью от 500 л.с., позволяющая сократить время получения расчетных тяговых характеристик энергонасыщенных тракторов и провести их сопоставление с аналогами по основным показателям (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

автоматическая система регулирования давления воздуха в шинах сельскохозяйственных тракторов для

изменения тягово-сцепных свойств колесного движителя сельскохозяйственного трактора и давления на почву в зависимости от почвенно-климатических условий. Патент РФ № 2024137700 (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

стенд для исследования прочности шнековых рабочих органов, позволяющий сократить процесс исследования путем имитации производственных условий работы. Заявка на патент № 2024135837 (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева);

инновационное устройство для оценки технического состояния дозаторов газа. Патент на полезную модель RU 229118 (ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ);

программы для ЭВМ, обеспечивающие экспресс-расчет норм расхода топлива на транспортную работу. Патент РФ № 2024686883, № 2024669507 (ФГБОУ ВО РГАУ);

устройство для галтовки деталей и поверхностной, безразмерной обработки деталей, обеспечивающее снижение динамических нагрузок на его конструкцию, интенсификацию процесса обработки деталей и изготовления металлической порошковой смеси. Патент РФ № 2813522 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство для вибродиагностики КПП тракторов и автомобилей при обкатке, позволяющее повысить достоверность данных о работе подвижных сопряжений КПП по параметрам их предельных зазоров. Патент № 57904 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство для электролитического нанесения покрытий методом натирания на внутренние цилиндрические поверхности, обеспечивающее стабильные условия для электролиза, устранение дендритообразования, максимальную прочность сцепления, повышение надежности и эффективность работы разработки. Патент РФ № 2715584 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

комбинированная ванна для нанесения гальванических покрытий электролитическим натиранием, позволяющее применять высокую плотность тока на единицу площади детали и увеличить эффективность технологического процесса осаждения металла на поверхность. Патент РФ № 2811319 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство электролитического осаждения металлов с использованием роликовых анодов, обеспечивающее получение качественных износостойких покрытий при стабильном процессе электролиза. Патент РФ № 2769383 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

устройство для полирования наружных цилиндрических поверхностей различного диаметра, позволяющее повысить производительность обработки наружных цилиндрических поверхностей за счет магнитных полирующих сегментов, плотно обхватывающих обрабатываемую. Патент РФ № 2827719 (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ).

Фундаментальные исследования, проведенные в 2024 году, позволили разработать:

автоматизированную машину для загрузки овощных культур и картофеля в хранилище/контейнеры, обеспечивающую повышение равномерности распределения корнеклубнеплодов по объему хранилища и в контейнеры при формировании требуемого контура загрузки исполнительными элементами цифровой системы автоматизированного контроля и управления. Позволяет повысить степень равномерности заполнения хранилищ продукцией террасным способом до 98...99 % при общем количестве потерь при хранении до 1 %. Патенты РФ № 224422, № 2024102303, № 2024612899 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

универсальную систему (комплекс) машин для первичной переработки лубяных культур (технической ко-

нопли, льна-долгунца, льна масличного, джута и других лубяных культур в спутанной массе), осенней и весенней уборки в однотипное неориентированное волокно высокой степени очистки производительностью до 800 кг/ч при выходе волокна 28...35 % (ФНЦ ЛК);

высокопроизводительную машину вспушиватель лент льна ВЛН-3А для отрыва от земли и вспушивания лент льна, прибитых к почве дождями или проросших сорняками, с целью сохранения качества льнотресты в период вылежки стеблей льна, ускоряет их сушку в лентах и создает благоприятные условия для работы рулонных пресс-подборщиков, обеспечивает качественное вспушивание лент льнотресты на высокой скорости 17...25 км/ч. Заявка на патент РФ № 2024121441 (ФНЦ ЛК);

систему диагностики для управления техническим состоянием ДВС сельскохозяйственной техники, обеспечивающую оптимизацию ее работы в процессе эксплуатации путем контролирования параметров технического состояния машины, выявления на ранней стадии неисправностей и прогнозирования отказов в режиме реального времени и снижение затрат при проведении диагностических операций до 1,5 раза. Патент РФ № 2024615125 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

К разработкам мирового уровня относится:

роботизированная платформа с манипулятором позволяет проводить технологическую операцию поточной уборки плодов яблони с использованием мехатронных систем затаривания контейнеров, обеспечивает уборку плодов семечковых культур в поточном режиме без участия человека. Система технического зрения на основе сверточной нейронной сети глубокого обучения позволяет распознавать и классифицировать плоды яблони на кроне дерева, определять их координаты в режиме реального времени Патент РФ № 2024688354 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Выводы. В целом по секции МЭиА ОСХН РАН повышение уровня научно-методической работы по обеспечению проведения научных исследований позволило в 2024 г. разработать 10 машинных технологий, 24 новые и усовершенствованные технологии, 41 технологический способ и прием, 58 машин, рабочих органов, приборов и оборудования. В целях совершенствования проведения исследований разработано 57 методов и методик, а также 29 комплекта нормативной документации. Научная и техническая новизна разработок защищена 94 патентами и авторскими свидетельствами. Передано для освоения в производство 18 технологий, 16 разработок.

По результатам научных исследований учеными в 2024 году изданы 9 книг и монографий, опубликовано 577 статей и размещены в базе данных РИНЦ, в том числе 406 в рецензируемых журналах ВАК, 38 – в реферативной базе научных публикаций Web of Science и 81 – в реферативной базе данных Scopus. По секции МЭиА Отделения сельскохозяйственных наук РАН международное научно-техническое сотрудничество осуществлялось с научными и образовательными учреждениями Китайской Народной Республики, Республики Индия, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Республики Узбекистан.

В 2024 году ученые НИУ в отчетном году приняли участие в 65 конференциях, 12 выставках, 34 семинарах, 5 конгрессах. Научная продукция НИУ награждена 13 медалями (из которых 7 золотых, 6 серебряных медалей), дипломами и почетными грамотами. В рамках соглашений и договоров научные исследования проводились по широкому спектру направлений, в том числе в сфере инноваций и промышленного развития

технологий сельскохозяйственного оборудования, разработки и создания оригинальных технологий и технических средств, применения роботизированных машин, оборудования и цифровых систем для производства качественной сельскохозяйственной продукции.

На современном этапе развития АПК возникает необходимость цифрового профилирования научных учреждений, учитывающего количество и качество высококвалифицированных ученых и специалистов, оценку научно-технической материальной, современных лабораторий, наличие современных приборов и оборудования, позволяющего оценить возможности научного учреждения для проведения научных исследований на высоком научно-технологическом уровне. Цифровые коммуникации способствуют формированию карьерного роста современных молодых ученых и специалистов в сельском хозяйстве и способствуют расширению промышленной революции в сельскохозяйственной отрасли страны.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет субсидий государственного задания. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. *Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве* / Я. П. Лобачевский, Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов и др. // *Техника и оборудование для села*. 2024. № 5 (323). С. 2–8.
2. *Коротченко В. М., Ценч Ю. С., Лобачевский Я. П. Система машин как фактор научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе. Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. № 4. С. 67–72.
3. *Морозов Н. М., Кирсанов В. В., Ценч Ю. С. Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве* // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. № 1. С. 11–18.
4. *Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве* / С. В. Гудков, Р. М. Саримов, М. Е. Асташев и др. // *Успехи физических наук*. 2024. Т. 194. № 2. С. 208–226.
5. *Monitoring of heracleum sosnowskyi manden using uav multisensors: case study in Moscow region, Russia* / R. K. Kurbanov, A. N. Dalevich, A. S. Dorokhov, et al. // *Agronomy*. 2024. Vol. 14. No. 10. P. 2451.
6. *Ценч Ю. С., Захарова Н. И. Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель* // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. № 3. С. 16–26.
7. *Черноиванов В. И., Толоконников Г. К. Новая парадигма назначения и проектирования аграрных машин и механизмов в рамках теории биомашинистем* // *Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны»*. Т. 1. М.: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2024. С. 45–49.

8. Шогенов Ю. Х. Минимальное сознание растений – современные представления // Биомашсистемы. Т. 8. № 3. 2024. С. 252–257.
9. Концепция создания семейства сельскохозяйственных мобильных энергосредств с комплексами адаптивных машин и агрегатов до 2030 года / З. А. Годжаев, В. Г. Шевцов, А. Ю. Измайлов и др. М., 2024.
10. Коротченя В. М., Ценч Ю. С., Лобачевский Я. П. Разработка типажей сельскохозяйственных технологий для системы машин // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. № 4. С. 136–148.
11. Shogenov Y. Kh., Shogenov A. Kh. Drying induction motor windings with zero-sequence current // Russian Electrical Engineering. 2021. Vol. 92. No. 4. P. 217–220. doi: 10.3103/S1068371221040064.
12. Strebkov D. S., Penjiyev A. M. Energy characteristics of spherical and cylindrical solar photovoltaic power plants on the surface of solar houses // Applied Solar Energy. 2022. Vol. 58. No. 6. P. 777–783.

Поступила в редакцию 16.04.2025

После доработки 12.05.2025

Принята к публикации 27.05.2025

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ ПОДБОРЩИКОМ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

© 2025 г. **З. А. Годжаев**¹, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, **В. В. Лиховской**², доктор сельскохозяйственных наук, **В. П. Горобей**², доктор технических наук, **В. Ю. Москалевич**³, кандидат технических наук

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5

²Всероссийский национальный научно-исследовательский институт
виноградарства и виноделия «Магарах» РАН,
298600, Ялта, ул. Кирова, 31

³Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского,
Институт «Агротехнологическая академия»,
295492, Республика Крым, Симферополь, п. Аграрное
E-mail: fic51@mail.ru

Исследования проводили с целью обоснования направлений снижения энергоемкости и определения технико-технологических показателей режимов работы измельчающего узла подборщика-измельчителя виноградной лозы. Выполняли расчет скорости поворота измельчающего ножа, закрепленного шарнирно на барабане, разрушающей скорости ножа при ударном воздействии на лозу. Для нахождения координат X_C и Y_C центра тяжести C и момента инерции J ножа была создана его 3D-модель в программе Компас-3D. При расстоянии от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа $r=0,05$ м нож может осуществлять до 10 перерезаний лозы диаметром 9,3 мм за один оборот барабана, а при $r=0,1$ м – до 18 перерезаний. Полученные закономерности использованы при подготовке макетного образца машины для производственного подбора и измельчения виноградной лозы в 2023–2024 гг. в междурядьях молодых и плодоносящих виноградников сортов Каберне Совиньон и Мерло шириной 3 м в условиях Республики Крым в узле измельчителя с радиусом барабана ($R=0,52$ м), массой молотка ($m=0,5$ кг), длиной ($L=0,10$ м), количеством молотков ($k=32$ шт.), количеством противорежущих решеток (2 шт.), шириной захвата барабана (1,5 м). Оптимальные режимные параметры машины: частота оборотов вала подборщика – 400 об/мин, частота оборотов измельчающего барабана – 2100 об/мин, скорость движения агрегата – 1,2 м/с, технологический просвет для бил подборщика – 30...60 мм, технологический просвет для ножей измельчителя – 150...200 мм. Полнота подбора лозы составила 95 % при средней длине измельченных обрезков 8,0 см. Средняя длина измельченных обрезков составила 80 мм при полноте подбора лозы 95 %. Производительность машины увеличилась в 1,4 раза, а энергоемкости процесса измельчения снизилась в 1,1 раза.

REDUCING THE ENERGY INTENSITY OF THE PROCESS OF CRUSHING GRAPE VINES WITH A PICK-UP-CHOPPER

Z. A. Godzhaev¹, **V. V. Likhovskoy**², **V. P. Gorobey**², **V. Yu. Moskaevich**³

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
109428, Moskva, 1-i Institutskii proezd, 5

²All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking «Magarach»
of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia
298600, Yalta, ul. Kirova, 31

³V.I. Vernadsky Crimean Federal University – Institute «Agrotechnological Academy»,
295492, Respublika Krym, Simferopol', p. Agrarnoe
E-mail: fic51@mail.ru

The aim of the research is to substantiate the directions of energy consumption reduction and determination of technical and technological indicators of modes of operation of the chopping unit of the grapevine picker-shredder. The calculations of the rotation speed of the chopping knife fixed articulated on the drum, the destructive speed of the knife at the impact impact on the vine are carried out. To find X_C and Y_C coordinates of the centre of gravity C and moment of inertia J of the knife, its 3D-model was created in the Compass-3D program. At the distance from the axis of rotation O of the drum to the axis of rotation O_1 of the knife $r=0.05$ m the knife can carry out up to 10 cuts of the vine with a diameter of 9.3 mm per one revolution of the drum, and at $r=0.1$ m – up to 18 cuts. The obtained regularities were used in the preparation of a mock-up model of the machine for production selection and chopping of vines in 2023–2024. in the inter-row young and fruit-bearing vineyards of Cabernet Sauvignon and Merlot varieties with a width of 3 m in the conditions of the Republic of Crimea in the chopper unit with the drum radius ($R=0.52$ m), the mass of the hammer ($m=0.5$ kg), length ($L=0.10$ m), the number of hammers ($k=32$ pcs.), the number of contradictory grids (2 pcs.), the width of the drum (1.5 m). Optimal mode parameters of the machine: pickup shaft speed – 400 rpm, shredding drum speed – 2100 rpm, machine speed – 1,2 m/s, technological clearance for pickup beats – 30...60 mm, technological clearance for shredder knives – 150...200 mm. Completeness of vine picking was 95 % with an average length of shredded clippings of 8.0 cm. The average length of shredded clippings in the 3 m wide row spacing was 80 mm with the completeness of vine picking of 95 %. The productivity of the machine increased by 1.4 times and the energy consumption of the shredding process decreased by 1.1 times.

Ключевые слова: виноградная лоза, подборщик, измельчитель, макетный образец, разрушение, нож, резание, удар, схема, скорость, энергия, параметры.

Keywords: grapevine, pick-up, chopper, mock-up sample, destruction, knife, cutting, impact, diagram, speed, energy, parameters.

Мульчирование почвы в междурядьях сада щепой срезанных веток способствует улучшению агрофизических свойств почвы, обеспечивает повышение урожайности культур. Наиболее перспективны для реализации технологии измельчения сучьев непосредственно при движении по междурядью сада машины марок Perfect (Голландия), Celli (Италия), Tehnos (Италия), Mega Metal (Хорватия). Анализ конструкций измельчающих машин и их работы при переработке ветвей показал, что наиболее энергоемкая операция – резание ветвей. Энергоемкость этого процесса рассматривается как отношение затраченной энергии на резание древесины режущими кромками ножей, установленных на роторе измельчителя, в расчете на единицу массы или объема перерабатываемой древесины срезанных ветвей. Важное условие при создании технических средств – максимально возможное снижение их энергоемкости. Основные недостатки используемых машин для измельчения виноградной лозы – большая металлоемкость и, как следствие, энергоемкость, а также нарушение агротехнических требований при выполнении технологического процесса. Скорость удара рабочего органа по измельчаемому материалу ниже скорости распространения по обрезку продольных упругих волн напряжений. Следовательно, в деформации растяжения от поперечного удара будет участвовать только незначительная часть обрезка, равная длине пути деформации [1, 2]. При создании технических средств для подбора и измельчения виноградной лозы необходимо обеспечить их минимально возможную энергоемкость. Установлено, что эффективность процесса измельчения зависит от продольного расщепления растительных волокон, а основные параметры, влияющие на нее, – степень измельчения и удельная энергоемкость [3, 4].

Согласно результатам многолетних исследований по разработке машин для подбора и измельчения лозы, установлено, что длина частей обрезков для утилизации с разбрасыванием измельченной массы по междурядью не должна превышать 10 см [5]. При усовершенствовании подборщика-измельчителя обрезков виноградной лозы, направленном на упрощение конструкции, повышение эксплуатационной надежности и производительности, подборщик и измельчающий барабан были выполнены вращающимися в одном направлении [6]. Лоза проходит под кожухом-надбарабаньем, расположенным над измельчающим барабаном с шарнирно закрепленными молотковидными ножа-

ми с цилиндрической формой кромки лезвия в виде сегмента эксцентрической окружности. Определение оптимальных технико-технологических показателей работы подборщика-измельчителя виноградной лозы с новыми техническими решениями на макетном образце – актуальная задача.

Цель исследований – снижение энергоемкости и определение технико-технологических показателей режимов работы измельчающего узла подборщика-измельчителя виноградной лозы.

Методика. Исследования проводили в условиях ООО «Кроненталь» (с. Кольчугино, Симферопольский район). Измельчение обрезанной лозы выполняли в междурядьях плодоносящих виноградников сорта Каберне Совиньон и молодых (2020–2021 гг. посадки) сорта Мерло шириной 3 м на общей площади 34,5 га.

Макетный образец подборщика-измельчителя обрезков виноградной лозы (рис. 1) содержит раму, пальцевый подборщик, измельчающий барабан с ножами, кожух, противорезы. С учетом новых технических решений он снабжен подборщиком с пальцами, выполненными из пластин с пилообразными вырезами, и направляющим фартуком выпуклой формы. Измельчитель укомплектован молотковидными ножами, лезвия которых имеют выпуклую форму в виде сегмента эксцентрической окружности, а также лопатками с зубчатым профилем в верхней части, расположенными перпендикулярно его плоскости. Барабан измельчителя закрыт легкоъемным кожухом с противорезущими пилонами, имеющими серповидный зубчатый профиль. На раме под кожухом установлены противорезы П-образной формы со скошенной рабочей кромкой. Радиусы кривизны лопатки, режущей кромки ножа и поверхности барабана идентичны, а между ножами и серповидными пилонами установлен зазор, регулируемый путем фиксации положения кожуха, передняя часть которого закреплена на раме продольными шарнирами, а задняя – подпружиненно связана с винтовым механизмом.

Перед проведением теоретических исследований по определению энергетических характеристик барабана измельчителя с шарнирным креплением ножей была построена его кинематическая схема и создана 3D-модель. Для обеспечения условия малоэнергоемкого резания с ударом виноградной лозы шарнирно закрепленными ножами барабана измельчителя выполняли расчеты скорости поворота ножа относительно шарнира



Рис. 1. Общий вид макетного образца подборщика-измельчителя виноградной лозы: (а) сбоку; (б) спереди.

Табл. 1. Требования к машине для подбора и измельчения обрезков лозы в междурядьях

Показатель	Значение требования
Агротехнические требования и качество работы	Измельчение срезанных обрезков и веток на части длиной до 10 см, доля которых должна составлять не менее 85 % от общей массы валка
Энергетическое средство (тяговый класс, мощность)	14...20 кН (44,15 кВт)
Способ агрегатирования	навесная
Скорость, км/ч:	
рабочая	не менее 2,5
транспортная	до 8
Энергоемкость технологического процесса, кВтЧ	63
Производительность, га/ч:	
основного времени	0,85
эксплуатационного времени	0,7

и разрушающей скорости при ударном воздействии ножа на лозу.

Экспериментальные исследования макетного образца подборщика-измельчителя виноградной лозы, агрегатированного с трактором МТЗ-82, проводили на режимах работы машины, направленных на снижение затрат энергии: скорость движения машинно-тракторного агрегата – 2,5...4,5 км/ч с учетом конструктивных особенностей привода измельчающего барабана, обеспечивающего передаточное отношение 3,9, частота оборотов вала подборщика – 200...500 об/мин.

Полученные данные исследуемых параметров сравнивали с показателями карты требований к машине для подбора и измельчения обрезков лозы в междурядьях (табл. 1), разработанной при выполнении научной темы Институт «Магарац» РАН в предшествующем периоде (*Отчет ФГБУН «ВНИИВВ «МАГАРАЧ» РАН» о НИР 2019. ГЗ № 0833-2019-0021*).

Результаты и обсуждение. Рассмотрим движение измельчающего барабана с шарнирным креплением ножей без учета поступательной скорости движения машины (рис. 2). Будем считать рациональным такой режим работы измельчителя, при котором измельчение виноградных лоз обеспечивается при минимальных затратах энергии. Для этого рассмотрим систему «барабан–нож» в произвольный момент времени с учетом угловых перемещений ножа. В этом случае система имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат положения барабана с ножом примем углы поворота барабана θ и ножа ψ .

При встрече с частями измельчаемых виноградных лоз нож, шарнирно закрепленный на барабане, преодолевая их сопротивление резанию, также изменяет свою скорость. Масса ножа значительно больше массы частей лозы, поэтому изменение его скорости незначительно. Тем не менее, множество раз встречаясь с измельчаемыми лозами, нож каждый раз несколько отклоняется в сторону, противоположную направлению вращения барабана, и вновь возвращается в первоначальное положение. Таким образом, при круговом движении вместе с барабаном нож совершает колебательные движения вокруг оси шарнира [7].

Параметры ножа, влияющие на частоту его колебаний, – его размеры и масса. Согласно результатам исследований Е. Вирвелькера, точка приложения восстанавливающей силы, определяющей колебания ножа, совпадает с центром его тяжести S [7].

Запишем уравнения для координат центра тяжести S ножа в абсолютном движении:

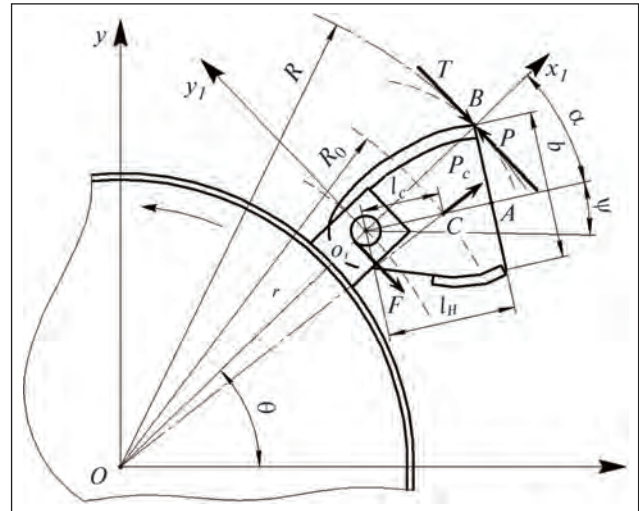


Рис. 2. Кинематическая схема измельчающего барабана с шарнирным креплением ножа: r – расстояние от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа, l_c – расстояние от оси вращения O_1 ножа до его центра тяжести S , θ – угол поворота барабана в неподвижной системе координат XOU , ψ – угол поворота ножа в неподвижной системе координат XOU , l_H – длина ножа, b – ширина ножа, T – сила сопротивления резанию виноградной лозы, F – силы трения в шарнире, P – окружное усилие, P_c – центробежная сила ножа, R_0 – радиус вращения центра тяжести ножа, R – радиус вращения ножа в точке приложения силы T .

$$\begin{aligned} x_c &= r \cos \theta + l_c \cos \psi, \\ y_c &= r \sin \theta + l_c \sin \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

где r – расстояние от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа, м;

l_c – расстояние от оси вращения O_1 ножа до его центра тяжести S , м;

θ – угол поворота барабана в неподвижной системе координат XOU , рад;

ψ – угол поворота ножа в неподвижной системе координат XOU , рад.

Дифференцируя уравнение (1) по времени, получим выражения для составляющих скорости $\dot{x}_c$ и $\dot{y}_c$ по координатам центра тяжести ножа:

$$\begin{aligned} \dot{x}_c &= -r\dot{\theta} \sin \theta - l_c\dot{\psi} \sin \psi, \\ \dot{y}_c &= r\dot{\theta} \cos \theta + l_c\dot{\psi} \cos \psi, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\dot{\theta}$ – угловая скорость барабана в неподвижной системе координат XOU , c^{-1} ;

$\dot{\psi}$ – угловая скорость ножа в неподвижной системе координат XOU , c^{-1} .

Скорость V_c центра тяжести ножа в неподвижной системе координат XOU можно рассчитать по выражению:

$$V_c = \sqrt{r^2\dot{\theta}^2 + l_c^2\dot{\psi}^2 + 2rl_c\dot{\theta}\dot{\psi} \cos(\theta - \psi)}, \quad (3)$$

где $(\theta - \psi)$ – угол отклонения ножа в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$, рад.

Отклонившись после перерезания лозы, нож без начальной скорости под действием центробежной силы начинает совершать свободные колебания относительно радиального положения. Рациональному по энергозатратам соответствует режим работы, при котором в начале следующего реза нож занимает радиальное положение и его относительное движение совпадает по направлению с вращением барабана.

Подставив в выражение (3) значения ψ и $\dot{\psi}$ при совпадении направления вращения барабана и ножа, получим следующую формулу для определения скорости центра тяжести ножа:

$$V_c = \sqrt{r^2 \dot{\theta}^2 + l_c^2 (\dot{\theta} + \dot{\alpha})^2 + 2rl_c \dot{\theta}(\dot{\theta} + \dot{\alpha}) \cos \alpha}, \quad (4)$$

где α – угол отклонения ножа от радиального положения, рад;

$\dot{\alpha}$ – угловая скорость ножа, с⁻¹.

С учетом формулы (4) скорость ножа в крайней точке его лезвия B (см. рис. 2) будет равна:

$$V_B = \sqrt{r^2 \dot{\theta}^2 + (l_n^2 + 0,25b^2) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\alpha})^2 + 2r\sqrt{l_n^2 + 0,25b^2} \cdot \dot{\theta}(\dot{\theta} + \dot{\alpha}) \cos \alpha}, \quad (5)$$

где l_n – длина ножа, м;

b – ширина ножа, м.

При $\alpha=0$ и $\dot{\alpha} \geq 0$ скорость ножа в точке B будет максимальной:

$$V_B = (r + \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\alpha}). \quad (6)$$

По формуле (6) можно определить максимальную линейную скорость точки B ножа с шарнирным креплением, при которой достигается наиболее рациональное использование динамики барабана при измельчении лозы, не требующее дополнительных энергозатрат со стороны привода.

Примем, что в начальный момент времени взаимодействия ножа с лозой угол его отклонения от радиального положения $\alpha=0$. Считая, что при перерезании лозы нож расходует свою кинетическую энергию, полностью теряя при этом скорость ($V_B=0$), найдем скорость поворота ножа относительно шарнира (точки O):

$$\dot{\alpha} = \frac{(r + \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2})}{\sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}} \quad (7)$$

Для измельчения виноградной лозы с минимальными энергозатратами скорость воздействия ножа на лозу должна быть такой, чтобы в начальный момент вызвать разрыв ее волокон по типу хрупкого разрушения, для которого характерны отсутствие пластических деформаций и небольшая разность между пределами текучести и прочности. В этом случае выражение для разрушающей скорости v_p при ударном воздействии ножа на лозу выглядит следующим образом:

$$v_p = 0,5k_y C_0 \operatorname{tg}^3(k_\delta \gamma_{cm}), \quad (8)$$

где k_y – коэффициент удара, равный соотношению скорости разрушения к критической скорости;

C_0 – скорость распространения упругих (продольных) волн деформации по лозе, м/с;

k_δ – коэффициент динамичности, равный отношению динамического угла излома к статическому углу излома;

γ_{cm} – статический угол излома, град.

Сопоставив выражения (6) и (8), получим условие малоэнергоемкого резания с ударом виноградной лозы шарнирно закрепленными ножами барабана измельчителя:

$$(r + \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\alpha}) \geq 0,5k_y C_0 \operatorname{tg}^3(k_\delta \gamma_{cm}). \quad (9)$$

По экспериментальным данным для одревесневшей виноградной лозы $C_0 = 1000$ м/с, $k_\delta = 2,75 \dots 3,1$. Измерения размерных характеристик обрезанных лоз в междурядьях виноградников показали, что их диаметр находится в пределах от 8,8 до 9,3 мм, которому соответствует значение статического угла излома $\gamma_{cm} = 6,7 \dots 8,4^\circ$, определенное по экспериментальным данным [8].

Принимая значение коэффициента удара для виноградной лозы $k_y = 1,3$, по формуле (8) расчетное значение разрушающей скорости $v_p = 24 \dots 51$ м/с (меньшие значения соответствуют большему диаметру лоз).

Расчеты по выражению (9) показывают, что для соблюдения условия малоэнергоемкого резания с ударом виноградной лозы барабаном измельчителя с шарнирно закрепленными ножами, длина ножа должна находиться в пределах $l_n = 0,15 \dots 0,18$ м.

Поворот ножа вокруг шарнира (точки O_1) происходит в том случае, когда момент M_T от действующей на него силы T сопротивления резанию виноградной лозы лезвием L ножа, выполненным по форме эксцентрической окружности, больше суммы моментов M_F от силы трения F и M_p от окружного усилия P :

$$M_T \geq M_F + M_p, \quad (10)$$

$$M_T = T \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}, \quad (11)$$

$$M_F = f P_c r = f \frac{J \dot{\theta}^2}{R_0} r, \quad (12)$$

$$M_p = P \cdot R = \frac{N}{\theta k}, \quad (13)$$

где f – коэффициент трения в шарнире ножа;

P_c – центробежная сила ножа, Н;

J – момент инерции ножа относительно оси шарнира, кг·м²;

R_0 – радиус вращения центра тяжести ножа, м;

R – радиус вращения ножа в точке приложения силы T , м;

N – мощность, передаваемая на барабан, Вт;

k – число ножей на барабане.

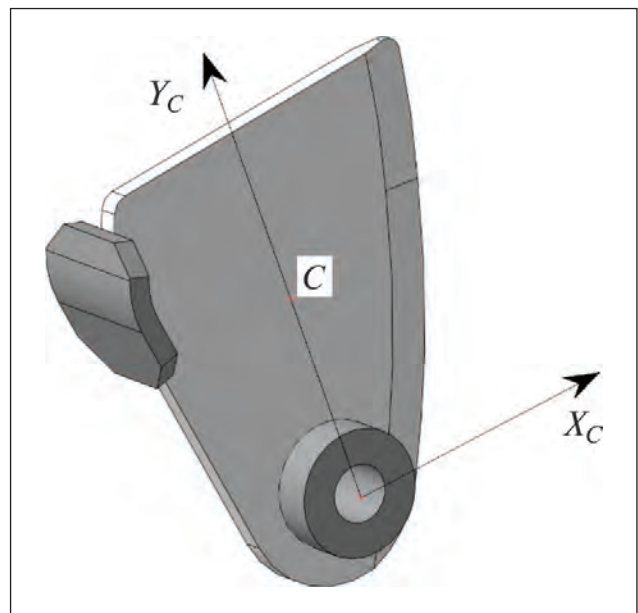


Рис. 3. 3D-модель измельчающего ножа.

Для нахождения координат X_C и Y_C центра тяжести C и момента инерции J измельчающего ножа была создана его 3D-модель в программе КОМПАС-3D (рис. 3).

Подставив выражения для моментов сил (11), (12) и (13) в неравенство (10) и допустив, что мощность, передаваемая на барабан, равномерно распределяется между его ножами, после преобразований получим выражение для силы сопротивления резанию T , вызывающей отклонение ножа в сторону, противоположную направлению вращения барабана:

$$T \geq \frac{1}{\sqrt{J_n^2 + 0,25b^2}} \left(f \frac{J\dot{\theta}^2}{R_0} r + \frac{N}{\dot{\theta}k} \right). \quad (14)$$

По результатам расчетов по выражению (14) построен график зависимости силы T от числа k ножей на барабане измельчителя (рис. 4), при анализе которого можно увидеть, что с увеличением числа k ножей в пределах конструктивной целесообразности с 28 до 42 сила сопротивления резанию T обрезков виноградных лоз снижается с 94,7 Н до 79,8 Н. Для оптимизации процесса измельчения установлено среднее значение силы сопротивления резанию $T = 87 \dots 89$ Н, число ножей на барабане измельчителя в таком случае должно быть $k = 32 \dots 34$. Для дальнейших исследований было принято значение T не более 89 Н, которому соответствует $k \geq 32$.

По приведенному графику (см. рис. 4) можно опре-

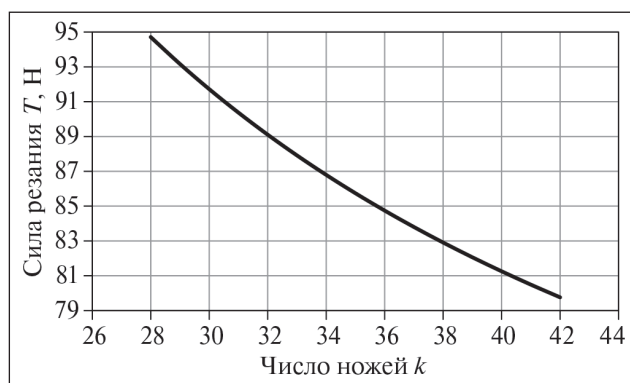


Рис. 4. График зависимости силы сопротивления резанию T от числа ножей k на барабане измельчителя.

делить оптимальное число ножей на барабане измельчителя, при котором они будут измельчать виноградные лозы, удовлетворяя условиям минимальной энергоёмкости процесса.

Выражение для кинетической энергии E_K вращающегося на барабане ножа имеет вид:

$$E_K = \frac{J_H \dot{\theta}^2}{2}, \quad (15)$$

где J_H – момент инерции ножа относительно оси вращения барабана измельчителя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент инерции J_H ножа найдем по теореме Гюйгенса-Штейнера:

$$J_H = J + mr^2, \quad (16)$$

где m – масса ножа, кг .

В результате расчетов с использованием выражений (15) и (16) построен график зависимости кинетической энергии E_K вращающегося на барабане ножа от расстояния r от оси вращения O барабана до оси вращения O_1

ножа (рис. 5), согласно которому с увеличением расстояния r от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа в пределах конструктивной целесообразности с 0,05 м до 0,1 м кинетическая энергия ножа возрастает на 109 Дж.

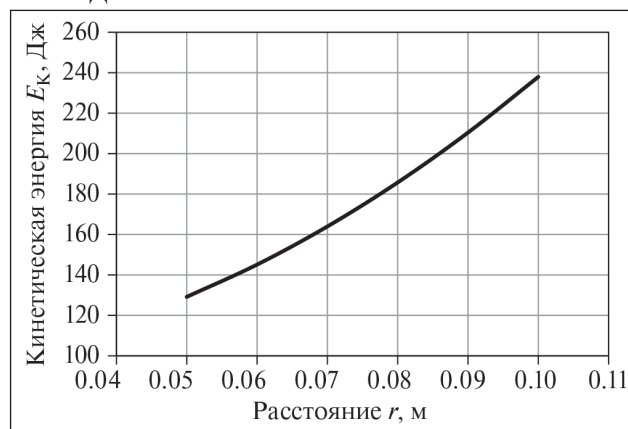


Рис. 5. График зависимости кинетической энергии E_K ножа от расстояния r .

Максимальная величина показателя работы разрушения резанием с ударом виноградной лозы диаметром 9,3 мм, определенное опытами на маятниковом копре, составляет $A = 12,7$ Дж [8]. Считая, что при перерезании лозы вся кинетическая энергия E_K ножа затрачивается на работу разрушения A , можно определить, что при расстоянии от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа $r = 0,05$ м он может осуществлять до 10 перерезаний лозы диаметром 9,3 мм за один оборот барабана, а при $r = 0,1$ м – до 18 перерезаний (см. рис. 5).

В полевых испытаниях подборщика-измельчителя виноградной лозы были установлены следующие конструктивные параметры: радиус барабана ($R = 0,52$ м), масса молотка ($m = 0,5$ кг), длина молотка ($L = 0,10$ м), количество молотков ($k = 32$ шт.), количество противорезающих решеток (2 шт.), ширина захвата барабана (1,5 м).

Анализ результатов статистической оценки качества измельчения виноградной лозы показывает, что 90 % ее обрезков имеет длину от 4,5 см до 9,5 см, а среднеарифметическая величина этого показателя составила 7,8 см (рис. 6). Это соответствует параметрам карты требований к машине для подбора и измельчения обрезков лозы в междурядьях (табл. 1).

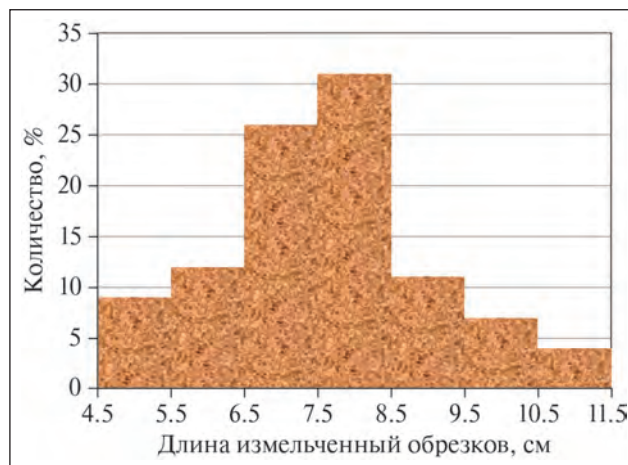


Рис. 6. Гистограмма распределения длины измельченных обрезков лозы.

Табл. 2. Показатели работы подборщика измельчителя виноградной лозы

Наименование	Значение
Частота оборотов вала подборщика	400 об/мин
Частота оборотов барабана измельчителя	2100 об/мин
Длина молотковидного ножа с лезвием по форме эксцентрической окружности, закрепленного шарнирно на барабане	0,15...0,18 м
Рекомендуемая скорость движения агрегата	4,3 км/ч
Производительность машины	1 га/ч
Энергоемкость технологического процесса, кВтЧ	57,8
Полнота подбора	95 %
Средняя длина измельченных обрезков	8,0 см
Технологический просвет для билл подборщика	30...60 мм
Технологический просвет для ножей измельчителя	150...200 мм

В ходе экспериментальных исследований макетного образца подборщика-измельчителя виноградной лозы в условиях ООО «Кроненталь» установлено, что средняя длина измельченных обрезков в междурядьях шириной 3 м составила 80 мм при полноте подбора лозы 95 %. При отработке режимных технико-технологических параметров (табл. 2) макетного образца машины, благодаря форме режущих элементов ножей, противорезов и серповидных пилонов установлено снижение энергоемкости процесса измельчения в 1,1 раза, по сравнению с ранее разработанными требованиями (см. табл. 1).

Кроме того, благодаря использованию в измельчающем устройстве лопаток с цилиндрической формой поверхности, увеличивающих пропускную способность машины, ее производительность увеличилась в 1,4 раза.

Выводы. В результате теоретических исследований процесса измельчения виноградной лозы подборщиком-измельчителем установлена длина молотковидного ножа ($l_n = 0,15...0,18$ м) с лезвием по форме эксцентрической окружности, закрепленного шарнирно на барабане, обеспечивающего измельчение обрезков виноградной лозы с ударом, что снижает энергоемкость технологической операции.

Рациональное число ножей на барабане исследуемого экспериментального образца измельчителя, при котором обеспечивается условие минимальной энергоемкости процесса измельчения виноградных лоз, по результатам теоретических расчетов $k \geq 32$. Установлена зависимость кинетической энергии ножа от расстояния от оси вращения барабана до оси вращения ножа, которую целесообразно использовать при выборе режимов работы измельчающего узла подборщика-измельчителя виноградной лозы.

В производственных испытаниях макетного образца подборщика-измельчителя подготовленного к работе с учетом установленных технических и режимных параметров узла были получены результаты, удовлетворяющие агротехническим требованиям: средняя длина измельченных обрезков в междурядьях шириной 3 м – 80 мм, полнота подбора лозы – 95 %.

Производительность машины увеличилась в 1,4 раза, а энергоемкость процесса измельчения снизилась в 1,1 раза.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского национального научно-исследовательского института виноградарства и виноделия «Магарах» РАН.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Алхудов Т. М., Анажеев А. К., Шекихачев Ю. А. Математическое моделирование процесса измельчения плодовых ветвей роторным измельчителем // *Техника и оборудование для села*. 2019. № 9(267). С. 21–24. doi: 10.33267/2072-9642-2019-9-21-24.
2. Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С. Теоретические исследования измельчителя стебельчатых кормов // *Инженерные технологии и системы*. 2021. Том 31, № 4. С. 591–608.
3. Гулевский В. А., Вертий А. А. Усовершенствование технологии измельчения грубых стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. № 1. С. 73–81. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.1.73.
4. Гулевский В. А., Вертий А. А. Математическое моделирование работы измельчителя кормов // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018. № 3. С. 120–128. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.120.
5. Скориков Н. А., Бейбулатов М. Р., Мишунова Л. А. Эколого-экономические и агрономические аспекты утилизации обрезков виноградной лозы // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Экономика и управление*. 2016. Т. 2(68). № 2. С. 123–131.
6. Модернизация подборщика-измельчителя виноградной лозы / В. П. Горобей, С. С. Старчиков, Н. А. Скориков и др. // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2022. № 29 (192). С. 147–158.
7. Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 311 с.
8. Бейбулатов М. Р., Скориков Н. А., Соболевский И. В. Характеристика и физико-механические свойства виноградной лозы // *Виноградарство и виноделие. Сб. научн. тр. НИИВиВ «Магарах»*. 2007. № 37. С. 55–59.

Поступила в редакцию 10.02.2025

После доработки 03.04.2025

Принята к публикации 27.04.2025

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТИМУЛЯЦИИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ЗЕРНА СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕМ

© 2025 г. **Е. А. Четвериков**, кандидат технических наук, **А. Г. Арженовский**, доктор технических наук, **Е. А. Шабаетов**, кандидат технических наук, **В. Н. Беленов**, кандидат технических наук

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: e.chetverikov@rgau-msha.ru

Исследования проводили с целью определения возможности снижения общей энергоёмкости процесса конвективной сушки товарного зерна на промышленных установках шахтного и барабанного типов производительностью от 2 до 50 т/ч по готовому продукту за счёт применения малых доз микроволновой энергии, действующей на продукт перед засыпкой в сушильную камеру зерносушилок. Эксперименты выполняли в 2024 г. в ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева». Объектом исследования служила экспериментальная установка сушки с последовательным действием на продукт микроволнового излучения и конвективной тепловой энергии. Критерием энергоэффективности служило потребление энергии за единицу времени. В качестве продукта использовали семена пшеницы и ржи разной толщиной слоя в лотках «прозрачных» для микроволновой и конвективной тепловой энергии. Лотки располагались на цепном транспортере и перемещались посредством электропривода последовательно через камеру микроволнового нагрева на базе желобкового волновода, в который с двух сторон подавалась СВЧ-энергия от двух магнетронных источников, работающих в импульсном режиме в противофазе. После этого лотки перемещались в камеру конвективного обдува, где на продукт снизу подавался тёплый воздух, имитируя режим конвективной сушки на промышленных установках. В первой серии экспериментов продукт массой 3 кг, влажностью 28...32% и толщиной слоя 4 см помещался только в камеру конвективного обдува, где высушивался до 12%, что соответствует ГОСТу на хранение зерна. Влажность зерна определялась термобарометрическим способом. Для определения энергозатрат на сушку была проведена серия экспериментов. В ходе них была установлена мощность калорифера, которая составила 5 кВт. Затем были определены время сушки и энергоёмкость процесса, которая составила от 8,5 до 9,5 кВт в час на килограмм испаряемой влаги. В следующей серии экспериментов на аналогичную навеску зерна воздействовали сначала микроволновым излучением на уровне 1...5% от конвективной тепловой энергии. Затем лоток с продуктом перемещался на транспортере в камеру конвективного обдува, где происходило досушивание до 12% влажности зерна. На основе построенных зависимостей снижения массы продукта за время сушки рассчитывалась суммарная энергоёмкость, которая составила при добавлении 1% СВЧ-мощности от тепловой в процесс сушки, от 6,8 до 7,8 кВт·ч/кг по испаренной влаге и при 5% – от 6,2 до 7,0 кВт·ч/кг. Таким образом, в среднем снижение энергопотребления составило 19...27%. Выявленный эффект при добавлении малых доз микроволновой энергии в процесс сушки зерна свидетельствует о перспективности использования малоинтенсивного микроволнового излучения на установках промышленной сушки зерна.

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE STIMULATION PARAMETERS OF THE GRAIN CONVECTIVE DRYING BY RF-RADIATION

E. A. Chetverikov, A. G. Arzhenovsky, E. A. Shabaev, V. N. Belenov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127434, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: e.chetverikov@rgau-msha.ru

The target of the study was to determine the possibility of reducing the general energy intensity of convective grain drying in industrial installations, such as mine and drum dryers, with a capacity ranging from 2 to 50 tonnes per hour, by using small amounts of microwave energy before filling the product into the drying chamber. The experiments were performed in 2024 at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The subject of the research was an experimental unit that combined the effects of microwave radiation and convective heat on the product, with the criterion for energy efficiency being energy consumption per unit time. Wheat and rye seeds with different thicknesses were used as products, placed in "transparent" containers for both microwave and convection drying. The trays were placed on a conveyor belt and moved through a microwave chamber using an electric motor. The microwave energy was supplied to the chamber from two sides, from two magnetron sources that operated in pulsed mode and in antiphase. After passing through the microwave chamber, the trays moved to a convection drying chamber, where warm air was blown onto the product from below. This process simulated the convective drying process used in industrial drying facilities. In the first set of experiments, we used a product with a weight of 3 kg and a humidity range of 28–32%. The product was placed in the convection drying chamber and dried to a moisture content of 12%. This moisture content corresponds to the requirements for grain storage according to GOST. To determine the energy consumption for drying, we conducted a series of experiments. During these experiments, we adjusted the power of the heating element, which was set at 5 kW. Then, the drying time and energy intensity of the process were determined. The results ranged from 8.5 to 9.5 kWh per hour per kilogram of moisture evaporated. In a subsequent series of experiments, the same amount of grain was first exposed to microwave radiation at a level of 1–5% convective heat energy. The tray with the product was then moved on a conveyor belt to a convective drying chamber, where it was dried to a moisture content of 12%. Based on the calculated weight reduction of the product during drying, total energy consumption ranged from 6.8 to 7.8 kWh per kilogram of moisture evaporation when adding 1% microwave power to the drying process. This value ranged from 6.2 to 7.0 kWh at 5%, resulting in an average reduction in energy use of 19–27%. These findings indicate the potential for using low-intensity microwave radiation in industrial grain dryers.

Ключевые слова: СВЧ-нагрев, магнетронный генератор, конвективная сушка, комбинированная сушка, желобковый волновод, сушка зерна.

Keywords: microwave heating, magnetron generator, convective drying, combined drying, grooved waveguide, grain drying.

Установки промышленной сушки товарного зерна имеют широкое применение на объектах АПК [1, 2, 3]. Преимущественно их работа основана на получении сушильного агента путем сжигания углеводородного сырья и последующего направленного обдува продукта теплым воздухом. Существенными недостатками такого способа являются достаточно высокая энергоемкость процесса сушки, неравномерность сушки по объему зерновой массы и по сечению зерновки, а также низкая экологичность [4, 5, 6].

Если рассмотреть физику процесса сушки на уровне зерновки, то скорость обезвоживания и энергоемкость процесса будут обусловлены направлениями градиентов ($\text{grad } \theta$ и $\text{grad } w$) температурного поля и влагопереноса (рис. 1а). Для конвективной сушки эти градиенты направлены навстречу друг другу, что приводит к пересыханию внешних слоев семени и создает препятствие для проникновения энергии (Q_k) сушильного агента к внутреннему объему семени [7, 8]. В результате при малых значениях влажности энергоемкость (R) процесса сушки резко возрастает, а скорость сушки (dm/dt) снижается (рис. 1 б).

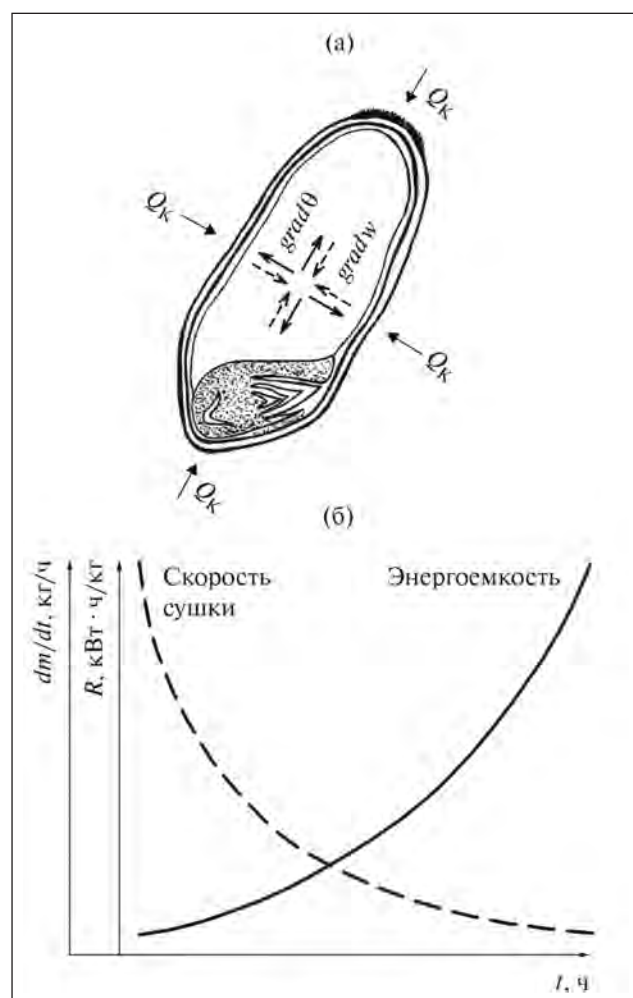


Рис. 1. Конвективная сушка зерна: а – схема конвективного воздействия на зерно; б – изменения скорости и энергоемкости процесса.

В связи с этим необходим поиск способа извлечения влаги, имеющего мало меняющиеся параметры сушки во всем диапазоне влажности продукта. На основании проведенного анализа был выбран микроволновый нагрев, обладающий рядом преимуществ по сравнению с конвективным [9–11]. Энергия микроволнового поля действует в местах сосредоточения связанной влаги внутри семени, и за счет капиллярных явлений влага перемещается к внешним слоям семени. При таком механизме нагрева внешний слой остается всегда влажным, что способствует эффективному испарению влаги в окружающую среду. Очевидно, что при этом градиент температурного поля станет значительно меньшим по модулю по сравнению с конвективным методом, а возможно, поменяет направление и станет сонаправленным с градиентом влагопереноса.

Однако для генерации микроволновой мощности требуется большое количество электроэнергии. Обеспечить электроснабжение СВЧ-установок для сушки зерна в условиях сельскохозяйственного производства представляется трудновыполнимой задачей. Смоделируем процесс промышленной СВЧ-сушки зерна. Возьмем шахтную зерносушилку производительностью 50 т/ч и будем полагать, что начальная влажность зерна до сушки составляла 25 %. За один проход зерна через установку сушки зерно приобретает влажность 14 %, что соответствует ГОСТу на хранение. Энергоемкость процесса условно возьмем по среднему показателю для процессов конвективного обезвоживания – 2,5 кВт·ч/кг по влаге, которую надо удалить. Соответственно, ее масса будет составлять 5500 кг и для реализации процесса СВЧ-сушки потребуется электрическая мощность 10...12 МВт, что является неприемлемой величиной для сельскохозяйственного производства, где трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ рассчитаны на мощность до 1 МВт, кроме того, от них запитаны и другие потребители. В связи с этим обеспечить сушильный процесс за счет энергии микроволнового поля представляется невыполнимой задачей. Кроме того, генераторы микроволновой энергии такой мощности не выпускаются серийно, работают в импульсном режиме и крайне дороги в производстве и обслуживании [12, 13].

На основании теоретических исследований перспективным представляется механизм интеграции в процесс конвективной сушки небольших доз микроволновой энергии – насколько позволяло условия местного электроснабжения – с целью создания градиента температурного поля необходимой направленности внутри семени. Такой способ относительно легко реализуем, так как можно использовать необходимое количество бытовых источников СВЧ-мощности магнетронного типа. Они выпускаются серийно, имеют невысокую стоимость и в зависимости от производительности зерносушилки могут комплектоваться до требуемых уровней энергии.

Организация комбинированного процесса сушки очевидно может осуществляться двумя способами: параллельно, то есть и конвективная и микроволновая энергия действуют на продукт одновременно и последовательно – на продукт сначала действует микроволновое излучение, создавая требуемый градиент температурного поля, а затем происходит досушивание посредством конвективного обдува. Второй способ,

по-видимому, более предпочтительный, поскольку встроить источники микроволновой мощности в типовые сушильные камеры конвективных установок трудноосуществимо ввиду большого количества металлических конструкций внутри [14, 15].

Проведенные предварительные расчеты показывают, что при такой конфигурации сушильного процесса количество потребляемой электроэнергии должно быть в 15...20 раз ниже, чем в случае чисто микроволновой суши. Это делает внедрение в сушильный процесс на установках конвективной суши средств генерации микроволновой энергии перспективной задачей с целью снижения потребления энергоносителей, повышения качества сушки зерна и экологичности сушильного процесса.

Цель исследования – снижение энергоемкости процесса промышленной сушки зерна, которая сопро-

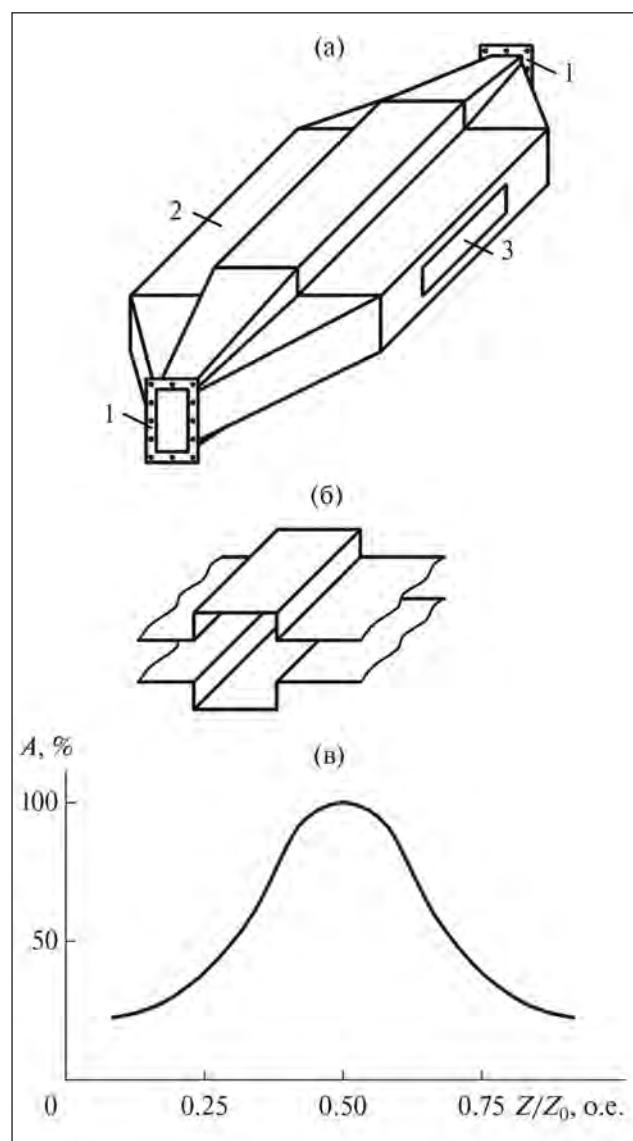


Рис. 2. Электродинамическая система для нагрева зерна микроволновым полем: а – секция суши на основе желобкового волновода (1 – фланцы с внутренним сечением 90×45 мм для подсоединения магнетронных источников, 2 – желобковый волновод, 3 – отверстие для размещения сушеного продукта); б – профиль желобкового волновода; в – распределение поля по сечению желобкового волновода.

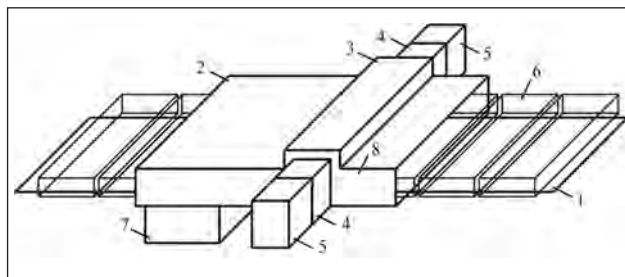


Рис. 3. Технологическая схема экспериментальной установки для комбинированной сушки зерна: 1 – транспортер; 2 – камера конвективного обдува; 3 – сушильная камера на базе желобкового волновода; 4 – ослабитель; 5 – магнетрон; 6 – лотки с зерном; 7 – калорифер; 8 – камера поглощения.

вождается снижением потребления углеводородных носителей энергии.

Методика. Принципиальная возможность достижения поставленной цели обусловлена тем, что с физической точки зрения применяемая повсеместно конвективная сушка зерна нерациональна по удельным энергозатратам. Для процесса сушки в пределах диапазона влажностей от 28 до 14 % характерны ограничения по тепло- и влагопроводности зерновки, приводящие к 12...15-кратному превышению величины энергозатрат над физическим пределом – 0,73 кВт·ч/кг [1, 2].

Лабораторная установка сушки комбинированного типа состояла из секции для подачи энергии СВЧ-поля (рис. 2а). Профиль секции был выбран желобкового типа с целью максимально равномерного распределения электромагнитного поля внутри секции. Кроме того, это давало возможность пропустить через секцию металлическую цепь транспортера, проходящего по низу отверстия подачи продукта. Как распределяется поле внутри сушильной камеры, показано на рис. 2в, а сам профиль секции – на рис. 2б. На краях секции расположен специальный раструб с фланцами для присоединения магнетронных источников с двух сторон и перехода волновода сечением 45×90 мм на 450×900 мм. Через желобковый волновод посредством цепного транспортера перемещался сушимый продукт, располагающийся на лотках «прозрачных» для микроволнового поля и открытый для проникновения потоков теплого воздуха. Цепной транспортер проходил через камеру в том месте, где поле отсутствовало, – ввиду конструктивных особенностей (рис. 3). После облучения микроволновым полем в желобковом волноводе продукт на лотках, посредством цепного транспортера, перемещался в секцию конвективного обдува, где за счет мощного калорифера происходило конвективное досушивание.

При постановке эксперимента были использованы типовые магнетронные генераторы СВЧ-энергии мощностью 600...700 Вт и частотой генерации микроволнового поля 2,45 ГГц. Такая частота кратна собственной частоте колебаний диполей связанной влаги, поэтому достаточно легко входит в резонанс кратных по частоте гармоник и способствует эффективному поглощению энергии поля продуктом сушки. Поскольку при проведении эксперимента требовалось плавное изменение СВЧ-мощности, подаваемой в камеру сушки, были использованы ослабители микроволновой энергии, представляющие пластинчатые аттенюаторы, встроенные в стандартные волноводящие системы прямоугольного сечения 90×45 мм. Посредством пано-

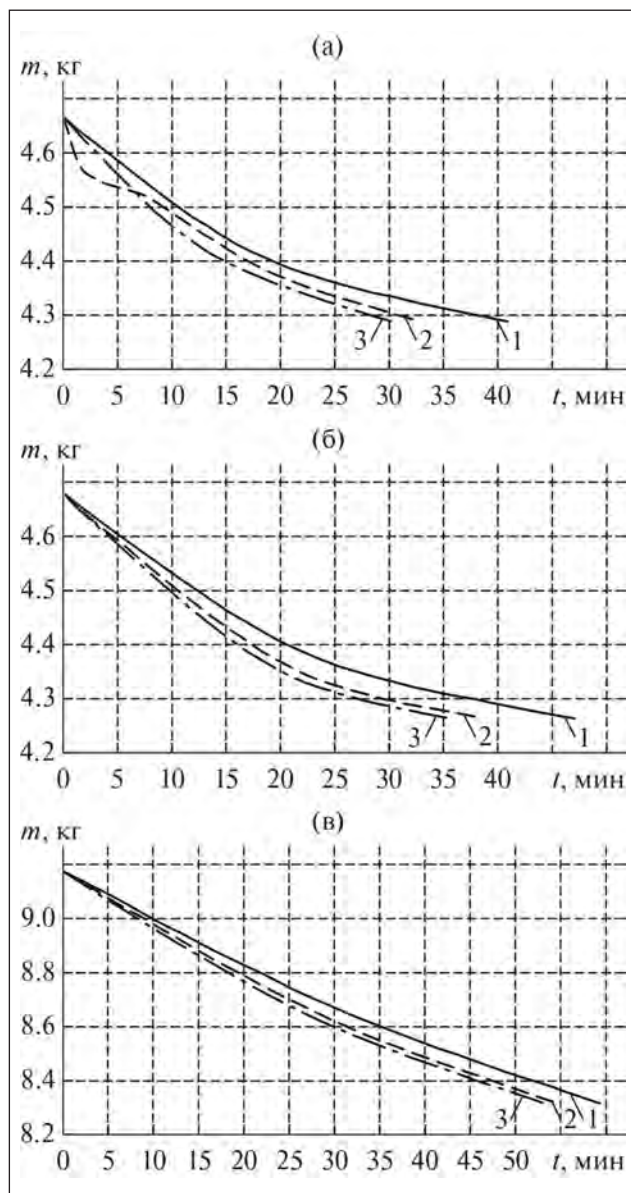


Рис. 4. Экспериментальные зависимости массы продукта m от времени сушки t при воздействии на него только теплового конвекционного потока (1), с добавлением 1% СВЧ-энергии (2), с добавлением 5% СВЧ-энергии (3): а – рожь ($m = 3$ кг); б – пшеница ($m = 3$ кг); в – пшеница ($m = 7$ кг с перемешиванием).

рамного измерителя коэффициента стоячей волны были выявлены положения гасящих поле пластин для последующего подвода энергии СВЧ-поля в сушильную камеру, где можно было регулировать затухание СВЧ-мощности на величину от 8 до 15 дБ. Тогда мощность от одного источника может варьироваться от 20 до 100 Вт. При подаче энергии с двух сторон – соответственно 40 и 200 Вт. Теперь стало возможным изменять в требуемом диапазоне соотношение СВЧ и конвективной мощности так, как этого требует эксперимент 1...5%.

В качестве варьировемого диэлектрического заполнения поглощающей СВЧ-поле нагрузки использовался набор металлических пластин, расположенных торцом к фронту волны, устанавливаемых в исходном положении в минимуме высокочастотного поля, то есть у боковой стенки волновода прямоугольного сечения.

Механически они перемещались в направлении нарастания поля, при этом каждому определенному положению нагрузок соответствовала своя определенная величина затухания, а следовательно, и мощность выходящего из него потока СВЧ-энергии, поступающей далее в секцию микроволнового нагрева экспериментальной установки.

Сушимый продукт – зерно пшеницы с исходной влажностью 26...28% и массой 3 кг – располагался равномерным слоем на лотке, «прозрачном» для СВЧ-мощности, а также свободно продуваемый потоком теплого воздуха в направлении снизу вверх. Начальная влажность зерна определялась термогравиметрическим методом (ГОСТ Р 8.633-2007), после чего исходя из отделения массовой доли влаги определялась конечная влажность и влажность на разных этапах сушки. Для контроля температуры продукта сушки внутри слоя зерна располагался датчик – термopapa, соединенная с цифровым мультиметром. Продукт мог перемещаться на цепном транспортере посредством электропривода и имитировать различные режимы сушки – от чисто конвективного до комбинированного с различной дозой облучения микроволновым полем.

Исследование по сушке зерновой продукции проводилось двумя сериями экспериментов. В начале эксперимента сушка осуществлялась исключительно конвективным методом. Это значит, что продукт подвергался воздействию мощного потока теплого воздуха, который поступал из специального нагревательного элемента мощностью 5 кВт. Периодичность контроля массы продукта составляла 2,5 минуты. Лоток с продуктом взвешивался на весах, и по результатам измерений строился график зависимости массы продукта от времени сушки. Эксперимент продолжался до тех пор, пока влажность зерна не достигала примерно 12%, что соответствует стандарту хранения зерна. Во второй серии экспериментов на аналогичный образец зерновой навески с влажностью 25...28% и массой 3 кг воздействовали тепловым потоком, аналогичным по параметрам, и СВЧ-излучением. Мощность излучения регулировалась с помощью ослабителей в диапазоне от 5 до 1% относительно мощности нагревательного элемента.

Для каждого уровня СВЧ-излучения 5 и 1%, воздействующего на зерно вместе с конвективным тепловым потоком, проводились измерения, аналогичные тем, что были сделаны на первом этапе. Результаты опытов представлены на рис. 4.

Зависимость снижения массы (m) сушеного продукта при воздействии 2% микроволновой энергии от тепловой на рис. 4 не представлена, так как она практически повторяет зависимость для 1% воздействия. Аналогичные эксперименты были проведены с рожью и с пшеницей массой 7 кг (рис. 4в). В процессе взвешивания продукт перемешивали. Это было необходимо, чтобы создать условия сушки, схожие с теми, которые используются в промышленных конвективных зерносушилках – в шахтных сушилах зерно проходит между коробов, расположенных в шахтном порядке, а в барабанных перемешивается ввиду вращения барабана.

Результаты и обсуждение. Так как целью исследования было выявление возможности снижения энергоемкости по сравнению с конвективной сушкой, то наглядно результаты были представлены в виде зависимостей снижения массы продукта от времени сушки. Были проведены эксперименты для зерен пшеницы и ржи с начальной массой 3 кг и толщиной слоя 4 см. При этом продукт располагался на лотке непод-

вижно. При проведении эксперимента для зерен пшеницы массой 7 кг и соответственно слоем 12 см во время взвешивания продукта происходило его перемешивание для улучшения условий тепло- и влагообмена. Каждая серия экспериментов соответствовала определенному режиму сушки, который реализуется на промышленных зерносушилках. Результаты, представленные на рис. 4, были использованы для определения энергозатрат при сушке зерна в заданном диапазоне влажности. Для этого была применена методика, описанная ниже. Сначала определялась влажность зерна (w) в процентах. Затем рассчитывалась масса сухого остатка (m_c) в составе исходной массы (m_0) экспериментального слоя зерна:

$$m_c = \frac{100m_0}{100 + w} \quad (1)$$

Массы в начале (m_{20}) и в конце (m_{12}) процесса уменьшения содержания влаги в зерне, соответствующие значениям влажности 20% и 12%, были рассчитаны с помощью следующих формул:

$$m_{20} = \frac{120m_0}{100 + w}; \quad (2)$$

$$m_{12} = \frac{112m_0}{100 + w}. \quad (3)$$

Далее по кривой убывания влажности определялись значения времени t_{12} (соответствующее значению массы m_{12}) и t_{20} (соответствующее значению массы m_{20}) и общее время прохождения указанного интервала влажностей:

$$\Delta t = t_{12} - t_{20}. \quad (4)$$

После этого можно определить суммарные затраты энергии:

$$R_{\Sigma} = \frac{(P_k + P_{\text{СВЧ}}) \Delta t}{m_{20} - m_{12}}, \quad (5)$$

где P_k – мощность калорифера; $P_{\text{СВЧ}}$ – суммарная мощность двух магнетронных источников.

Представим экспериментальные результаты с помощью зависимости энергозатрат R_{Σ} от доли энергии, получаемой от СВЧ-излучения $P_{\text{СВЧ}}/P_k$ (рис. 5).

В случае начальной массы продукта 3 кг без перемешивания выявлено существенное уменьшение затрат энергии при добавке в процесс конвективной сушки доз микроволновой энергии на уровне 1...5% от тепловой. Если дальше продолжать увеличивать долю микроволновой энергии, то динамика уменьшения потребления энергии снизится ввиду увеличивающегося потребления электрической энергии.

С целью детального изучения динамики процесса снижения энергопотребления при добавлении в процесс конвективной сушки малых доз микроволновой энергии были построены зависимости:

$$\frac{dR_{\Sigma}}{d(P_{\text{СВЧ}}/P_k)} = f\left(\frac{P_{\text{СВЧ}}}{P_k}\right). \quad (6)$$

Из анализа результатов исследования, представленных графически, установлено, что при малых дозах энергии СВЧ от 1 до 5% от тепловой она формирует

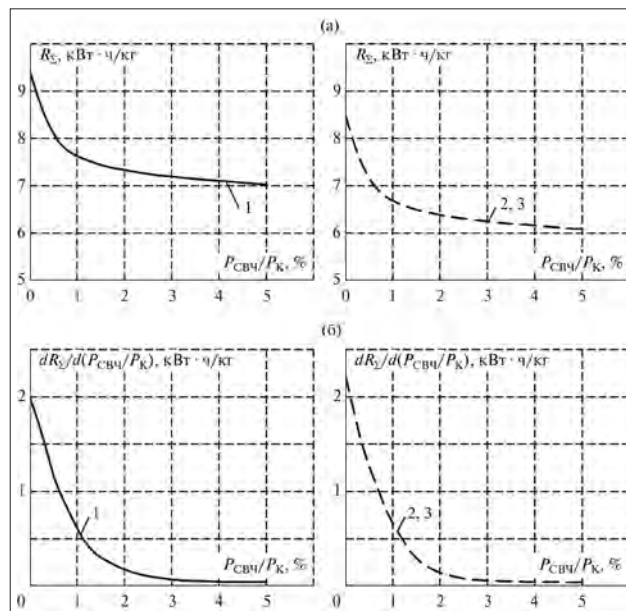


Рис. 5. Зависимости общей энергоёмкости R_{Σ} от доли СВЧ-энергии (а) и ее первой производной $R_{\Sigma}/d(P_{\text{СВЧ}}/P_k)$ (б) от величины соотношения $P_{\text{СВЧ}}/P_k$: 1 – розь (т = 3 кг); 2 – пшеница (т = 3 кг); 3 – пшеница (т = 7 кг с перемешиванием).

существенное влияние на повышение скорости сушки, а следовательно, и на снижение энергозатрат.

Замедление динамики сушки и снижения потребления энергии при увеличении дозы микроволновой энергии, возможно, объясняется тем, что при близких по воздействию на влагообмен, но противоположных по направлению градиентах температурного поля и массопереноса небольшое изменение термоградиента за счет СВЧ-воздействия приводит к существенному повышению скорости влагопереноса.

В условиях, когда температурные градиенты, формируемые конвективными процессами, становятся соизмеримыми или даже меньшими по величине с градиентами, генерируемыми микроволновым излучением, эффективность снижения энергозатрат при конвективном обезвоживании начинает существенно снижаться с увеличением модуля данного градиента. Это явление обусловлено тем, что при достижении определенного уровня температурного градиента конвективные механизмы теряют свою доминирующую роль в процессе теплопередачи, уступая место более равномерному распределению тепла, характерному для микроволнового воздействия. В результате дальнейшего повышения интенсивности микроволнового излучения не приводит к пропорциональному увеличению эффективности обезвоживания, что требует более детального анализа и оптимизации параметров процесса для достижения максимальной энергоэффективности.

Выводы. В результате исследований установлено, что использование низкоинтенсивного электромагнитного поля СВЧ-диапазона для конвективной сушки зерновой продукции ведет к снижению энергопотребления, затраченного на процесс обезвоживания, за счет изменения величины и знака градиента температурного поля внутри зерновки. При воздействии на сушимый продукт только конвективной тепловой энергии энергоёмкость процесса сушки составляла от 8,5 до 9,5 кВт, что соответствует величине для типовых промышленных зерносушильных агрега-

тов. При добавлении 1 % СВЧ мощности от тепловой в процесс сушки, энергоёмкость снижается до значений 6,8...7,8 кВт·ч/кг по испаренной влаге, а и при 5 % – от 6,2 до 7,0 кВт·ч/кг. Таким образом, в среднем снижение энергопотребления составило 19...27 %. Выявленный эффект при добавлении малых доз микроволновой энергии в процесс сушки зерна свидетельствует о перспективности использования мало-мощного микроволнового излучения на установках промышленной сушки зерна.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института (учреждения, организации). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. *Improving the efficiency of convective grain drying by using low-intensity RF radiation* / A. V. Volgin, V. A. Kargin, E. A. Chetverikov, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 954. 012017. URL: (дата обращения: 03.02.2025). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/954/1/012017>. doi: 10.1088/1755-1315/954/1/012017.
2. Четвериков Е. А., Лягина Л. А., Моисеев А. П. *Микроволновое и инфракрасное излучение в технологиях сушки продукции растительного происхождения: монография*. Саратов: Амрита, 2016. 186 с.
3. *Математическая модель процесса комбинированной сушки товарного зерна в установках конвейерного типа* / Е. А. Четвериков, К. М. Усанов, А. В. Волгин и др. // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 12. С. 171–176.
4. *Технологическое обоснование сушки зерна азированием* / И. Н. Аммосов, Ю. Ж. Дондоков, В. М. Дринча и др. // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2024. № 6 (78). С. 399–412. doi: 10.32786/2071-9485-2024-06-44.
5. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. *Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. № 4. С. 4–12.
6. Будников Д. А. Система управления экспериментальной установкой электрофизического воздействия на зерно // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17. № 2 (66). С. 59–67. doi: 10.12737/2073-0462-2022-57-63.
7. Дринча В. М., Ценч Ю. С. *Эволюция зерно-семяочистительной техники в России. Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. № 1. С. 24–33.
8. Загоруйко М. Г., Башмаков И. А. Интенсификация теплообмена в каналах подачи агента сушки // *Аграрный научный журнал*. 2024. № 7. С. 105–109. doi: 10.28983/asj.y2024i7pp105-109.
9. Васильев А. А., Тихомиров Д. А., Васильев А. Н. Исследование на компьютерной модели влияния элементов конструкции и влажности зерна на добротность СВЧ-конвективной зоны // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26. № 1. С. 73–79. doi: 10.26897/2687-1149-2024-1-73-79.
10. Щетинин М. П., Урманов А. И. Моделирование и математическая обработка результатов опытов по сушке семян рапса // *Ползуновский вестник*. 2023. № 2. С. 131–135. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.017.
11. Исаев А. В., Бастрон А. В., Яхонтова В. С. Исследование влияния степени неравномерности нагрева семян рапса в ЭМП СВЧ на их энергию прорастания и всхожесть // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2016. № 4. С. 131–137.
12. Разработка мобильной зерносушилки и обоснование ее конструктивно-режимных параметров / Д. Ю. Данилов, С. С. Казаков, Е. А. Криштанов и др. // *Аграрная наука*. 2022. № 11. С. 122–127. doi: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-122-127.
13. Особенности процесса сушки зерна пшеницы в элементарном слое / Г. В. Карпенко, В. И. Курдюмов, А. А. Павлушин и др. // *Пермский аграрный вестник*. 2021. № 4(36). С. 4–13. doi: 10.47737/2307-2873_2021_36_4.
14. Голубкович А. В., Павлов С. А. Оптимизация сушки зерна при осциллирующем режиме // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. № 1. С. 10–13.
15. Drincha V. M., Tsench Yu. S. *Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation*. // *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Т. 14. № 4. С. 17–25.

Поступила в редакцию 21.04.2025

После доработки 10.05.2025

Принята к публикации 03.06.2025

Хранение и переработка

УДК 663.53

DOI 10.31857/S2500262725030116 EDN FESNDL

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУСЛА ИЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И ЖМЫХА ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ НА ПРОЦЕССЫ МЕТАБОЛИЗМА ДРОЖЖЕЙ И СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ

© 2025 г. **Е. М. Серба**, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, **Е. Р. Крючкова**, аспирант, **Л. В. Римарева**, доктор технических наук, академик РАН, **Н. И. Игнатова**, **М. Б. Оверченко**, кандидат технических наук, **Е. Н. Соколова**, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии –
филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи,
111033, Москва, Самокатная ул., 4б
E-mail: serbae@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью расширения ассортимента конкурентоспособных спиртных напитков, обладающих оригинальными органолептическими свойствами и обеспечивающих эффективное импортозамещение. Полученные ранее результаты по применению жмыха черной смородины в технологии приготовления зерно-фруктового сусла выявили сложности совместной переработки сырьевых составляющих и показали необходимость их раздельной подготовки с последующим соединением на стадии осахаривания и протеолиза. Практически отсутствуют данные о влиянии особенностей биохимического состава зерно-фруктового сусла на рост и метаболизм дрожжевых клеток. Цель исследований состояла в разработке условий совместной переработки зерна пшеницы и жмыха черной смородины для получения сусла, обеспечивающего повышение эффективности процессов генерации дрожжей, синтеза этанола и летучих метаболитов. Предварительная подготовка жмыха для достижения поставленной цели предусматривала обработку ферментами ксиланолитического действия с последующей пастеризацией и подщелачиванием до pH 4,5. Использование ферментированного жмыха (pH 4,5) при совместном приготовлении сырьевых компонентов пшенично-черносмородинового сусла способствовало снижению его вязкости в 1,7 раза, увеличению концентрации растворимых углеводов с 22,0 до 25,1 %, повышению содержания фенольных веществ практически в 2 раза. Особенности состава пшенично-черносмородинового сусла оказали положительное воздействие на процессы метаболизма дрожжей и спиртового брожения, что привело к увеличению выхода спирта на 22...27 %, снижению уровня образования вторичных метаболитов на 10...17 %, в основном благодаря снижению синтеза высших спиртов. Одновременно возросла концентрация сложных эфиров (на 29...38 %), которые могут влиять на появление оригинальных оттенков в аромате и вкусе дистиллятов. Разработана принципиальная схема комплексной переработки зерна пшеницы и черносмородинового жмыха в технологии зерно-фруктовых дистиллятов с оригинальными свойствами.

INFLUENCE OF CONDITIONS OF PREPARATION OF WHEAT GRAIN WORT AND BLACKCURRANT CAKE ON YEAST METABOLISM AND ALCOHOLIC FERMENTATION PROCESSES

E. M. Serba, E. R. Kryuchkova, L. V. Rimareva, N. I. Ignatova, M. B. Overchenko, E. N. Sokolova

The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology,
Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
111033, Moscow, Samokatnaya ul., 4b
E-mail: serbae@mail.ru

The relevance of the study is due to the need to expand the range of competitive alcoholic beverages with original organoleptic properties and ensuring effective import substitution. The previously obtained results on the use of blackcurrant cake in the technology of grain and fruit wort preparation revealed the difficulties of joint processing of raw materials and showed the need for their separate preparation followed by their combination at the stage of saccharification and proteolysis. There is practically no data on the effect of the biochemical composition of grain and fruit wort on the growth and metabolism of yeast cells. The purpose of these studies was to develop conditions for the joint processing of wheat grain and blackcurrant cake to produce a wort that improves the efficiency of yeast generation, ethanol synthesis, and volatile metabolites. blackcurrant cake, a secondary resource of juice production, was used as an unconventional raw material. The conditions for the preliminary preparation of the cake have been developed, including treatment with xylanolytic enzymes followed by pasteurization and alkalization to pH 4.5. The use of fermented cake (pH 4.5) in the joint preparation of the raw materials of wheat and blackcurrant wort had a positive effect on its performance: the viscosity decreased by 1.7 times, the concentration of soluble carbohydrates increased from 22.0 to 25.1 %, phenolic substances – almost 2 times. The peculiarities of the composition of wheat-blackcurrant wort had a positive effect on the processes of yeast metabolism and alcoholic fermentation, which led to an increase in alcohol yield by 22...27 %, a decrease in the formation of secondary metabolites by 10...17 %, mainly due to a decrease in the synthesis of higher alcohols. At the same time, the concentration of esters increased (by 29...38 %), which can affect the appearance of original shades in the aroma and taste of distillates. A schematic diagram of the complex processing of wheat and blackcurrant cake in the technology of grain-fruit distillates with original properties has been developed.

Ключевые слова: пшеница, жмых черной смородины, ферментация, зерно-фруктовое сусло, дрожжи, брожение, метаболиты.

Keywords: wheat, blackcurrant cake, fermentation, grain-fruit mash, yeast, fermentation, metabolites.

Анализ научных публикаций о биохимическом составе ягод черной смородины и применяемых технологиях их переработки свидетельствует о широкой востребованности этого вида сырья в пищевой промышленности при производстве соков, морсов, сиропов, кондитерских и ликероводочных изделий [1, 2, 3]. Авторы указывают, что использование черносмородинового сырья придает целевой продукции функциональные свойства [3, 4, 5] и приятные сенсорные характеристики [6, 7, 8], но сопровождается образованием значительного количества вторичного продукта в виде жмыха [9, 10, 11]. Результаты многочисленных исследований подтверждают целесообразность комплексного использования черносмородинового сырья как источника биологически активных соединений [12, 13], а также жмыха – вторичного ресурса, в котором после переработки ягод на сок остаются неэкстрагируемые фенольные соединения, присоединенные к полисахаридам клеточных стенок и белкам [3, 11, 14]. Однако исследований о биотехнологическом потенциале черносмородинового жмыха проведено явно недостаточно. В основном авторы отмечают, что выжимки ягод как источники пищевых волокон, фенольных соединений и органических кислот в технологическом отношении могут служить функциональным ингредиентом, способствующим повышению антиоксидантных и антимикробных свойств целевой продукции, а также обладающим влагоудерживающей способностью [3, 14, 15]. Приведенные в публикациях данные свидетельствуют о том, что лучше всего исследована возможность использования жмыха ягод черной смородины в производстве спредов [16], крекеров [17], печенья [3, 10], снеков [18], в составе маринадов [19] для улучшения вкуса и повышения хранимоспособности пищевой продукции.

В результате последних исследований подтверждена перспективность использования ягод черной смородины и вторичных продуктов их переработки, содержащих цвето-, вкусо- и ароматобразующие соединения, в бродильных производствах для изготовления оригинальных напитков [8, 20, 21]. Наличие пищевых и биологически активных веществ в фруктовом сырье позволяет обогащать сусло не только дополнительным количеством растворимых углеводов и азотистых веществ, но и различными фенольными соединениями, которые могут придавать напиткам брожения интересные сенсорные характеристики [8, 11]. Приведенные в ряде публикаций данные свидетельствуют о том, что алкогольные напитки, приготовленные из черносмородинового сырья и ферментированные дрожжами, обладали ярко выраженным ароматом черной смородины [7, 8, 22]. При этом авторы отмечали высокое содержание в перерабатываемом сырье органических кислот, что приводило к усилению кислотности сусла.

Результаты последних исследований по использованию жмыха черной смородины и пшеничного сырья в технологии приготовления зерно-фруктового сусла выявили сложности совместной переработки сырьевых компонентов, связанные с высокой кислотностью, а также повышенным содержанием клетчатки и пектиновых веществ в жмыхе [8, 11, 22]. Особенно негативно его введение в состав ингредиентов сказывалось на реологических свойствах сусла, вязкость которого повышалась в 2...3 раза, по сравнению с аналогичными показателями в пшеничном сусле. Повышение дозировки ксиланазы в процессе приготовления замеса позволило несколько снизить динамическую вязкость зерно-фруктового сусла, но достичь показателей пшеничного сусла не удалось [11]. В результате было сделано заключение о преимуществе раздельного способа приготовления сырьевых

составляющих сусла: пшеничного замеса и ферментированного жмыха с последующими их соединением на стадии осахаривания и протеолиза. Однако сложность и повышенная трудоемкость автономных процессов приготовления зерно-фруктового сусла стали причиной необходимости дальнейшей оптимизации технологического процесса.

Цель исследований – разработка условий совместной переработки зерна пшеницы и жмыха черной смородины для получения сусла, обеспечивающего повышение эффективности процессов генерации дрожжей, синтеза этанола и летучих метаболитов.

Методика. Объекты исследований – жмых черной смородины, полученный после ферментативной обработки ягодного сырья пектолитическими и протеолитическими ферментами и отделения сока [11]; зерно пшеницы, измельченное до размера частиц 40...120 мкм на мультифункциональной дробилке Вилитек VLM-6 (ООО «Вилитек», Россия); ферментные препараты (ФП) – источники термостабильной α -амилазы (Неозим AA 180, Hunan Hong Ying Xiang Biochemistry Industry Co., LTD, КНР) и глюкоамилазы (Биозим 800L, Shandong Longda Bio-products, КНР) – для декстринизации и осахаривания крахмала зерна; ксиланазы (Висколаза 150L, Shandong Longda Bio-products, КНР) – для деструкции некрахмальных полисахаридов; комплекса протеаз (КФП, ВНИИПБТ, РФ) – для гидролиза белковых веществ; спиртовые дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-T [11] (табл. 1).

Табл. 1. Биокаталитическая активность ферментных препаратов и их дозировка

Наименование ФП	Ферментативная активность (ФС)	Уровень активности в ФП, ед. ФС/г (см ³)	Дозировка ФП, ед./г сырья, при гидромодуле сусла	
			1:3	1:2
Неозим AA 180	амилолитическая (АС)	1870,0±85,0*	0,3	0,5
Биозим 800L	глюкоамилазная (ГЛС)	13000,0±550,0*	4,0	7,5
Висколаза 150L	ксиланазная (КС)	6500,0±280,0*	0,3**	0,5**
КФП	протеолитическая (ПС)	650,0±31,0*	0,3	0,7

*значения представлены в виде средняя ± стандартное отклонение.

**для приготовления пшеничного сусла (гидромодуль 1:3 и 1:2) дозировки ксиланазы снижали до 0,15 и 0,25 ед. КС/г соответственно.

Ферментативную активность ФП определяли согласно существующим стандартизированным методикам [11]. Приготовление пшеничного и пшенично-черносмородинового сусла осуществляли по схеме ферментативно-гидролитической обработки сырья [11], дозируя ферменты с учетом их биокаталитической активности в используемых ФП (табл. 1). При повышении концентрации сусла дозировки ферментов увеличивали. На стадии приготовления пшеничного замеса для разжижения некрахмальных полисахаридов дозировку ксиланазы снижали, по сравнению с пшенично-черносмородиновым замесом, до 0,15...0,25 ед. КС/г сырья.

Приготовление зерно-фруктового сусла осуществляли двумя способами: 1 – совместной гидродинамической и ферментативной обработкой зерна пшеницы и жмыха черной смородины на всех этапах от стадии замеса, на которой проходило разжижение и декстринизация крахмала, до стадии осахаривания и протеолиза; 2 – раздельной подготовкой пшеницы и жмыха черной смородины, при этом соединение пшеничного замеса

с ферментированным черносмородиновым жмыхом происходило на стадии осахаривания и протеолиза [11].

Биокаталитическую конверсию полимеров зернового и зерно-фруктового сырья осуществляли в колбах Эрленмейера объемом 750 см³, содержащих измельченное зерно пшеницы, жмых и воду (гидромуль 1:3 или 1:2 в зависимости от условий эксперимента), помещенных в водяную баню ПЭ-4300 («Экрос», Россия). В зерновой или зерно-фруктовый замес добавляли термостабильную α -амилазу и ксиланазу, выдерживали при температуре 60...65 °С в течение 30 мин. для разжижения. В дальнейшем температуру замеса повышали до 86...92 °С и выдерживали в течение 180...240 мин. при периодическом перемешивании. На следующей стадии содержимое колб охлаждали до 58...60 °С, добавляли глюкоамилазу и протеазы, инкубировали в течение 60 мин. для осахаривания частично расщепленного крахмала и гидролиза белковых веществ сусла (протеолиза). Во всех опытных вариантах сусла соотношение пшеницы и ферментированного жмыха черной смородины составляло 70:30. В контроле использовали только пшеничное сусло.

Процесс сбраживания сусла проводили в одинаковых условиях: при температуре 30 °С длительностью 70 ч. Для сбраживания использовали водную суспензию клеток дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т, которую вносили в зерновое сусло из расчета 10 млн клеток/см³.

Содержание растворимых сухих веществ (РСВ) анализировали на рефрактометре Rochet PAL-S, ATAGO (Япония); аминного азота – методом йодометрического титрования [23]; общих (ОРВ) и растворимых редуцирующих веществ (РВ) – колориметрическим методом [24]; фенольных веществ – спектрофотометрическим методом [25]; pH – на ионметре Mettler-Toledo SevenCompactTM (Швейцария); вязкость сусла измеряли на вискозиметре SV-10 (Япония). Состав и содержание летучих метаболитов, синтезируемых дрожжами, тестировали с использованием газового хроматографа серии HP Agilent 6890 (США). Концентрацию этанола в бражке определяли на анализаторе относительной плотности спирта Densimat-Alcomat 2 (Gibertini, Италия).

Статистическую обработку экспериментальных данных, полученных не менее чем в 3 повторностях, осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным критерием Тьюки при $p < 0,05$ с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение. Для проведения исследований по применению жмыха черной смородины как нетрадиционного сырьевого компонента в составе зерно-фруктового сусла осуществили его предварительную обработку с использованием источника ксиланазы (0,3 ед. КС/г сырья) и пастеризацией при температуре 75...80 °С в течение 30 мин. Полученный ферментированный жмых характеризовался более высоким содержанием аминного азота и редуцирующих углеводов, ассимилируемых дрожжами, а также

Табл. 2. Биохимический состав жмыха ягод черной смородины*

Жмых черной смородины	Аминный азот, мг%	Редуцирующие вещества, %		Фенольные вещества, мг%	pH
		общие	растворимые		
Исходный	310,0±14,2	9,2±0,3 ^a	6,4±0,2	9240±405,0 ^a	2,9 ^a
После ферментации	407,8±16,1	9,1±0,3 ^a	7,9±0,2	9793±440,0 ^a	2,9 ^a

*значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение; различия величин в столбцах, отмеченных одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$.

фенольных веществ, которые могут участвовать в формировании сенсорных показателей зерно-фруктовых дистиллятов (табл. 2).

Введение в состав сырьевых компонентов сусла черносмородинового жмыха (pH 2,9) привело к снижению pH замеса до 4,1 (табл. 3), что отрицательно сказалось на результатах каталитического действия разжижающих ферментов, оптимальная активность которых проявляется при значениях pH ≥ 5,0. Вязкость пшенично-черносмородинового сусла с концентрацией растворимых сухих веществ 28,0% увеличилась, по сравнению с пшеничным суслом, в 1,6 раза, 19,0% – в 1,4 раза. Поэтому на стадии предварительной обработки жмыха черной смородины был включен дополнительный этап – подщелачивание 3N раствором NaOH до pH 4,5.

С использованием ферментированного жмыха со значением pH 4,5 биохимические и физико-химические показатели пшенично-черносмородинового сусла, приготовленного путем совместной обработки сырьевых ингредиентов, несколько улучшились, особенно реологические свойства концентрированного сусла. Так, вязкость зерно-фруктового сусла с концентрацией РСВ 28,9% (гидромуль 1:2) снизилась в 1,7 раза (с 67,5 до 39,9 мПа·с) и практически соответствовала величине этого показателя у пшеничного сусла; концентрация растворимых углеводов увеличилась на 3,1% (с 22,0 до 25,1%). Аналогичная закономерность выявлена и в образцах сусла с гидромулем 1:3 (см. табл. 3).

Результаты сравнительных исследований процессов генерации дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т и спиртового брожения подтвердили целесообразность предварительного подщелачивания черносмородинового жмыха, способствующего получению сусла и бражки с улучшенными показателями, особенно при сбраживании сусла с концентрацией растворимых сухих веществ 20% (гидромуль 1:3). Повышение содержания растворимых углеводов и аминного азота, хорошие реологические свойства сусла способствовали интенсификации процессов генерации дрожжей и более эффективному сбраживанию. Количество клеток увеличилось в 1,3 раза, по сравнению с контрольным вариантом на пшеничном сусле (табл. 4). При этом была получена бражка практически с нормативными показателями: концентрация этанола – 11,0% об., выход спирта со 100 г сырья – 36,9 г, ранее подобных показателей достичь не удавалось [11]. Разработанные

Табл. 3. Биохимический состав пшенично-черносмородинового сусла

рН жмыха	РСВ сусла, %	рН		РВ, %	ОРВ, %	Вязкость, мПа·с	Аминный азот, мг%	Фенольные вещества, мг/дм³
		замеса	сусла					
Гидромуль 1:2								
Контроль	29,3±1,5 ^а	5,5	5,2	26,3±1,3 ^а	27,2±1,3 ^а	41,6±2,1 ^а	44,1±2,2 ^а	620,5±31,0 ^а
2,9	28,0±1,4 ^а	4,1	4,0	22,0±1,1 ^б	23,5±1,2 ^б	67,5±3,4 ^б	84,3±4,2 ^б	1194,0±55,0 ^б
4,5	28,9±1,4 ^а	5,1	4,7	25,1±1,2 ^а	26,2±1,2 ^а	39,9 ±3,8 ^а	83,7±4,1 ^б	1152,8±54,5 ^б
Гидромуль 1:3								
Контроль	21,8±1,1 ^б	5,5	5,3	17,4±0,9 ^с	18,4±0,9 ^с	11,3±0,6 ^с	14,7±0,7 ^с	435,0±21,8 ^с
2,9	19,0±0,9 ^б	4,1	4,0	11,3±0,5 ^д	13,7±0,6 ^д	15,2±0,8 ^д	48,9±2,4 ^д	876,0±43,5 ^д
4,5	20,4±1,0 ^б	5,2	4,8	16,0±0,8 ^с	16,8±0,7 ^с	10,3±0,5 ^с	49,0±2,4 ^д	953,0±47,7 ^д

*значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение; различия между величинами в столбцах, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$.

Табл. 4. Влияние pH жмыха, используемого в составе сусла, на показатели бражки

рН жмыха	Дрожжи, млн/см ³	Показатели бражки					Выход спирта, г/100 г сырья	
		Фенольные вещества, мг/дм ³	рН	СО ₂ , г	Остаточные углеводы, %			Спирт, % об.
					ОРВ	РВ		
Гидромодуль 1:2								
Контроль	109±5,1	642,1±29,0 ^a	5,1±0,2 ^a	18,2±0,9 ^a	0,48±0,02	0,31±0,02	14,4±0,7 ^a	36,5±1,8 ^a
2,9	129±6,1	1251,0±52,0 ^b	4,1±0,1 ^b	15,1±0,7 ^{bc}	0,70±0,03	0,61±0,03	12,0±0,6 ^{bc}	28,2±1,4 ^b
4,5	165±8,2	1178,1±63,0 ^b	4,5±0,1 ^b	16,2±0,8 ^{ab}	0,59±0,02	0,49±0,02	13,3±0,6 ^{ab}	34,5±1,7 ^a
Гидромодуль 1:3								
Контроль	108±5,5	617,0±30,0 ^a	5,0±0,2 ^a	16,5±0,8 ^{ab}	0,34±0,02	0,22±0,01	11,1±0,5 ^{cd}	37,2±1,8 ^a
2,9	130±6,4 ^a	1115,1±61,0 ^b	4,1±0,1 ^b	12,0±0,5	0,51±0,03	0,41±0,02	10,0±0,4 ^d	29,0±1,4 ^b
4,5	142±7,0 ^a	1158,0±65,0 ^b	4,4±0,1 ^b	14,9±0,7 ^c	0,40±0,02	0,27±0,01	11,0±0,5 ^{cd}	36,9±1,7 ^a

*значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение; различия между величинами в столбцах, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$.

условия подготовки жмыха черной смородины позволили увеличить выход спирта на 22...27% в зависимости от концентрации сусла (табл. 4).

Следует отметить, что разработанный способ совместного приготовления зерно-фруктового сусла с использованием предварительно подщелоченного и ферментированного жмыха позволяет также реализовать возможность получения концентрированного сусла, что подтвердили технологические показатели пшенично-черносмородинового сусла (вязкость – 39,9 мПас, РВ – 25,1%) и бражки (РВ – 0,49%, спирт – 13,3% об.) (см. табл. 3 и 4). Повышение концентрации сусла будет способствовать не только увеличению производительности и рентабельности производства, но и позволит снизить образование технологических отходов в виде после спиртовой барды.

Кроме того, включение в состав сырьевых компонентов жмыха ягод черной смородины привело к повышению концентрации фенольных веществ, влияющих на формирование оригинальных сенсорных характеристик целевой продукции [7, 22]. Содержание полифенолов в опытных вариантах зерно-фруктового сусла и бражки увеличилось в 1,8...2,2 раза, по сравнению с контрольными вариантами пшеничного сусла (см. табл. 3, 4).

Как известно, летучие компоненты, образующиеся в дистиллятах, влияют на качество спиртных напитков, формируя их вкус и аромат [7, 8]. Поэтому интересно было установить, какое влияние оказывает включение нетрадиционного сырья в состав сусла на синтез вторичных и побочных метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-T при культивировании клеток на пшенично-черносмородиновом сусле, приготовленном путем совместной и раздельной ферментативно-гидролитической обработки сырьевых составляющих. Использование изучаемого сырья оказало определенное влияние на уровень образования и состав летучих метаболитов, сопутствующих синтезу этанола. Общее количество

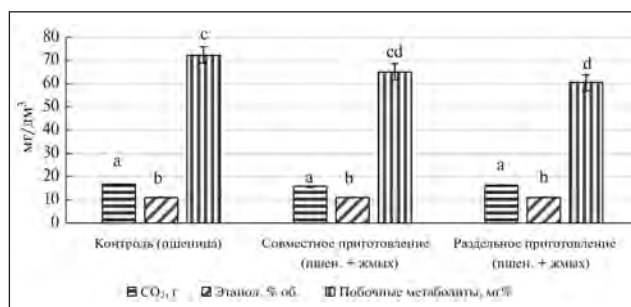


Рис. 1. Влияние способа приготовления пшенично-черносмородинового сусла на показатели процесса спиртового брожения (различия между величинами, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$).

побочных продуктов брожения снизилось с 72,3 мг % в отгонах пшеничной бражки до 60,3...65,0 мг % (рис. 1). Введение стадии дополнительной обработки черносмородинового жмыха позволило практически устранить разницу в техно-химических показателях бражек, чего ранее достичь не удавалось [11]. При этом способы приготовления пшенично-черносмородинового сусла по разработанному алгоритму не оказывали значимого влияния на образование диоксида углерода (15,6...16,1 г), синтез этанола (11,0...11,1% об.) и побочных метаболитов (65,0...60,3 мг %).

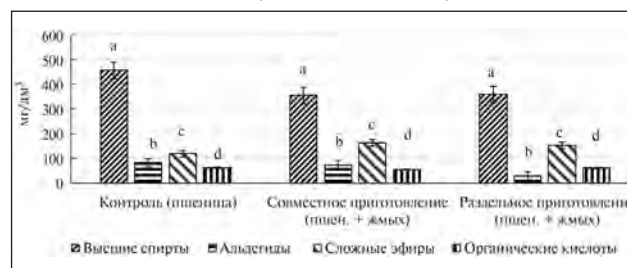


Рис. 2. Состав летучих метаболитов и органических кислот, синтезированных при сбраживании пшеничного и пшенично-черносмородинового сусла (различия между величинами, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$).

Сравнительный анализ состава метаболитов в пшеничной и пшенично-черносмородиновых бражках, синтезированных дрожжами *S. cerevisiae* 985-T, показал, что изменения происходили в основном благодаря снижению синтеза высших спиртов, имеющих тяжелый сивушный запах и оказывающих негативное влияние на органолептические свойства спиртных напитков. Общее количество высших спиртов в отгонах пшенично-черносмородиновой бражки составило 355,0...359,4 мг/дм³, в пшеничной – 457 мг/дм³ (рис. 2). При этом в составе метаболитов зерно-фруктовой бражки на 29...38% повышалась концентрация сложных эфиров, которые могут повышать влияние на появление оригинальных оттенков и тонов в аромате и вкусе дистиллятов [3, 7]. Разработанные способы приготовления зерно-фруктового сусла не оказывали существенного влияния на процессы метаболизма дрожжей и спиртового брожения (рис. 1 и 2).

Полученные результаты подтвердили, что введение дополнительной стадии подготовки черносмородинового жмыха позволяет улучшить качество зерно-фруктового сусла, приготовленного способом совместной ферментативно-гидролитической обработки компонентов, для его эффективного использования в производстве спирта и зерно-фруктовых дистиллятов.

Принципиальная схема комплексной переработки черносмородинового сырья в технологии спиртовых дистиллятов с оригинальными свойствами (рис. 3) предусматривает два способа (раздельный и совместный)

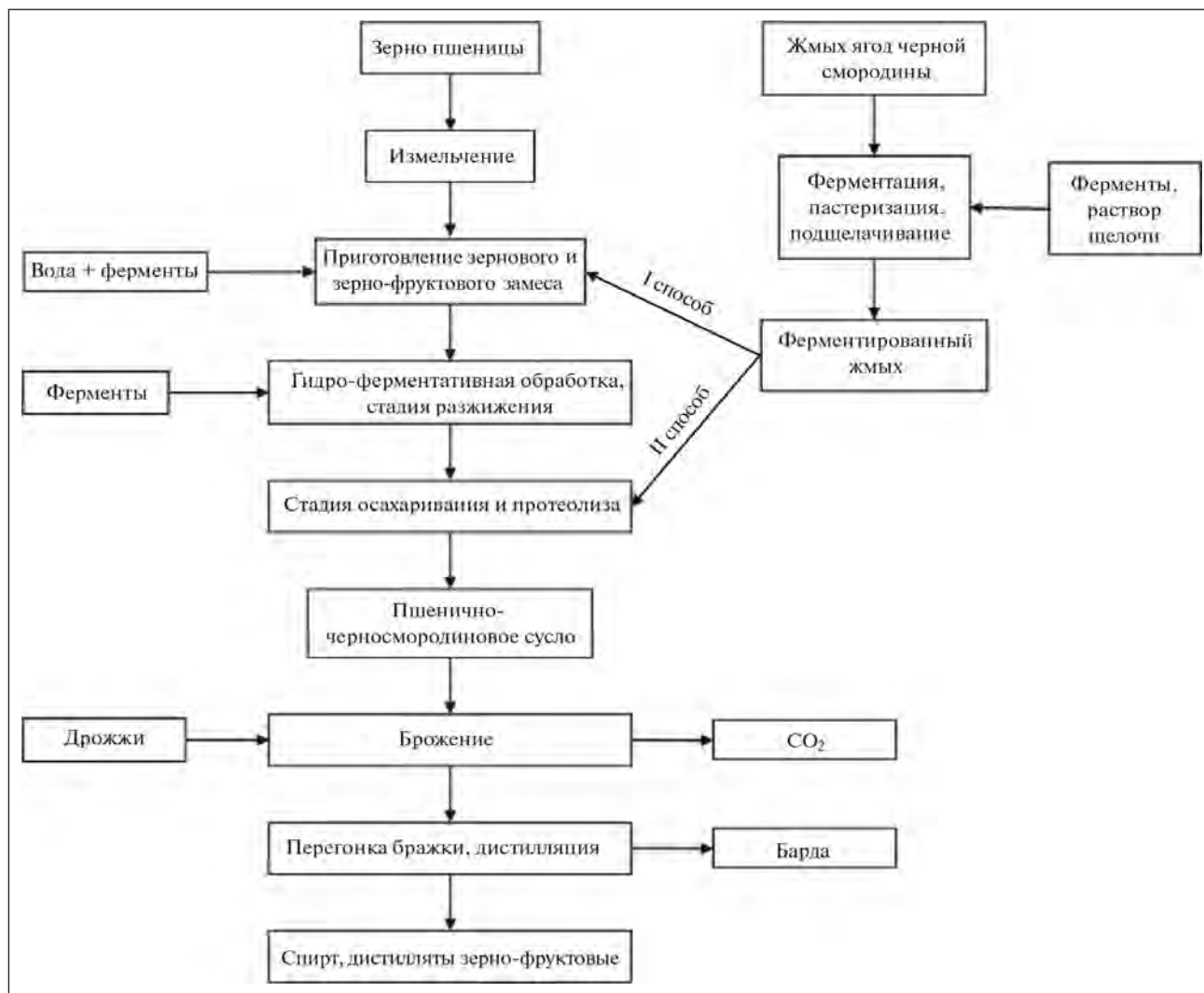


Рис. 3. Принципиальная схема приготовления зерно-фруктового сула (I способ – совместная подготовка сырьевых составляющих; II способ – раздельная подготовка зернового замеса и ферментированного жмыха).

приготовления сырьевых составляющих сула (зерна пшеницы и ферментированного жмыха), в которые включена стадия предварительной подготовки жмыха (ферментация, пастеризация и подщелачивание). Выбор рациональной схемы производства будет зависеть от условий и основных задач производителя.

Выводы. В результате исследований обоснована и экспериментально подтверждена технологическая возможность эффективного использования жмыха ягод черной смородины в технологиях производства зерно-фруктовых дистиллятов, к ключевым факторам которых относятся уровень образования этанола и сопутствующих летучих соединений, формирующих вкус и аромат спиртных напитков.

Введение в технологию приготовления сула стадии предварительной подготовки ферментированного жмыха позволяет реализовать способ совместного приготовления сырьевых компонентов и получить зерно-фруктовое суло, обогащенное растворимыми углеводами (16,0...25,1%) и фенольными веществами (953,0...1152,8 мг/дм³) с улучшенными реологическими свойствами.

Разработанные условия приготовления пшенично-черносмородинового сула позволили обеспечить нормативные показатели бражки, интенсифицировать процессы генерации дрожжей и спиртового брожения, повысить

выход спирта на 22...27%, снизить уровень образования высших спиртов в сторону увеличения синтеза сложных эфиров на 29...38%, придающих оригинальные оттенки в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с зерновыми дистиллятами, полученными в результате сбраживания традиционных зерновых культур.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данные исследования по подготовке рукописи проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания FGMF-2023-0004.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Причко Т. Г., Дрофичева Н. В. Использование перспективных сортов смородины черной в формировании продуктов лечебно-профилактического назначения // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019. Т. 26. № 4. С. 109–116. doi: 10.31677/2311-0651-2019-26-4-109-116.

2. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / М. Ю. Акимов, В. В. Бессонов, В. М. Коденцова и др. // Вопросы питания. 2020. Т. 8. № 4. С. 220–232. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055.
3. Современные предпосылки для комплексной переработки ягод черной смородины / В. М. Коденцова, Д. В. Рисник, Е. М. Серба и др. // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 3. С. 621–632. doi: 10.21603/2074-9414-2024-3-2525.
4. Enhancement of Biological Properties of Blackcurrants by Lactic Acid Fermentation and Incorporation into Yogurt: A Review / R. Kowalski, E. Gustafson, M. Carroll, et al. // *Antioxidants* (Basel). 2020. Vol. 9. No. 12. P. 1194. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/12/1194> (дата обращения: 13.08.2024). doi: 10.3390/antiox9121194.
5. Захаров В. Л., Зубкова Т. В. Влияние добавок ягод на качество и сохранность творога // Вестник КрасГАУ. 2022. Т. 182. № 5. С. 200–205. doi: 10.36718/1819-4036-2022-5-200-205.
6. Profiles of Volatile Compounds in Blackcurrant (*Ribes nigrum*) Cultivars with a Special Focus on the Influence of Growth Latitude and Weather Conditions / A. Marsol-Vall, M. Kortessniemi, S. T. Karhu, et al. // *J Agric Food Chem.* 2018. Vol. 66. No. 28. P. 7485–7495. doi: 10.1021/acs.jafc.8b02070.
7. Comparison of volatile compounds and sensory profiles of alcoholic black currant (*Ribes nigrum*) beverages produced with *Saccharomyces*, *Torulaspora*, and *Metschnikowia* yeasts / N. M. Kelanne, B. Siegmund, T. Metz, et al. // *Food Chem.* 2022. Vol. 370. P. 131049. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621020550> (дата обращения: 11.02.2025). doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131049.
8. К вопросу о целесообразности использования ягод черной смородины для получения оригинальных зерно-фруктовых дистиллятов / Л. В. Римарева, Е. М. Серба, Е. Н. Соколова и др. // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 61–63. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.017.
9. Использование вторичных ресурсов ягодного сырья в технологии кондитерских и хлебобулочных изделий / И. А. Бакин, А. С. Мустафина, Е. А. Вечтомова и др. // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 5–12. doi: 10.21179/2074-9414-2017-2-5-12.
10. Дрофичева Н. В., Причко Т. Г. Функциональные продукты питания с использованием компонентов вторичного сырья сокового производства // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 3. № 80. С. 134–139. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-134-139.
11. Биотехнологические аспекты получения зерно-фруктового сула из пшеницы и жмыха черной смородины / Е. М. Серба, Е. Н. Соколова, Л. В. Римарева и др. // Пищевые системы. 2024. Т. 7. № 4. С. 551–559. doi: 10.21323/2618-9771-2024-7-4-551-559.
12. Bioaccessibility of Antioxidants in Blackcurrant Juice after Treatment Using Supercritical Carbon Dioxide / U. Trych, M. Buniowska, S. Skapska, et al. // *Molecules.* 2022. Vol. 27. No. 3. P. 1036. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/1036> (дата обращения: 15.09.2024). doi: 10.3390/molecules27031036.
13. Biological activities, therapeutic potential, and pharmacological aspects of blackcurrants (*Ribes nigrum* L): A comprehensive review / A. Ejaz, S. Waliat, M. Afzal, et al. // *Food Sci Nutr.* 2023. Vol. 11. No. 10. P. 5799–5817. doi: 10.1002/fsn3.3592.
14. By-Products of Fruit and Vegetables: Antioxidant Properties of Extractable and Non-Extractable Phenolic Compounds / Y. Zeng, W. Zhou, J. Yu, et al. // *Antioxidants* (Basel). 2023. Vol. 12. No. 2. P. 418. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/2/418> (дата обращения: 19.10.2024). doi: 10.3390/antiox12020418.
15. Fractionation and characterisation of dietary fibre from blackcurrant pomace / K. Alba, W. Macnaughtan, A. P. Laws, et al. // *Food Hydrocolloids.* 2018. Vol. 81. P. 398–408. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.03.023.
16. Reißner A. M., Rohm H., Struck S. Sustainability on Bread: How Fiber-Rich Currant Pomace Affects Rheological and Sensory Properties of Sweet Fat-Based Spreads // *Foods.* 2023. Vol. 12. No. 6. P. 1315. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/6/1315> (дата обращения: 16.01.2025). doi: 10.3390/foods12061315.
17. Blackcurrant pomace from juice processing as partial flour substitute in savoury crackers: Dough characteristics and product properties / C. Schmidt, I. Geweke, S. Struck, et al. // *International Journal of Food Science & Technology.* 2018. Vol. 53. No. 1. P. 237–245. doi: 10.1111/ijfs.13639.
18. Разработка технологии производства снежков на основе ягод черной смородины (*Ribes nigrum*) / Н. В. Макарова, Д. Ф. Игнатова, Е. А. Васильева и др. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 3. С. 158–167. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-158-167.
19. The Effect of Fruit and Berry Pomaces on the Growth Dynamics of Microorganisms and Sensory Properties of Marinated Rainbow Trout / M. Roasto, M. Mäesaar, T. Püssa, et al. // *Microorganisms.* 2023. Vol. 11. No. 12. P. 2960. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/12/2960> (дата обращения: 04.04.2024). doi: 10.3390/microorganisms11122960.
20. Подбор рас дрожжей для сбраживания фруктовой мезги, предназначенной для дистилляции / Л. А. Оганесянц, В. А. Песчанская, Е. В. Дубинина и др. // Пиво и напитки. 2017. № 6. С. 26–30.
21. Volatile Profile of Mead Fermenting Blossom Honey and Honeydew Honey with or without *Ribes nigrum* / G. Chitarrini, L. De Biasi, M. Stuffer, et al. // *Molecules.* 2020. Vol. 25. No. 8. P. 1818. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/8/1818> (дата обращения: 07.02.2025). doi: 10.3390/molecules25081818.
22. Phenolic Compound Profiles in Alcoholic Black Currant Beverages Produced by Fermentation with *Saccharomyces* and Non-*Saccharomyces* Yeasts / N. Kelanne, B. Yang, L. Liljenbäck, et al. // *J Agric Food Chem.* 2020. Vol. 68. No. 37. P. 10128–10141. doi: 10.1021/acs.jafc.0c03354.
23. Общая фармакопейная статья: ОФС.1.2.3.0022.15 Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. URL: <https://pharmacosrovia.regmed.ru/pharmacosrovia-projects/izdanie-13/1/1-2/1-2-3/1-2-3-22/?vers=778> (дата обращения: 24.04.2024).
24. Инструкция по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства / В. А. Поляков, И. М. Абрамова, Г. В. Полыгалина и др. // М: Дели принт. 2007. 480 с.
25. Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 373–380. doi: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.

Поступила в редакцию 28.03.2025
После доработки 20.04.2025
Принята к публикации 28.05.2025

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Редакция помещает не более двух статей одного автора в год. Это правило не распространяется на академиков и членов-корреспондентов РАН и других академий.
2. Объем статьи не менее 12 стр., включая таблицы (не более 4), рисунки (не более 4), библиографию (до 25 названий). Статья, набранная крупным шрифтом через 1,5 интервала, пересылается по E-mail: nsm2308@yandex.ru. В ней должны быть указаны УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, степени, полное название учреждения с адресом, E-mail, реферат (объемом 200–250 слов с указанием цели опытов, объекта исследований, анализа полученных данных), ключевые слова, и все продублировано на английском языке. Таблицы и рисунки в одном файле с текстом. В тексте выделить «Методика» и «Результаты и обсуждение». Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах, графиках недопустимо. В конце статьи указать номер телефона (служебный, домашний, мобильный) каждого соавтора.
3. Рисунки (графический материал) должны быть выполнены четко, представлены на отдельном листе в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и/или на электронном носителе (программы «Adobe PhotoShop», «Adobe Illustrator»).
4. Статья с большим количеством формул (не более 10) представляется на электронном носителе – (программа «MS Equation» или подобная).
5. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью, при элементном анализе приводить только усредненные данные.
6. Используемая литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. 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. Желательны ссылки на журналы, входящие в базы данных Scopus и Web of Science. Цитируемость своих работ не более 15 %.
7. При получении статьи редакция рассматривает ее соответствие тематике журнала и посылает на рецензию ведущим специалистам. Возвращение рукописи автору на доработку с копией рецензии не означает, что статья принята к печати. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.
8. Редакция посылает авторам на визу подготовленный к печати экземпляр статьи, который должен быть выслан обратно в течение суток с момента его получения.

Авторам высылается журнал в электронном виде.

С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Для получения гонорара за публикацию в англоязычном издании авторы могут обратиться в Российское авторское общество по адресу:

123995, Москва,

ул. Бронная, д. 6, стр. 1,

тел.: +7 (495) 697-33-35;

и на сайте РАО: www.rao.ru (подвести курсор на «Правообладатели», далее на «Авторам научных статей»). Здесь находятся документы для получения авторского гонорара.

Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает.