

ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

Научно–теоретический журнал
Российского государственного аграрного университета —
МСХА имени К.А. Тимирязева

Сообщаются результаты экспериментальных, теоретических и методических исследований в различных областях сельскохозяйственной науки и практики, выполненных в разных природно–экономических зонах страны

Основан в 1878 году
6 номеров в год

Выпуск

4

июль–август

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2023

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, проф. **В.И. Трухачев**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., профессор **С.Л. Белопухов**; доктор наук, PhD, профессор **Р. Валентини** (Италия);
д.б.н., профессор **И.И. Васенев**; д.э.н., профессор **Р.С. Гайсин**;
д.э.н., профессор **А.В. Голубев**; д.с.-х.н., профессор **С.А. Грикшас**;
д.с.-х.н., профессор **Ж. Данаилов** (Болгария); д.б.н., профессор **Ф.С. Джалилов**;
профессор **Д.А. Джукич** (Сербия); д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Н.Н. Дубенок**;
д.в.н., профессор **Г.П. Дюльгер**; д.б.н., профессор **А.А. Иванов**;
д.б.н., профессор, академик РАН **В.И. Кирюшин**; д.б.н., профессор **В.Н. Корзун** (Германия);
д.в.н., профессор **Р.Г. Кузьмич** (Беларусь); д.б.н., профессор **Я.В. Кузяков** (Германия);
д.с.-х.н., профессор **Н.Н. Лазарев**; д.с.-х.н., профессор **В.И. Леунов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **В.М. Лукомец**; д.б.н., профессор **А.Г. Маннапов**;
д.б.н., профессор, академик НАНУ и НААНУ **Д.А. Мельничук** (Украина);
к.э.н., PhD MSU, **Р.А. Мигунов**; к.с.-х.н. **Г.Ф. Монахос**; д.с.-х.н., профессор **С.Г. Монахос**;
д.б.н., профессор **В.Д. Наумов**; д.т.н., профессор, академик РАН **В.А. Панфилов**;
д.б.н., профессор **С.Я. Попов**; д.х.н., профессор **Н.М. Пржевальский**;
д.с.-х.н., профессор **А.К. Раджабов**; д.с.-х.н., профессор **Г.В. Родионов**;
д.б.н., профессор **В.С. Рубец**; д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН **Н.М. Светлов**;
д.б.н., профессор **М.И. Селионова**; к.б.н., доцент **О.В. Селицкая**;
д.б.н., профессор **А.А. Соловьев**; д.б.н., профессор **И.Г. Тараканов**;
д.б.н., профессор **С.П. Торшин**; д.в.н., профессор **С.В. Федотов**;
д.б.н., профессор **Л.И. Хрусталева**; д.с.-х.н., профессор **В.А. Черников**;
д.э.н., профессор **С.А. Шелковников**; д.т.н., профессор **И.Н. Шило** (Беларусь);
д.с.-х.н., профессор **А.В. Шитикова**; д.с.-х.н., профессор **А.С. Шувариков**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Ю.А. Юлдашбаев**

Редакция

Научный редактор – **Р.А. Мигунов**

Редактор – **В.И. Марковская**

Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**

Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**

Журнал входит в перечень
ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК

Журнал включен в базы данных BIOSIS (WoS), RSCI (WoS),
CA(pt), CrossRef, AGRIS, РИНЦ, ядро РИНЦ

Правила оформления научных статей для опубликования в журнале «Известия ТСХА»
размещены в Интернете (https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf)

Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается

ISSN 0021-342X

IZVESTIYA

of

Timiryazev Agricultural Academy

Academic Journal
of Russian Timiryazev State Agrarian University

The journal publishes the results of experimental,
theoretical and procedural research in different areas
of agricultural science and practice carried out
in various natural and economic zones of the country

Founded in 1878
Six issues per year

Issue

4

July–August

Moscow
Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University
2023

EDITOR-IN-CHIEF: Prof. **Vladimir I. Trukhachev**,
DSc (Ag), DSc (Econ), Full Member of RAS

EDITORIAL BOARD

Prof. **Sergey L. Belopukhov**, DSc (Ag); Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy);
Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio); Prof. **Rafkat S. Gaysin**, DSc (Econ);
Prof. **Aleksei V. Golubev**, DSc (Econ); Prof. **Styapas A. Grikschas**, DSc (Ag);
Prof. **Zhivko Danailov**, DSc (Ag) (Bulgaria); Prof. **Fevzi S. Dzhililov**, DSc (Bio);
Prof. **Dragutin A. Djukic** (Serbia); Prof. **Nikolai N. Dubenok**, DSc (Ag), Full Member of RAS;
Prof. **Georgy P. Dulger**, DSc (Vet); Prof. **Aleksei A. Ivanov**, DSc (Bio);
Prof. **Valerii I. Kiryushin**, DSc (Bio), Full Member of RAS; Prof. **Victor N. Korzun**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Rostislav G. Kuzmich**, DSc (Vet) (Belarus); Prof. **Yakov V. Kuzyakov**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Nikolay N. Lazarev**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir I. Leunov**, DSc (Ag);
Prof. **Vyacheslav M. Lukomets**, DSc (Ag), Full Member of RAS; Prof. **Alfir G. Mannapov**, DSc (Bio);
Prof. **Dmitrii A. Melnichuk**, DSc (Bio), Member of NASU and NAASU (Ukraine);
Rishat A. Migunov, CSc (Econ), PhD MSU; **Grigory F. Monakhos**, CSc (Ag);
Prof. **Sokrat G. Monakhos**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir D. Naumov**, DSc (Bio);
Prof. **Victor A. Panfilov**, DSc (Eng), Full Member of of RAS; Prof. **Sergei Ya. Popov**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Przhevalskiy**, DSc (Chem); Prof. **Agamagomed K. Radzhabov**, DSc (Ag);
Prof. **Gennady V. Rodionov**, DSc (Ag); Prof. **Valentina S. Rubets**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Svetlov**, DSc (Econ), Corresponding Member of RAS;
Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya**, CSc (Bio);
Prof. **Alexander A. Soloviev**, DSc (Bio); Prof. **Ivan G. Tarakanov**, DSc (Bio);
Prof. **Sergei P. Torshin**, DSc (Bio); Prof. **Sergei V. Fedotov**, DSc (Vet);
Prof. **Ludmila I. Khrustaleva**, DSc (Bio); Prof. **Vladimir A. Chernikov**, DSc (Ag);
Prof. **Sergey A. Shelkovnikov**, DSc (Econ); Prof. **Ivan N. Shilo**, DSc (Eng) (Belarus);
Prof. **Aleksandra V. Shitikova**, DSc (Ag); Prof. **Anatolii S. Shuvarikov**, DSc (Ag);
Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbayev**, DSc (Ag), Full Member of RAS

EDITORIAL STAFF

Scientific editor – **Rishat A. Migunov**
Editor – **Vera I. Markovskaya**
Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**
Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**

The journal is listed in the VAK (Higher Attestation Commission) register
of the top peer reviewed journals and editions

The journal is also included in BIOSIS (WoS), RSCI (WoS), CA(pt), CrossRef, AGRIS,
Russian Index of Science Citation, Core Collection of Russian Index of Science Citation

Article submission guidelines of the journal “Izvestiya of TAA” are available
at https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf

Articles submitted by postgraduates are exempt from the processing charge

ИК-СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ФРАКЦИЙ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО
ЦЕЛИННОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Г. МАМОНТОВ, С.А. БЕЛЯЕВА, К.А. ШМАКОВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

С помощью метода инфракрасной спектроскопии изучены фракции гранулометрических элементов, выделенных методом отмучивания из гумусово-аккумулятивного горизонта А целинного чернозема типичного мощного Курской области. Согласно полученным данным фракции гранулометрических элементов существенно различаются вещественным составом. Фракция крупной пыли преимущественно состоит из кварца, полевых шпатов, полисахаридов и небольшого количества специфических гумусовых веществ. Фракции мелкой пыли, и особенно илистая, существенно отличаются по вещественному составу от фракции крупной пыли. В основном они состоят не только из полисахаридов, но и из глинистых минералов, в том числе и смешанослойных образований слюдисто-монтмориллонитового типа, гораздо более высокого количества специфических гумусовых веществ, меньшего количества кварца и полевых шпатов. Фракция средней пыли по вещественному составу занимает промежуточное положение и в большей мере приближена к тонкодисперсным фракциям, нежели к фракции крупной пыли. Метод инфракрасной спектроскопии позволяет выявить принципиальные различия в вещественном составе между отдельными гранулометрическими фракциями. Однако ряд специфических особенностей, присущих индивидуальным компонентам твердой фазы почвы, не проявляется на инфракрасных спектрах гранулометрических фракций. Это обусловлено активным взаимодействием органических и минеральных компонентов почвы. В результате таких взаимодействий многие активные центры и функциональные группы блокируются и не проявляются на инфракрасных спектрах.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, гранулометрические фракции, гумусовые вещества, полисахариды, кварц, полевые шпаты, глинистые минералы, *Typlic Chernozem (Loamic, Pachic)*.

Введение

Для изучения вещественного состава почвы и отдельных ее компонентов широко применяются инструментальные физико-химические методы анализа [6, 9, 15, 27, 28, 35]. К числу таких методов относится ИК-спектроскопия. Этот метод позволяет выявить характерные особенности, присущие компонентам твердой фазы почвы, не подвергнутой химическому воздействию [15]. Так (в частности, в черноземе), благодаря ИК-спектроскопии удалось обнаружить полосы поглощения, характерные для гуминовых кислот, что послужило одним из доказательств их присутствия в нативной почве [17].

ИК-спектры образцов из горизонта А таких почв юга Бразилии, как *Mollisol* и *Oxisol*, показали сходную картину. На них зафиксированы полосы поглощения,

присущие карбоксильным группам, алифатическим группам CH_3 и CH_2 , фенолам и третичным спиртам. Отмечается, что в естественных почвах органическое вещество прочно закрепляется поверхностью минеральных компонентов [33].

Высказывается мнение о том, что ИК-спектроскопия вполне подходит для изучения особенностей изменения органического вещества в естественных почвах и представляет собой действенный инструмент для оценки роли органических веществ в формировании почвенного профиля [36].

Обобщив данные литературы, группа исследователей пришла к выводу о том, что инфракрасная спектроскопия является одним из наиболее перспективных неdestructивных аналитических методов исследования в почвоведении, поскольку позволяет одновременно получать несколько качественных характеристик почвенного образца [37]. Это заключение подтверждается данными других ученых. В частности, при изучении некоторых почв Удмуртии с помощью ИК-спектроскопии удалось обнаружить полосы поглощения, характерные для групп CH_2 и CH_3 алифатических органических структур, полосы поглощения карбоксильных групп и карбоксилат-ионов, амидов, полисахаридов и спирты, ароматических групп C-H . Наряду с этим были обнаружены полосы поглощения, присущие кварцу, каолиниту, монтмориллониту и гипсу [32].

С помощью ИК-спектроскопии удастся выявить особенности трансформации минералогического состава почв при естественном ходе почвообразовательного процесса и характер изменения структурных особенностей гумусовых кислот при окультуривании почв [4, 7, 29].

ИК-спектроскопия нашла свое применение и в исследованиях методического характера, а также при разработке диагностических показателей гумусовых кислот почвы [6, 16, 28].

Основа твердой фазы почвы состоит из элементарных почвенных частиц, формирующих один из иерархических уровней структурной организации почвы [20]. Элементарные почвенные частицы объединяются во фракции гранулометрических элементов, различающиеся между собой не только размером, но и природой, химическим, минералогическим составом и свойствами [11]. Интерес к выделению и изучению фракций гранулометрических элементов обусловлен тем, что именно на этом уровне происходят основные превращения веществ в почвах [26].

К настоящему времени получен значительный объем информации, характеризующей химический и минералогический состав фракций гранулометрических элементов [2, 3, 12, 19, 21, 23, 24]. Установлено распределение органического вещества по разным фракциям твердой фазы почвы [5, 8, 10] и выявлены особенности трансформации гумусовых веществ гранулометрических фракций под влиянием мелиорации [14].

На основании собственных экспериментальных данных и обобщения источников литературы показано, что между размером фракций гранулометрических элементов, их химическим и минералогическим составом существует четко выраженная зависимость. Она проявляется в том, что по мере уменьшения размера почвенных частиц в них увеличивается содержание железа, алюминия, магния, фосфора, никеля, марганца, цинка и глинистых минералов. Содержание кремния, натрия, полевых шпатов и кварца по мере уменьшения размера почвенных частиц, наоборот, снижается. При этом органическое вещество преимущественно локализовано в илистой фракции и фракции мелкой пыли [5, 11, 12]. Эти данные существенно расширяют наши представления об особенностях вещественного состава важнейших структурных компонентов твердой фазы почвы. Однако оптические свойства фракций гранулометрических элементов почв остаются до настоящего времени все еще недостаточно изученными.

Цель исследований: изучить ИК-спектры фракций гранулометрических элементов целинного чернозема типичного, полученных методом отмучивания.

Материал и методы исследований

Объектом исследований явился чернозем типичный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке – *Naptic Chernozem (Loamic, Pachic)*.

Почвенные образцы отбирались в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике имени А.А. Алехина на участке целинной некосимой степи из гумусово-аккумулятивного горизонта А чернозема мощностью 20 см. Общие свойства этого объекта к настоящему времени изучены довольно подробно и неоднократно освещались в литературе [13, 18, 30].

Фракции гранулометрических элементов (пыль крупная, пыль средняя, пыль мелкая, илистая фракция) выделяли методом отмучивания при соотношении «Почва: дистиллированная вода», равном 1:100, начиная с илистой фракции, и далее, по мере увеличения размера фракций [5], и высушивали на водяной бане. Образец почвы перед отмучиванием был подвергнут обработке ультразвуком на установке УЗДН-2Т согласно имеющимся рекомендациям [31].

ИК-спектры поглощения были получены при помощи ИК Фурье-спектрометра Spectrum One фирмы PerkinElmer (США), оснащенного детектором LiTaO₃ и KBr-светоделителем. Съемка образцов производилась в средней области (4000–400 см⁻¹) с точностью 100 сканирований/образец и разрешением 4 см⁻¹.

Для съемки были подготовлены KBr-таблетки. Образец массой 0,5 мг растирался со спиртом в агатовой ступке в течение 1 мин, затем добавлялось 200 мг KBr, после чего смесь растиралась еще в течение 2–3 мин до однородности. Полученная смесь помещалась в пресс-форму диаметром 13 мм и подвергалась давлению 10 т в течение 15–20 мин в гидравлическом прессе. С полученной таким образом таблетки получали ИК-спектр поглощения («исходный образец»). Далее полученный препарат для исключения вклада адсорбированной воды помещался в эксикатор с CaCl₂ и прогревался в течение 20–24 ч при температуре 120°C. Прогретую таблетку снимали во второй раз («образец после температурной обработки»). Идентификация полос поглощения проведена с использованием соответствующих руководств [1, 17, 22, 25].

Результаты и их обсуждение

Фракции гранулометрических элементов существенно различаются химическим составом (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного, % [12]

Фракция	С	N	На прокаленную навеску				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Пыль крупная	1.95	0.14	86.1	7.7	1.0	1.9	1.2
Пыль средняя	7.74	0.60	65.9	10.0	4.5	2.0	0.8
Пыль мелкая	9.90	0.81	52.9	13.8	6.9	2.1	0.7
Ил	7.35	0.64	45.5	16.9	9.4	2.0	0.4

По мере уменьшения размера частиц в них возрастает содержание органического углерода и азота, валового количества алюминия и железа, тогда как содержание кремния и натрия существенно уменьшается. При этом органический углерод и азот преимущественно локализованы во фракциях ила, средней и особенно мелкой пыли.

ИК-спектры фракций гранулометрических элементов чернозема имеют как сходства, так и определенные различия, обусловленные количеством и интенсивностью однотипных полос поглощения (рис. 1).

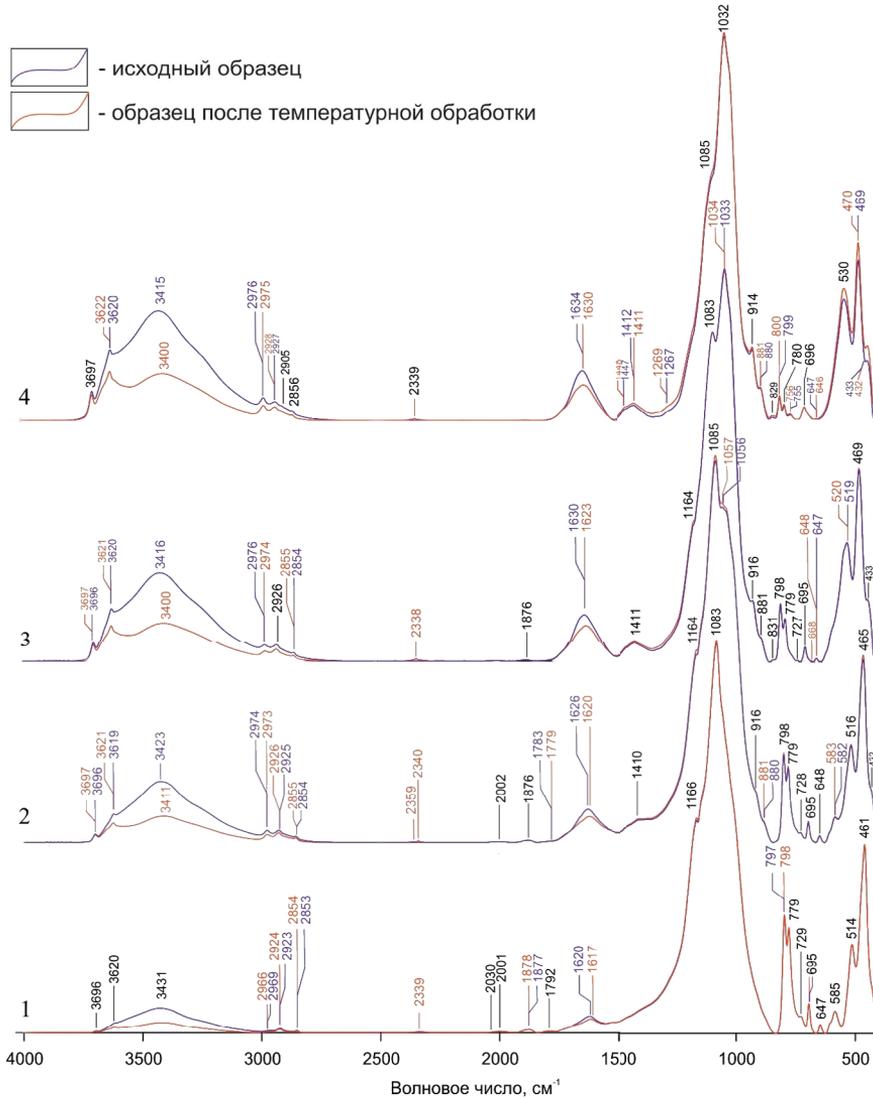


Рис. 1. ИК-спектры поглощения фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного:

1 – крупная пыль; 2 – средняя пыль; 3 – мелкая пыль; 4 – ил

Самый простой ИК-спектр присущ фракции крупной пыли, на котором выделяется довольно ограниченное число полос поглощения, преимущественно имеющих слабую интенсивность (табл. 2).

Оптическая плотность полос поглощения ИК-спектров высушенных образцов фракций гранулометрических элементов чернозема типичного

Область, см ⁻¹	Фракции гранулометрических элементов			
	пыль крупная	пыль средняя	пыль мелкая	илистая
3697	-	0.02	0.03	0.06
3622–3620	-	0.04	0.07	0.10
3431–3400	0.03	0.06	0.08	0.10
2975–2973	-	0.02	0.02	0.03
2928–2924	0.01	0.02	0.02	0.03
2855	-	0.02	0.01	0.02
1878–1876	0.01	0.01	-	-
1630–1617	0.04	0.06	0.07	0.08
1448–1410	-	0.06	0.03	0.03
1269	-	-	-	0.03
1166–1164	0.60	0.38	0.28	-
1085–1083	1.09	0.77	0.66	0.50
1057–1032	-	0.68	0.79	0.78
916	-	0.11	0.12	0.15
881	-	0.04	0.04	0.07
829	-	-	-	0.01
800–798	0.33	0.19	0.11	0.04
780–779	0.29	0.16	0.09	0.03
728	0.05	0.02	-	-
696–695	0.08	0.04	0.02	0.02
647	0.02	0.02	-	-
585–583	0.06	0.06	-	-
530–514	0.25	0.20	0.24	0.24
470–461	0.52	0.38	0.39	0.32
432	-	0.11	0.12	0.16

Широкая и очень слабая полоса поглощения в области 3431 см^{-1} обусловлена группой ОН, связанной межмолекулярными водородными связями и валентными колебаниями групп NH органических соединений. Однако основной вклад в поглощение в этой области вносит гигроскопическая вода, о чем свидетельствует уменьшение интенсивности поглощения этой полосы практически в 2 раза в образце, высушенном при температуре 105°C .

Слабая по интенсивности полоса поглощения при 2924 см^{-1} проявляется за счет валентных асимметричных колебаний связи С–Н групп CH_2 алифатических структур органических веществ этой фракции.

При 1878 см^{-1} обнаруживается очень слабая полоса поглощения не очень ясно происхождения, скорее всего принадлежащая кварцу [34].

Довольно широкая и несколько более интенсивная, чем полосы поглощения в коротковолновой области, полоса поглощения при 1617 см^{-1} имеет сложную природу. Она может быть обусловлена группами С=C ароматических структур, карбоксилат-ионами (COO^-), полосой амид I, частично – гигроскопической водой.

Очень интенсивная полоса поглощения, обусловленная полисахаридами, проявляется при 1083 см^{-1} . Она является наиболее представительной на ИК-спектре фракции крупной пыли. На коротковолновом крыле этой полосы при 1166 см^{-1} отмечается слабо разрешившееся поглощение, вызываемое валентными колебаниями групп Si – O кварца.

Характерный дублет при 798 и 779 см^{-1} и более слабое поглощение при 695 см^{-1} также относятся к кварцу. С валентными колебаниями связи Si – O – Al(Si) плагиоклазов связаны слабые полосы поглощения при 729 и 647 см^{-1} . Этим же минералам принадлежит и несколько более сильное поглощение при 585 см^{-1} , проявляющееся за счет деформационных колебаний связи O – Si(Al) – O. Довольно интенсивная полоса поглощения при 461 см^{-1} обусловлена деформационными колебаниями связи O – Si – O кварца, полевых шпатов типа альбита и глинистых минералов. На ее коротковолновом крыле при 514 см^{-1} проявляется менее интенсивная полоса деформационных колебаний групп Si – O кварца и групп Si – O – Me^{VI} (Al, Mg, Fe) различных алюмосиликатов.

Характерной особенностью ИК-спектра фракции крупной пыли является отсутствие на нем полос поглощения в областях 1070 – 1030 и 945 – 910 см^{-1} , присущих глинистым минералам.

Таким образом, основные полосы поглощения на ИК-спектре фракции крупной пыли представлены полисахаридами, кварцем и полевыми шпатами. Полосы поглощения, характерные для гумусовых кислот и глинистых минералов, или не проявляются, или выражены весьма слабо.

Схожие ИК-спектры поглощения имеют фракции средней, мелкой пыли и ила, однако на них присутствуют полосы поглощения, отсутствующие на ИК-спектре фракции крупной пыли. Довольно широкая полоса средней интенсивности в области 3400 см^{-1} обусловлена группой ОН, связанной межмолекулярными водородными связями и валентными колебаниями группы NH. Однако преимущественно поглощение в этой области происходит за счет гигроскопической воды, о чем свидетельствует резкое уменьшение интенсивности поглощения в образцах, высушенных при температуре 105°C . Поглощение при 3400 см^{-1} у этих фракций в 2–3,3 раза интенсивнее, чем у фракции крупной пыли. На коротковолновом крыле этой полосы обнаруживаются слабые полосы поглощения при 3697 и 3622 – 3621 см^{-1} . Полоса поглощения при 3697 см^{-1} , отсутствующая на ИК-спектре фракции крупной пыли, обусловлена валентными колебаниями несвязанной группы ОН органических соединений типа спиртов, о чем свидетельствует исчезновение этой полосы поглощения

в прокаленных образцах почв [32]. Поглощение при 3622–3621 см^{-1} связано с валентными колебаниями групп Si – OH и Al – OH глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит и др.).

Слабые, но отчетливо выраженные полосы поглощения при 2975–2973 см^{-1} отсутствующих на ИК-спектре фракции крупной пыли принадлежат валентным колебаниям связи C–H групп CH_3 алифатических структур органических веществ. Такое же слабое поглощение при 2926 и 2855 см^{-1} обусловлено валентными асимметричными колебаниями связи C–H групп CH_2 алифатических фрагментов органических веществ фракций, причем поглощение при 2855 см^{-1} на ИК-спектре фракции крупной пыли не проявляется. Незначительный вклад в поглощение в этих областях вносит и гигроскопическая вода.

При 1876 см^{-1} на ИК-спектре фракции средней пыли, как и на ИК-спектре крупнопылевой фракции, проявляется очень слабая полоса поглощения, относимая к кварцу, отсутствующая на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила, которые в отличие от более крупных фракций в меньшей мере обогащены первичными минералами.

В области 1630–1620 см^{-1} проявляется довольно интенсивная широкая и сложная полоса поглощения, обусловленная связями C=C ароматических структур, карбоксилат-ионами (COO^-) и азотсодержащими группировками, частично гигроскопической водой. Обнаруживается она и в глинистых минералах. Интенсивность этой полосы у фракций мелкой пыли и ила в 1,3 и 2 раза сильнее, чем у фракций средней и крупной пыли, что, по-видимому, обусловлено более высоким содержанием специфических гумусовых веществ и глинистых минералов в этих фракциях.

Довольно широкие и слабые полосы поглощения в области 1411–1410 см^{-1} обусловлены плоскостными деформационными колебаниями связи C–H алифатических групп CH_2 , причем на ИК-спектре илистой фракции в этой области проявляются две полосы поглощения при 1448 и 1411 см^{-1} . Это может свидетельствовать о более высокой обогащенности фракции ила алифатическими органическими компонентами по сравнению с другими фракциями. Поглощение на ИК-спектре фракции крупной пыли в этой области отсутствует.

На ИК-спектре фракции средней пыли самая интенсивная полоса поглощения, принадлежащая полисахаридам, обнаруживается при 1085 см^{-1} . На крыльях этой интенсивной полосы присутствуют менее выраженные, не обособившиеся полосы поглощения при 1164 и 1057 см^{-1} . Слабовыраженное поглощение при 1164 см^{-1} на коротковолновом крыле полосы при 1085 см^{-1} вызывается валентными колебаниями групп Si – O кварца, а более отчетливо выраженное поглощение при 1057 см^{-1} обусловлено валентными колебаниями групп Si – O глинистых минералов.

На ИК-спектре фракции мелкой пыли наиболее интенсивная полоса поглощения приурочена к 1034 см^{-1} и обусловлена валентными колебаниями групп Si – O глинистых минералов. На коротковолновом крыле при 1083 см^{-1} проявляется довольно интенсивная и отчетливо выраженная полоса поглощения полисахаридов. На середине этого пика при 1164 см^{-1} присутствует слабо выраженное и проявляющееся в виде перегиба на кривой поглощение, вызываемое валентными колебаниями групп Si – O кварца.

На ИК-спектре илистой фракции самая интенсивная полоса поглощения, обусловленная валентными колебаниями групп Si – O глинистых минералов, проявляется при 1032 см^{-1} . На коротковолновом крыле этой интенсивной полосы при 1085 см^{-1} обнаруживается слабо выраженное и проявляющееся в виде перегиба на кривой поглощение, вызываемое полисахаридами, а очень слабое поглощение при 1269 см^{-1} свидетельствует о присутствии в этой фракции смешанослойных образований слюдисто-монтмориллонитового типа.

На ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила у самого окончания длинноволнового крыла интенсивных полос поглощения в области 1085–1032 см⁻¹ отмечаются довольно слабо выраженные полосы поглощения при 916 и 881 см⁻¹, а у илистой фракции – еще и при 829 см⁻¹. При этом поглощение в области 916 см⁻¹ на ИК-спектре илистой фракции проявляется в виде отчетливо обособившегося пика, тогда как у фракции мелкой пыли – в виде уступа, а у фракции средней пыли – в виде перегиба на кривой. Вероятно, поглощение в этой области имеет сложную природу, поскольку может вызываться как деформационными колебаниями группы СНО альдегидов, так и деформационными колебаниями связи Al^{VI} – O – H...O глинистых минералов типа монтмориллонита и каолинита.

Симптоматично, что на ИК-спектре фракции крупной пыли полосы поглощения при 1057, 916, 881 и 829 см⁻¹ отсутствуют. Это может свидетельствовать о меньшей обогащенности фракции крупной пыли органическими веществами и глинистыми минералами по сравнению с остальными фракциями гранулометрических элементов.

Довольно значительное количество полос поглощения проявляется на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила чернозема в длинноволновой области в интервале 800–430 см⁻¹.

Характерный дублет при 798 и 779 см⁻¹ принадлежит кварцу, а более слабое поглощение при 695 см⁻¹ можно отнести на счет деформационных колебаний группы Si – O не только кварца, но и таких глинистых минералов, как каолинит и монтмориллонит.

Как и у фракции крупной пыли, на ИК-спектре фракции средней пыли присутствует ряд полос поглощения, присущих плагиоклазам и отсутствующих на ИК-спектрах фракции мелкой пыли и ила. Выраженная в виде уступа слабая полоса поглощения при 728 см⁻¹ и очень слабая полоса поглощения при 648 см⁻¹ обусловлены валентными колебаниями связи Si – O – Al(Si). Несколько более сильное поглощение при 585 см⁻¹ проявляется за счет деформационных колебаний связи O – Si(Al) – O.

Одни из самых интенсивных на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила полосы поглощения приурочены к области 530–465 см⁻¹. Обусловлены они валентными и деформационными колебаниями связей O – Si – O и Si – O – Si, которые можно отнести на счет кварца и полевых шпатов типа альбита. Также в этой области вероятно проявление деформационных колебаний групп Si – O – (Al, Mg)^{VI} (монтмориллонит) и Si – O – Fe^{VI} (нонтронит, биотит).

На коротковолновом крыле интенсивной полосы поглощения в области 470–465 см⁻¹ на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила отмечается полоса поглощения при 432 см⁻¹, отсутствующая на ИК-спектре фракции крупной пыли. На ИК-спектрах фракций средней и мелкой пыли эта полоса поглощения выглядит в виде перегиба на кривой, а на ИК-спектре илистой фракции – в виде довольно отчетливого пика. Считается, что поглощение здесь может быть обусловлено деформационными колебаниями групп Al^{VI} – O – H (каолинит), Fe^{VI} – O – H (нонтронит), Si^{IV} – O – H (слюды, монтмориллонит).

Итак, на ИК-спектрах фракций средней, мелкой пыли и ила присутствует больше полос поглощения по сравнению с ИК-спектром фракции крупной пыли. Основные полосы поглощения на ИК-спектрах этих трех фракций принадлежат полисахаридам, глинистым минералам, альдегидам и кварцу.

Таким образом, ИК-спектры фракций гранулометрических элементов чернозема имеют как сходства, так и различия. При этом наблюдается довольно тесная взаимосвязь размеров гранулометрических фракций и их химического и минералогического состава (рис. 2).

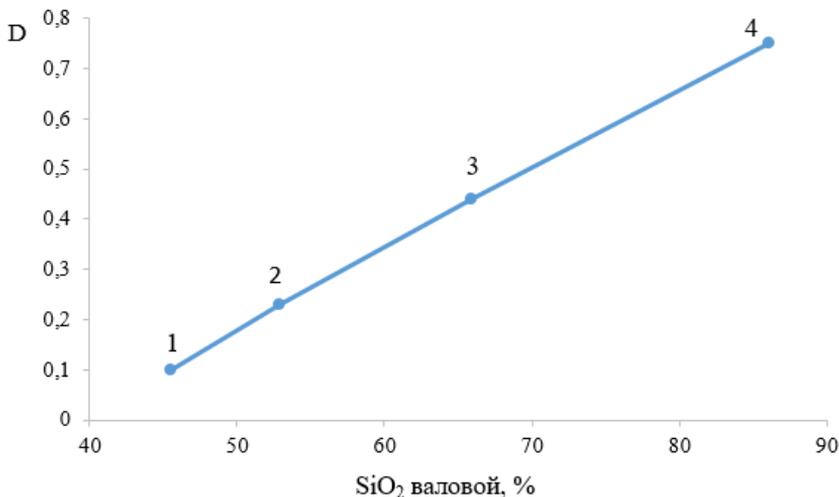


Рис. 2. Зависимость суммарной оптической плотности основных полос поглощения кварца и полевых шпатов от валового содержания SiO₂ в гранулометрических фракциях чернозема типичного:
 1 – илистая фракция; 2 – фракция мелкой пыли;
 3 – фракция средней пыли; 4 – фракция крупной пыли

По мере увеличения размера фракций и валового содержания SiO₂ возрастает величина суммарной оптической плотности основных полос поглощения, принадлежащих кварцу и полевым шпатам, которые преимущественно локализованы во фракциях крупной и средней пыли.

Общность ИК-спектров обусловлена тем, что значительное количество полос поглощения, свойственных индивидуальным минералам и препаратам гумусовых кислот, на них отсутствует. Такого рода данные были получены ранее для нерасчлененных почвенных образцов [17, 33]. Это обусловлено активным взаимодействием органических и минеральных компонентов почвы, поскольку формирование органо-минеральных производных – обязательное звено любого типа почвообразовательного процесса [11]. В результате органо-минеральных взаимодействий происходит блокировка многих активных центров и функциональных групп компонентов, формирующих твердую фазу почвы, что отражается на их свойствах, в том числе на характере ИК-спектров. Сходство ИК-спектров обнаруживается и в расположении на них полос поглощения, большинство из которых приурочено к области 1600–400 см⁻¹, где проявляются наиболее интенсивные полосы поглощения при 1100 и 460 см⁻¹. При этом на всех ИК-спектрах самой интенсивной или одной из самых интенсивных является полоса поглощения полисахаридов. Наряду с этим ИК-спектры фракций гранулометрических элементов имеют и определенные различия, наиболее существенные из которых обнаруживаются при сопоставлении ИК-спектра фракции крупной пыли с ИК-спектрами фракций мелкой пыли и ила, причем различия между ними присущи практически всем участкам спектра.

В коротковолновой части ИК-спектра фракции крупной пыли отсутствуют полосы поглощения, присущие алифатическим CH₂ и CH₃ группам органических соединений и группам Si – OH и Al – OH глинистых минералов, которые на ИК-спектрах фракции мелкой пыли и ила хотя и имеют слабую интенсивность, но проявляются вполне отчетливо. Кроме того, полоса поглощения гигроскопической влаги в этой части спектра у фракции крупной пыли в 2,6–3,1 раза меньше по сравнению с фракциями мелкой пыли и ила.

В средней части спектра полоса поглощения, обусловленная связями C=C и другими важнейшими группировками гумусовых кислот и глинистыми минералами, на ИК-спектре фракции крупной пыли имеет в 1,8–2 раза меньшую интенсивность по сравнению с аналогичными полосами на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила. Наряду с этим на ИК-спектре фракции крупной пыли отсутствуют приуроченные к этой области полосы поглощения алифатических структур гумусовых веществ, которые довольно отчетливо проявляются на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила.

В длинноволновой области на ИК-спектрах гранулометрических фракций проявляются самые выразительные полосы поглощения, по существу определяющие внешний облик ИК-спектров и свидетельствующие о том, что гранулометрические фракции чернозема существенно различаются между собой по вещественному составу. В частности, на ИК-спектре фракции крупной пыли доминирующей является полоса поглощения, обусловленная полисахаридами, а полоса поглощения, наиболее характерная для глинистых минералов, отсутствует. На ИК-спектре фракции средней пыли также самой интенсивной является полоса поглощения, относимая к полисахаридам, однако в отличие от фракции крупной пыли довольно высокую интенсивность имеет и полоса поглощения, принадлежащая глинистым минералам. На ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила, наоборот, полоса поглощения, наиболее характерная для глинистых минералов, является самой интенсивной. Полоса поглощения, присущая полисахаридам, хотя и имеет большую интенсивность, не является доминирующей. Кроме того, на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила отсутствует или проявляется с меньшей интенсивностью ряд полос поглощения, характерных для кварца и полевых шпатов.

Выводы

На ИК-спектрах фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного присутствует сравнительно небольшой и однотипный набор полос поглощения разной интенсивности, многие из которых приурочены к длинноволновой части спектра. Однако на их основании удается установить сходства и различия вещественного состава фракций гранулометрических элементов чернозема. На ИК-спектрах фракций крупной и средней пыли самые интенсивные полосы поглощения принадлежат полисахаридам, а на ИК-спектрах фракций мелкой пыли и ила – глинистым минералам, тогда как полоса поглощения, принадлежащая полисахаридам, хотя и имеет большую интенсивность, занимает подчиненное положение. На всех ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения, принадлежащие кварцу, полевым шпатам и гумусовым веществам.

Библиографический список

1. *Болдырев А.И.* Инфракрасные спектры минералов: М. – М.: Недра, 1976. – 199 с.
2. *Борисочкина Т.И., Кайданова О.В.* Тяжелые металлы во фракциях разной дисперсности почв природных и антропогенных ландшафтов (на примере Курского региона) // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 4. – С. 35–42. DOI: 10.24412/1728–323X-2021–4–35–42. EDN: LQOASS.
3. *Варламов Е.Б., Лебедева М.П., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е.* Особенности профильного распределения минералов во фракциях разной размерности в солонце светлом корковом сухостепной зоны юга России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2018. – № 93. – С. 144–168. DOI: 10.19047/0136–1694–2018–93–144–168. EDN: XWPLTV.

4. Воробьева А.А., Доржиева О.В., Толпеица И.И. Применение ИК-спектроскопии для изучения трансформации биотита в почве // Глины и глинистые материалы: Материалы докладов. – М.: ИГЕМ РАН, 2019. – С. 239–241. EDN: VMWOXY.
5. Воронин А.Д. Основы физики почв: М. – М.: МГУ, 1986. – 224 с.
6. Заварзина А.Г., Кравченко Е.Г., Константинов А.И., Перминова И.В., Чуков С.Н., Демин В.В. Сравнение свойств препаратов гуминовых кислот, выделенных из почв щелочной экстракцией в присутствии и отсутствие кислорода // Почвоведение. – 2019. – № 8. – С. 910–922. DOI: 10.1134/S0032180X19080161. EDN: FKNZFM.
7. Игнатьева С.Л., Черников В.А., Кончиц В.А. Изучение влияния систем удобрения и обработки почвы на гумусовые кислоты дерново-подзолистой почвы с использованием ИК-спектроскопии // Известия ТСХА. – 2008. – Вып. 2. – С. 32–41. DOI: 10.31857/S0032180X22601153. EDN: НОСІІS.
8. Козут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 794–802. EDN: SJVDRB.
9. Крылов В.А., Мамонтов В.Г., Лазарев В.И., Рыжков О.В. Влияние различного землепользования на элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области // Почвоведение. – 2022. – № 8. – С. 981–989. DOI: 10.31857/S0032180X22080081. EDN: LYNCAM.
10. Латышева Л.А. Органическое вещество гранулометрических фракций и его роль в формировании морфогенетического своеобразия буроземов острова Русский // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». – 2022. – № 4–2 (216–2). – С. 28–37. DOI: 10.18522/1026–2237–2022–4–2–28–37. EDN: PYXHWX.
11. Мамонтов В.Г. Общее почвоведение: Учебник. – 2-е изд. – М.: КНОРУС, 2023. – 554 с.
12. Мамонтов В.Г., Чинилин А.В., Рогова О.Б., Варламов Е.Б., Рыжков О.В. Особенности вещественного состава гранулометрических фракций чернозема типичного Курской области // Современное состояние черноземов: Материалы II Международной конференции. – Ростов-на-Дону; Таганрог, 2018. – С. 167–175. EDN: XZQСXB.
13. Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2020. – № 101. – С. 182–201. DOI: 10.19047/0136–1694–2020–101–182–201. EDN: ADTVWD.
14. Овчиникова М.Ф. Изменение содержания, состава и свойств гумусовых веществ в гранулометрических фракциях дерново-подзолистых почв при длительном осушении // Почвоведение. – 2018. – № 6. – С. 693–703. DOI: 10.7868/S0032180X18060059. EDN: XQNGUH.
15. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв: М. – М.: Изд-во Московского университета, 1974. – 335 с.
16. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации: М. – М.: Изд-во Московского университета, 1990. – 324 с.
17. Орлов Д.С., Осипова Н.Н. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов: М. – М.: Изд-во Московского университета, 1988. – 89 с.
18. Путеводитель почвенной экскурсии «Восточно-Европейская равнина. Лесостепная и степная зоны». – М.: Наука, 1974. – 95 с.
19. Роде А.А. Избранные труды. Т. 1. Теоретические проблемы почвоведения и вопросы генезиса почв. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. – 600 с.

20. *Розанов Б.Г.* Морфология почв: М. – М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
21. *Самонова О.А., Асеева Е.Н., Касимов Н.С.* Распределение металлов по гранулометрическим фракциям в балочной почвенно-геохимической системе (Юго-Восточная часть Смоленско-Московской возвышенности) // Вестник Московского университета. Серия 5 «География». – 2018. – № 6. – С. 34–46. EDN: VTBOVL.
22. *Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д.* Спектрофотометрическая идентификация органических соединений: М. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
23. *Симонов Г.А.* Содержание и минералогический состав коллоидных и предколлоидных фракций в зональном ряду почв Европейской России // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 722–732. EDN: OOITLX.
24. *Соколова Т.А., Толпешта И.И., Изосимова Ю.Г.* Подвижные соединения Al и Si в палево-подзолистых почвах Центрального лесного заповедника: содержание, распределение по профилю и гранулометрическим фракциям // Почвоведение. – 2017. – № 6. – С. 672–679. DOI: 10.7868/80032180X17040116. EDN: YTMAYN.
25. *Степанов И.С.* Применение метода инфракрасной спектроскопии в почвоведении: М. – М.: ВАСХНИЛ, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1976. – 71 с.
26. *Фокин А.Д.* Почва, биосфера и жизнь на Земле: М. – М.: Наука, 1986. – 176 с.
27. *Холодов В.А., Фарходов Ю.Р., Ярославцева Н.В., Айдиев А.Ю., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Иванов А.Л., Куликова Н.А.* Термолабильное и термостабильное органическое вещество черноземов различного землепользования // Почвоведение. – 2020. – № 8. – С. 970–982. DOI: 10.31857/S0032180X20080080. EDN: ULXCEQ.
28. *Черников В.А.* Методы структурной диагностики органического вещества почв // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия, ВНИПТИОУ, 2005. – С. 135–147.
29. *Черников В.А., Старых С.Э., Кончиц В.А.* Изменение состава гумусовых кислот дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений // Известия ТСХА. – 1993. – Вып. 2. – С. 99–106.
30. Черноземы СССР: М. – М.: Колос, 1974. – Т. 1. – 560 с.
31. *Шаймухаметов М.Ш., Тутова Н.А., Травникова Л.С., Лабинец Е.М.* Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. – 1984. – № 8. – С. 131–141. EDN: YVHKJV.
32. *Шумилова М.А., Петров В.Г.* ИК-спектроскопические исследования поглотительной способности почв Удмуртской Республики // Химическая физика и мезоскопия. – 2015. – Т. 17, № 1. – С. 132–137. EDN: TPCYZJ.
33. *Dick D.P., Santos J.H.Z., Ferranti E.M.* Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern brazilian soils // Revista Brasileira de Ciência do Solo. – № 27 (1). – Pp. 29–39. DOI: 610.1590/s0100–06832003000100004.
34. *Janik L.J., Merry R.H., Forester S.T., Layon D.M., Rawson A.* Rapid prediction of soil water retention using mid infrared spectroscopy // Soil Science Society of America Journal. – 2007. – Vol. 71, № 2. – Pp. 507–514. DOI: 10.2136/sssaj2005.0391.
35. *Kelly S.D., Hesterberg D., Ravel B.* Analysis of soils and minerals using X-ray absorption spectroscopy // Method of soil analysis. Part 5. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. – 2008. – Pp. 387–464.
36. *Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A.* Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. – 2020. – № 7:6. DOI: 10.1186/s40538–019–0172–1.
37. *Tinti A., Tugnoli V., Bonora S., Fransioso O.* Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review // Journal of Central European Agriculture. – 2015. – Vol. 16. – Iss. 1. – Pp. 1–22. DOI: 10.5513/JCEA01/16.1.1535.

INFRARED ABSORPTION SPECTRA OF GRANULOMETRIC ELEMENT FRACTIONS OF TYPICAL VIRGIN CHERNOZEM OF THE KURSK REGION

V.G. MAMONTOV, S.A. BELYAEVA, K.A. SHMAKOVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The fractions of granulometric elements isolated by the method of roiling from the humus-accumulative horizon A of the deep typical virgin chernozem of the Kursk Region were studied using infrared spectroscopy. According to the data obtained, the fractions of granulometric elements differ significantly in their material composition. The coarse dust fractions mainly consist of quartz, feldspar, polysaccharides and a small amount of specific humus substances. The fine dust fractions, and in particular the silt fraction, differ significantly in material composition from the coarse dust fractions. They are mainly composed not only of polysaccharides, but also of clay minerals, including alternating layer formations of the mica-montmorillonite type, a much higher amount of specific humus substances, and less quartz and feldspar. The medium dust fractions occupy an intermediate position in terms of material composition and are closer to the fine fractions than to the coarse dust fractions. The method of infrared spectroscopy makes it possible to reveal fundamental differences in the material composition between individual granulometric fractions. However, a number of specific features inherent to individual components of the soil solid phase are not apparent in the infrared spectra of granulometric fractions. This is due to the active interaction between the organic and mineral components of the soil. As a result of such interactions many active centers and functional groups are blocked and do not appear in the infrared spectra.

Key words: IR spectroscopy, granulometric fractions, humic substances, polysaccharides, quartz, feldspar, clay minerals, Haplic Chernozem (Loamic, Pachic).

References

1. Boldyrev A.I. Infrared spectra of minerals. Moscow: Nedra, 1976: 199. (In Rus.)
2. Borisochkina T.I., Kaydanova O.V. Heavy metals in fractions of different dispersity in soils of natural and anthropogenic landscapes (on the example of the Kursk region). *Problemy regional'noy ekologii*. 2021; 4: 35–42. DOI: 10.24412/1728–323X-2021–4–35–42 . EDN: LQOASS (In Rus.)
3. Varlamov E.B., Lebedeva M.P., Churilin N.A., Churilina A.E. Features of the profile distribution of minerals in fractions of different dimensions in the light solonetz of the dry steppe zone of southern Russia. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2018; 93: 144–168. DOI: 10.19047/0136–1694–2018–93–144–168. EDN: XWPLTV (In Rus.)
4. Vorob'eva A.A., Dorzhieva O.V., Tolpeshta I.I. Application of IR spectroscopy to study the transformation of biotite in soil. *Gliny i glinistye materialy. Materialy Dokladdov*. M.: IGEM RAN, 2019; 239–241. EDN: VMWOXY (In Rus.)
5. Voronin A.D. Fundamentals of soil physics. M.: MGU, 1986: 224. (In Rus.)
6. Zavarzina A.G., Kravchenko E.G., Konstantinov A.I., Perminova I.V., Chukov S.N., Demin V.V. Comparison of the Properties of Humic Acids extracted from Soils by Alkali in the Presence and Absence of Oxygen. *Eurasian Soil Science*. 2019; 8: 910–922. DOI: 10.1134/S0032180X19080161. EDN: FKNZFM. EDN: FKNZFM (In Rus.)
7. Ignat'eva S.L., Chernikov V.A., Konchits V.A. Study of the effect of fertilization and tillage systems on humic acids in soddy-podzolic soil using IR spectroscopy. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008; 2: 32–41. DOI: 10.31857/S0032180X22601153. EDN: HOCHIS (In Rus.)
8. Kogut B.M. Transformation of the humus state of chernozems during their agricultural use. *Eurasian Soil Science*. 1998; 7: 794–802. EDN: SJVDRB (In Rus.)

9. Krylov V.A., Mamontov V.G., Lazarev V.I., Ryzhkov O.V. Effect of different land use on the elemental composition of Labile Humic Substances in Chernozem Typical of the Kursk Region. *Eurasian Soil Science*. 2022; 8: 981–989. DOI:10.31857/S0032180X22080081. EDN: LYNCAM (In Rus.)
10. Latysheva L.A. Organic matter of granulometric fractions and its role in the formation of morphogenetic originality of burozems of Russky Island. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2022. 4–2 (216–2): 28–37. DOI:10.18522/1026–2237–2022–4–2–28–37. EDN: PYXHWX (In Rus.)
11. Mamontov V.G. *General soil science: textbook, 2nd edition*. M.: KNORUS, 2023: 554. (In Rus.)
12. Mamontov V.G., Chinilin A.V., Rogova O.B., Varlamov E.B., Ryzhkov O.V. Special characteristics of the material composition of granulometric fractions in typical chernozem of the Kursk region. *Sovremennoe sostoyanie chernozemov: materialy II Mezhdunarodnoi konferentsii*. Rostov-na-Donu; Taganrog, 2018: 167–175. (In Rus.)
13. Mamontov V.G., Artem'eva Z.S., Lazarev V.I., Rodionova L.P., Krylov V.A., Akhmedzyanova R.R. Comparative characteristics of the properties of virgin, arable and fallow chernozem typical of the Kursk region. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2020; (101): 182–201. DOI: 10.19047/0136–1694–2020–101–182–201. EDN: ADTVWD (In Rus.)
14. Ovchinnikova M.F. Changes in the content, composition and properties of humic substances in the granulometric fractions of soddy-podzolic soils during prolonged draining. *Eurasian Soil Science*. 2018; 6: 693–703. DOI: 10.7868/S0032180X18060059. EDN: XQNGUH (In Rus.)
15. Orlov D.S. *Soil humic acids*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1974: 335. (In Rus.)
16. Orlov D.S. *Soil humic acids and the general theory of humification*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1990: 324. (In Rus.)
17. Orlov D.S., Osipova N.N. *Infrared spectra of soils and soil components*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. 1988: 89. (In Rus.)
18. *Soil Excursion Guide “East European Plain. Forest-steppe and steppe zones”*. M.: Nauka, 1974: 95. (In Rus.)
19. Rode A.A. *Selected works. Vol. 1. Theoretical problems of soil science and issues of soil genesis*. M.: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii, 2008: 600. (In Rus.)
20. Rozanov B.G. *Soil morphology*. M.: Akademicheskiiy proekt, 2004: 432. (In Rus.)
21. Samonova O.A., Aseeva E.N., Kasimov N.S. Distribution of metals by granulometric fractions in the beam soil-geochemical system (South-Eastern part of the Smolensk-Moscow Upland). *Lomonosov Geography Journal*. 2018. 6: 34–46. (In Rus.)
22. Sil'verstejn R., Vebster F., Kiml D. Spectrophotometric identification of organic compounds. M.: BINOM, Laboratoriya znaniy, 2014: 557. (In Rus.)
23. Simonov G.A. The content and mineralogical composition of colloidal and coarse clay fractions in the zonal soil sequence of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2003. 6: 722–732. (In Rus.)
24. Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Izosimova Yu.G. Extractable Al and Si compounds in pale-podzolic soils of the Central Forest Reserve: content and distribution along the profile and by size fractions. *Eurasian Soil Science*. 2017. 6: 672–679. DOI: 10.7868/80032180X17040116. EDN: YTMAYN (In Rus.)
25. Stepanov I.S. *Application of the infrared spectroscopy method in soil science*. M: VASKhNIL, Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 1976: 71. (In Rus.)
26. Fokin A.D. *Soil, biosphere and life on the Earth*. M.: Nauka, 198: 176. (In Rus.)
27. Kholodov V.A., Farkhodov Yu.R., Yaroslavtseva N.V., Aydiev A.YU., Lazarev V.I., Il'in B.S., Ivanov A.L., Kulikova N.A. Thermolabile and thermostable organic matter of chernozems under different land uses. *Eurasian Soil Science*. 2020. 8: 970–982. DOI: 10.31857/S0032180X20080080. EDN: ULXCEQ (In Rus.)

28. *Chernikov V.A.* Methods of structural diagnostics of soil organic matter. *Metody issledovaniy organicheskogo veshchestva pochv.* M.: Rossel'khozakademiya, VNIPTIOU, 2005: 135–147. (In Rus.)
29. *Chernikov V.A., Starykh S.E., Konchits V.A.* Changes in the composition of humic acids in soddy-podzolic heavy loamy soil with long-term use of organic and mineral fertilizers. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 1993; 2: 99–106. (In Rus.)
30. Chernozems of the USSR. V. 1. M.: Kolos, 1974: 560. (In Rus.)
31. *Shaymukhametov M.Sh., Titova N.A., Travnikova L.S., Labinets E.M.* Application of physical fractionation methods to characterize soil organic matter. *Eurasian Soil Science.* 1984. 8: 131–141. EDN: YVHKJV (In Rus.)
32. *Shumilova M.A., Petrov V.G.* IR-spectroscopic studies of the absorption capacity of soils in the Udmurt Republic. *Chemical Physics and Mesoscopy.* 2015; 17; 1: 132–137. EDN: TPCYZJ (In Rus.)
33. *Dick D.P., Santos J.H.Z., Ferranti E.M.* Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern Brazilian soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 27 (1): 29–39. DOI:610.1590/s0100–06832003000100004
34. *Janik L.J., Merry R.H., Forester S.T., Layon D.M., Rawson A.* Rapid prediction of soil water retention using mid infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal.* 2007; 71; 2: 507–514. DOI:10.2136/sssaj2005.0391
35. *Kelly S.D., Hesterberg D., Ravel B.* Analysis of soils and minerals using X-ray absorption spectroscopy. Method of soil analysis. Part 5. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, 2008: 387–464.
36. *Nuzzo A., Buurman P., Cozzolino V., Spaccini R., Piccolo A.* Infrared spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 2020. 7: 6. DOI:10.1186/s40538–019–0172–1
37. *Tinti A., Tugnoli V., Bonora S., Fransioso O.* Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review. *Journal of Central European Agriculture.* 2015; 16; 1: 1–22. DOI:10.5513/JCEA01/16.1.1535

Мамонтов Владимир Григорьевич, д-р биол. наук, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; e-mail: mamontov1954@inbox.ru; тел.: (915) 313–35–68

Беляева Светлана Алексеевна, аспирант кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; e-mail: belyaevasa@rgau-msha.ru; тел.: (977) 866–03–42

Шмакова Кристина Алексеевна, аспирант, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; e-mail: kshmakova@rgau-msha.ru; тел.: (985) 505–45–22

Vladimir G. Mamontov, DSc (Bio), Professor of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (915) 313–35–68; E-mail: mamontov1954@inbox.ru)

Svetlana A. Belyaeva, post-graduate student of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (977) 866–03–42; E-mail: belyaevasa@rgau-msha.ru)

Shmakova Kristina Alekseevna, post-graduate student, assistant of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (985) 505–45–22; E-mail: kshmakova@rgau-msha.ru)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗМНОЖЕНИЯ
ЖИМОЛОСТИ СИНЕЙ (*LONICERA CAERULEA* L.)
ОДРЕВЕСНЕВШИМИ ЧЕРЕНКАМИ

О.В. ЛАДЫЖЕНСКАЯ, Т.С. АНИСЬКИНА, М.В. СИМАХИН

Жимолость синяя (Lonicera caerulea L.) – перспективная ягодная культура, которая за счет разнообразия сортового ассортимента с различными сроками созревания может поступать в продажу в течение всего летнего периода. Занимаемые площади жимолости в России составляют 700 га. Для увеличения промышленных плантаций необходимо обеспечить фермерские хозяйства качественным посадочным материалом. Одним из способов получения саженцев является одревесневшее черенкование. Целью работы является подбор стимулятора корнеообразования для одревесневших черенков жимолости. Эксперимент проводили в Московской области. В качестве объектов исследования использовали: сорта жимолости Волхова, Нимфа и Павловская, препараты Корневин и ЭкоФус. Опыт представлен в 4 вариантах, в каждом варианте – по 100 черенков. При проведении двухфакторного дисперсионного анализа было отмечено отсутствие влияния сортовых особенностей на укореняемость черенков, объем корней, количество и длину побегов у саженцев. Процент укоренения у сортов варьировал от 73 до 81%, объем корней (4,12–4,64 мл), количество (2,63–2,81 шт.), длина побегов (4,32–6,16 см) отличались также незначительно. Установлено достоверное влияние регуляторов роста на изучаемые признаки. Наилучшее развитие надземной и подземной частей оказалось у саженцев при совместном применении препаратов Корневин и ЭкоФус. При этом укореняемость оказалась также на высоком уровне (81%), что говорит о целесообразности использования исследуемых препаратов. По результатам других исследований на таких культурах, как бальзамин, глоксиния и цикламен, доказана эффективность использования препарата ЭкоФус. Количество листьев увеличивалось на 35–40% в зависимости от вида растения. Исследования совместного применения препаратов Циркон, Силиплант и ЭкоФус показали положительное влияние на вегетативное размножение и продуктивность у черемши. Высокую эффективность показали препараты Силиплант, ЭкоФус и Цитовит на урожайность винограда сортов Ранний Магарача и Карабурну. Имеются отрицательные результаты по укоренению черенков форзиции ЭкоФус. В данном эксперименте на коэффициент размножения могли повлиять концентрация препарата и длительность экспозиции – с учетом того, что зеленые черенки имеют невызревшие ткани, и это могло спровоцировать негативный эффект. Необходимо учитывать также особенности самой культуры. Имеется необходимость продолжить исследования по данному вопросу.

Ключевые слова: жимолость, плоды жимолости, саженцы, выращивание, черенки, укоренение, посадочный материал, размножение.

Введение

Lonicera caerulea L. включает в себя более чем 200 подвигов. Согласно исследованиям оригинальный вид жимолости синей появился в конце III в. и занял вторичные территории благодаря миграции в ледниковый период. Сейчас видовые

растения встречаются на севере России, в Центральном и Северо-Восточном Китае [1–3], из чего следует, что жимолость является одной из самых морозостойких культур для северных регионов [4, 5]. Три фенотипически отличающиеся основные группы гермоплазмы, которые используют в селекции жимолости, происходят из Японии (*L. emphyllocalyx*), России (*L. edulis* и *L. kamtschatica*), в том числе Курильских островов [6].

Жимолость – перспективная культура в цепочке круглогодичного поступления ягодной продукции на российском рынке. Общая площадь промышленных садов жимолости в России находится в пределах 700 га. Размеры плантаций имеют площадь от 1 до 100 га. Плантации площадью более 100 га являются молодыми и только начинают вступать в плодоношение [7]. В настоящее время чаще всего выращивают ягоды жимолости в России, Канаде, Японии и Польше [8].

В 2008 г. в Сельскохозяйственном университете Саскачевана (Канада) была представлена одна из самых разнообразных коллекций в мире: 35 российских сортов жимолости; более 70 сортов селекции «японского типа»; сотни саженцев из программы селекции доктора Максин Томпсон в Орегоне; 6 видов с Курильских островов; около 600 образцов, собранных в бореальных лесах Канады [9]. На сегодняшний день в Университете Саскачевана отобраны самые устойчивые японские формы. В 2007 г. были представлены два сорта: *Borealis* и *Tundra*. Эти сорта выносят понижение температуры до $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$, медленно выходят из состояния покоя, что предотвращает цветение в осенний период при длительных положительных температурах или во время оттепелей в зимний период. Данная сортовая особенность обусловлена использованием в селекции жимолости мелкосетчатой (*Lonicera emphyllocalyx* Maxim.) [10].

На данный период в Канаде посажено около 100 га жимолости, а также сформирована группа производителей под названием *Naskap Canada Association*, целью которой является продвижение маркетинга и производства этой ягодной культуры [11]. В России также существует Ассоциация производителей жимолости, где обсуждаются вопросы перспективы выращивания данной культуры, переработки и реализации жимолости [12].

Плоды жимолости съедобной созревают на две недели раньше земляники, привлекают потребителей малиново-черничным вкусом, легким отделением созревшей ягоды от плодоножки [13]. На сегодняшний день выведены сорта с разным сроком созревания, что позволяет растянуть период получения жимолости до 30–40 дней [14]. Сорта *Boreal Blizzard* и *Boreal Beauty* канадской селекции, представленные в 2014 г., отличаются не только более поздним сроком созревания, но и крупными плодами. Сорт «*Boreal Beauty*» созревает в середине июля, а *Boreal Blizzard* – в начале августа, что подтверждает перспективу производства ягод жимолости в течение всего летнего периода при совместном выращивании сортов отечественной селекции и канадской [15].

В плодах жимолости содержится значительное количество витамина С (от 29 до 187 мг на 100 г), витамины группы В, также для них характерны высокие значения антоцианов (от 400 до 1500 мг на 100 г) [16–18]. Многие исследователи подтвердили, что антоцианы являются полезными для человека, так как обладают нейропротекторными, противоопухолевыми, антиоксидантными и поддерживающими сердечно-сосудистую систему свойствами [19–21]. По результатам проведенных исследований Marta Gołba было установлено, что в ягодах жимолости содержится множество поглотителей свободных радикалов [22]. Согласно данным Halvorsen такие культуры, как ежевика, земляника садовая, малина, клюква и черника, обладают высокой антиоксидантной активностью [23]. Доказано, что ягоды жимолости проявляют большую активность, чем земляника садовая или ежевика. По результатам

анализа FRAP (железо-редуцирующая антиоксидантная способность) антиоксидантная способность сорта «Borealis» составляет 46,38 мг/100 г сырой массы, в то время как у земляники – 8,00 мг/100 г, у ежевики – 15,03 мг/100 г сырой массы [24]. Плоды жимолости пригодны в пищу в свежем виде, а также в качестве обогащающей добавки в соки, при приготовлении джемов, вин, кондитерских изделий [25, 26].

Поступление посадочного материала обеспечивается путем заготовки зеленых и одревесневших черенков, а также методами клонального микроразмножения [14, 27]. Каждый из этих методов нуждается в ряде усовершенствований, так как появляются современные сорта, препараты, влияющие на гормональный фон растений и агротехнику выращивания. Известно, что высокий выход укоренившихся черенков (до 85–100% у отдельных сортов) наблюдается при зеленом черенковании, а количество посадочного материала после укоренения одревесневших черенков может не превышать 5% без применения стимуляторов [14]. Однако необходимо учитывать, что использование одревесневших черенков может быть экономически выгоднее, так как их можно заготавливать во время ранневесенней обрезки кустарников, высаживая черенки в грунт, без использования дополнительных субстратов, рассадных кассет, теплицы и туманообразующей установки. Важным фактором при использовании одревесневшего черенкования является подбор стимулятора ризогенеза.

Цель исследований: подбор регуляторов корнеобразования для получения укоренных одревесневших черенков жимолости.

В задачи исследований входило определение оптимального варианта для повышения коэффициента размножения и качественного посадочного материала.

Материал и методы исследований

Исследования проводили в частном питомнике растений LOVe Berry в Московской области, с. Семеновское, в течение двух лет. Объектами исследования являлись сорта жимолости синей селекции ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова: Волхова, Нимфа и Павловская.

Сорт Волхова – среднераннего срока созревания. Куст сильнорослый, густой. Ягоды удлинненно-овальной формы с заостренной верхушкой. Кожица средней толщины, голубовато-синей окраски. Средняя масса ягоды – 0,8 г, вкус сладкий с нежным ароматом. Дегустационная оценка – 4,7 балла. Урожайность – до 3 кг с куста. Сорт универсального назначения [28].

Сорт Нимфа – среднераннего срока созревания. Куст сильнорослый, слаборакистый. Ягоды имеют среднюю массу 1,2 г, удлинненно-веретеновидные, с бугристой поверхностью, голубовато-синего цвета, с кожицей средней толщины, сладкого вкуса, с ароматом. В отдельные годы присутствует осеннее цветение. Урожайность средняя, до 2 кг/куст. Дегустационная оценка – 4,7 балла [29].

Сорт Павловская – среднего срока созревания. Куст среднерослый, ширококонической формы, средней высоты. Ягоды средней массой 1,2 г, удлинненно-овальной формы, плотные, с гладкой поверхностью, кисло-сладкого вкуса, со слабой осыпаемостью. Вкус сладкий. Урожайность средняя, до 2 кг/куст. Осеннее цветение отсутствует. Сорт десертный. Дегустационная оценка – 4,6 балла [29].

Для укоренения одревесневших черенков использовали: препарат Корневин (4(индол-3ил) масляная кислота, СельхозЭкосервис, Россия); препарат ЭкоФус, выделенный из водоросли фукус (18–20–10, МЭ (мг/л), – Mg 0,5; S40; Fe 1,8; Mn 1,2; Mo 0,2; Co 0,1; Ca 0,25; НЭСТ М, Россия); совместно – препараты Корневин и ЭкоФус. Заготовку черенков проводили в феврале с пятилетних маточников жимолости и хранили до посадки в ящиках с песком в хранилище при температуре –2°C.

В апреле черенки длиной 10–15 см перед посадкой выдерживали в воде в течение 6 ч (контроль). В варианте с использованием Корневина черенки опудривали непосредственно перед посадкой. В варианте с ЭкоФусом черенки выдерживали в растворе препарата (3 мл/л) с экспозицией в течение 6 ч. В варианте совместного применения препаратов черенки выдерживали в растворе ЭкоФус в течение 6 ч, затем, перед посадкой, обрабатывали препаратом «Корневин». В каждом варианте было высажено по 100 черенков. Общее количество черенков в опыте составило 1200 шт. Схема посадки: 15 × 10 см. Высаживали черенки в гряды с речным песком. Влажность субстрата поддерживали на уровне 65–75%. На опытном участке использовали дождевальную полив.

Учет и наблюдения были проведены согласно стандартной методике постановки опытов с плодовыми культурами [30] по признакам: укореняемость, %; объем корней, мл; количество побегов, мл; длина побега, см. Измерения по параметрам проводили 16 октября 2022 г.

Анализ экспериментальных данных выполнен в программе Microsoft Excel 2016 методами описательной статистики ($p = 0,05$) и двухфакторного дисперсионного анализа без повторностей. Сравнение средних проведено по методу НСР₀₅ [31, 32].

Результаты и их обсуждение

Черенки жимолости визуально имеют изменчивость по укореняемости, развитию корневой системы и побегов. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторностей показал отсутствие влияния сортовых особенностей на укореняемость черенков, объем корней, количество и длину побегов у саженцев. Процент укоренения у сортов варьировал от 73 до 81%, объем корней (4,12–4,64 мл), количество (2,63–2,81 шт.) и длина побегов (4,32–6,16 см) отличались также недостоверно (табл. 1).

Таблица 1

Укореняемость и показатели развития саженцев жимолости сортов Волхова, Нимфа и Павловская (значения являются средними со стандартными отклонениями)

Сорт / Variety	Укореняемость, %	Объем корней, мл	Количество побегов, шт.	Длина побегов, см
Волхова	80±19	4,12±0,95	2,71±0,96	4,32±0,75
Нимфа	81±8	4,64±0,37	2,81±0,72	6,16±1,08
Павловская	73±13	4,15±0,79	2,63±0,81	4,66±0,57

Установлено влияние регуляторов роста на изучаемые признаки. На длину побегов регуляторы достоверного влияния не оказали, к тому же признак варьировал незначительно – от 4,66 см до 5,44 см. Высокий процент укоренения у черенков установлен при обработке Корневином (92%). Наименьший процент укоренения – без обработки регуляторами (62%). В контрольном варианте объем корневой системы (3,46 мл) и количество побегов (2,01 шт.) оказались минимальными. Наилучшее развитие корневой и побеговой систем оказалось у саженцев, обработанных одновременно Корневином и ЭкоФусом, причем укореняемость оказалась также на высоком уровне (81%). Полученные результаты свидетельствуют о положительном действии регуляторов на укореняемость, и ЭкоФуса – на развитие саженцев (рис. 1–5).

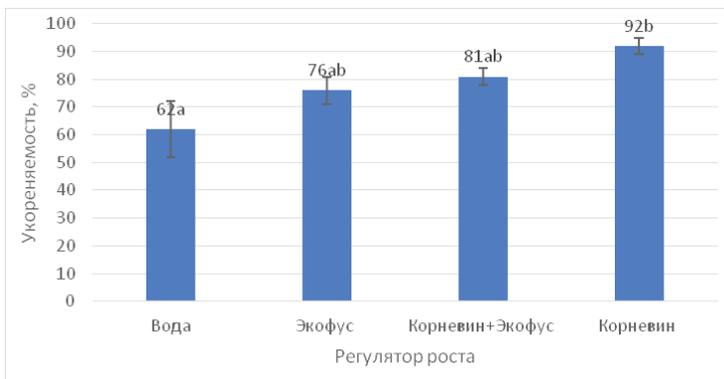


Рис. 1. Укореняемость черенков в зависимости от регуляторов роста (значения являются средними по вариантам со стандартными отклонениями и группами согласно результатам дисперсионного анализа)

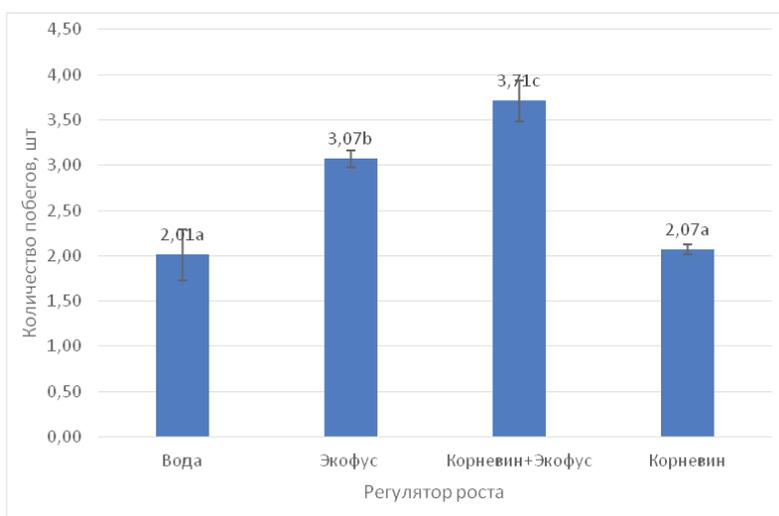


Рис. 2. Количество побегов у черенков саженцев в зависимости от регуляторов роста (значения являются средними по вариантам со стандартными отклонениями и группами согласно результатам дисперсионного анализа)

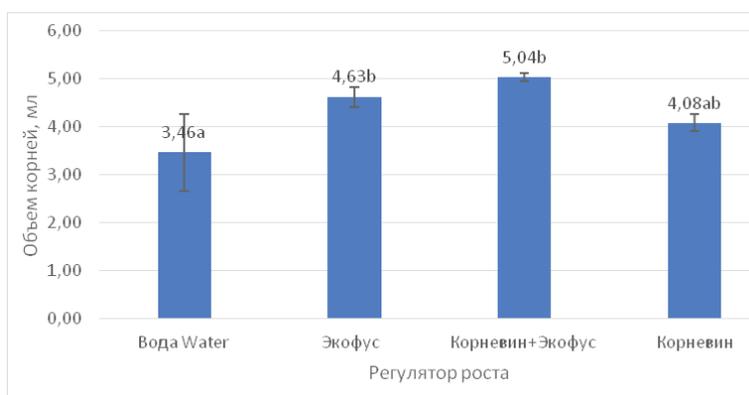


Рис. 3. Объем корней у саженцев в зависимости от регуляторов роста (значения являются средними по вариантам со стандартными отклонениями и группами согласно результатам дисперсионного анализа)

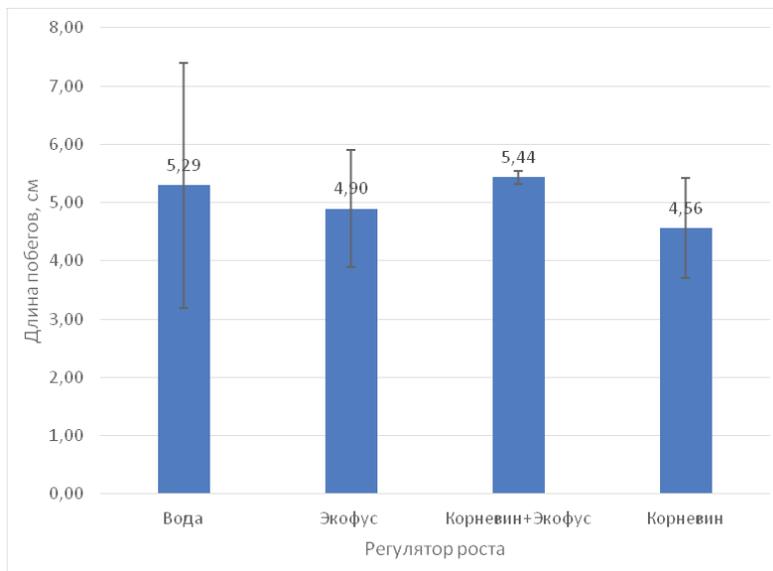


Рис. 4. Длина побегов у саженцев в зависимости от регуляторов роста (значения являются средними по вариантам со стандартными отклонениями и группами согласно результатам дисперсионного анализа)



Рис. 5. Саженцы Волхова (слева направо: ЭкоФус + Корневин, контроль, ЭкоФус, Корневин)

По данным М.И. Мраморной, был получен положительный результат при использовании препарата ЭкоФус на таких культурах, как бальзамин, глоксиния и цикламен. Применение удобрений на основе фукусовых водорослей увеличило количество листьев на 35–40% в зависимости от вида растения [33]. В наших исследованиях количество побегов с использованием препарата ЭкоФус составило 3,07 шт., в сравнении с контрольным вариантом – 2,01 шт, что подтверждает влияние удобрения на развитие надземной части растений.

Согласно проведенным исследованиям О.М. Савченко совместное применение препаратов Циркон, Силиплант и ЭкоФус оказывает положительное влияние на вегетативное размножение и продуктивность у двух видов черемши. Объединяя регулятор Циркон с удобрением ЭкоФус, можно увеличить количество дочерних луковиц лука медвежьего с 4 до 43% [34]. При проведении нашего исследования была отмечена наивысшая укореняемость одревесневших черенков при использовании регулятора роста Корневин (92%). Однако при совместном использовании препаратов

Корневин и ЭкоФус укореняемость была снижена незначительно (81%), при этом надземная и корневая системы были более развитыми, что говорит о лучшей приживаемости черенков при дальнейшей их высадке в субстрат, а также при доращивании до стандартного саженца.

Высокую эффективность показали препараты компании НЭСТ М (Силиплант, ЭкоФус, Цитовит) на урожайность винограда сортов Ранний Магарача и Карабурну. При использовании препарата ЭкоФус урожайность сорта винограда Ранний Магарача составляла 7,8 кг в сравнении с контролем (без удобрений) – 6,7 кг с куста. Продуктивность сорта Карабурну в контрольном варианте составила 6 кг, в варианте с ЭкоФусом – 9 кг с куста. Обработку кустов проводили по листу водным раствором удобрений 0,5 л/куст [35]. Исходя из вышеуказанных данных удобрение ЭкоФус даёт положительный эффект на всех этапах развития растения. Однако по результатам исследований Н.В. Мартыновой анализ способности к укоренению зеленых черенков форзиции промежуточной с применением разных видов биологически активных веществ показал, что лучшие данные по укореняемости отмечены в варианте при обработке гетероауксином, худшие – с ЭкоФусом [36].

В наших исследованиях установлено положительное влияние на укоренение черенков с применением как препарата Корневин, так и удобрения ЭкоФус. При зеленом черенковании экспозиция выдерживания черенков в 0,5%-ном растворе удобрения на основе фукусовых водорослей составляла 24 ч. В нашем эксперименте при одревесневшем черенковании применен 0,3%-ный раствор удобрения, экспозиция составила 6 ч. Предположительно на коэффициент размножения могли повлиять концентрация препарата и длительность экспозиции с учетом того, что зеленые черенки имеют невызревшие ткани, и это могло спровоцировать негативный эффект. Также необходимо учитывать особенности самой культуры. Следовательно, рекомендуется продолжить исследования по данному вопросу.

Выводы

Исследования показали отсутствие сортовых различий в укореняемости и развитии саженцев. Регуляторы роста оказывают положительный эффект на укоренение черенков и развитие саженцев жимолости. Корневин и ЭкоФус в большей степени положительно влияют на укореняемость, ЭкоФус положительно воздействует и на развитие побегов. Для получения качественного посадочного материала желательно использовать совместно Корневин и ЭкоФус.

Благодарность. «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», № госрегистрации 122042700002–6

Acknowledgment. The work was carried out within the framework of the state task of the MBG RAS “Biological diversity of natural and cultural flora: fundamental and applied issues of study and conservation”, state registration number 122042700002–6.

Библиографический список

1. *Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н.* Древесные растения Азиатской России: Монография – Новосибирск: Гео, 2012. – 707 с.
2. *Vasantha Rupasinghe H.P., Yu L.J., Bhullar K.S. and Bors B.* Short Communication: Haskap (*Lonicera caerulea*): A new berry crop with high antioxidant capacity // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2012. – № 92 (7):1311–7. DOI: 10.4141/cjps2012–073/.

3. Cheng Z., Bao Y., Li Z., Wang J., Wang M., Wang S., Wang Y., Wang Y., Li B. *Lonicera caerulea* (Haskap berries): a review of development traceability, functional value, product development status, future opportunities, and challenges // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2022. DOI: 10.1080/10408398.2022.2061910.

4. Фефелов В.А., Ашимов Р.Р., Игошина В.Г. Зимостойкость жимолости синеплодной в условиях Нижегородского приотчья // *Плодоводство и ягодоводство России*. – 2012. – Т. 32, № 2. – С. 260–265. EDN OWLPKH.

5. Фирсов Г.А., Бялт А.В., Ткаченко К.Г. *Lonicera maackii* (Rupr.) Maxim. (Caprifoliaceae) в Ботаническом саду Петра Великого в Санкт-Петербурге // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. – 2018. – № 224. – С. 91–102. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.224.91-102. EDN SGYMJF.

6. Eric M. Gerbrandt, Bob Bors, Ravindra Chibbar, Thomas Ernst Baumann. Spring phenological adaptation of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) foundation germplasm in a temperate climate // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2017. – October 26. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0102>.

7. Сорокин А.А. Рынок жимолости России. 2020. – URL: <https://haskapru.com/2021/01/25/рынок-жимолости-россии-2020/> (дата обращения: 26.11.22).

8. Lauritzen E., Black B., Maughan T. Honeysuckle (Blue Honeysuckle) in the Garden. – Horticulture: Utah State University Extension: Salt Lake City, UT, USA, 2015.

9. Bors B., Thomson J., Sawchuk E., Reimer P., Sawatzky R., Sander R., Kaban T., Gerbrandt E., Dawson J. Haskap Breeding and Production // Final Report. Saskatchewan Agriculture: Saskatoon, SK, Canada, 2012. – Pp. 1–142.

10. Wang Z.; Svyantek A.; Miller Z.; Jarrett B.; Kapus A. Haskap Juicing Method Effects on Haskap Juice Quality. *Appl. Sci.* 2023, 13, 10784. <https://doi.org/10.3390/app131910784>

11. By Tony Kryzanowski. Blue honeysuckle berries gaining popularity among Western growers. – 2009. – January 23. – URL: <https://www.fruitandveggie.com/blue-honeysuckle-berries-gaining-popularity-among-western-growers-2172/> (дата обращения: 26.11.22).

12. Сорокин А.А. Haskap in Russia 2020 – URL: <https://haskapru.com/об-ассоциации/> (дата обращения: 26.11.2022).

13. Алексашина С.А., Макарова Н.В., Соболев Г.И. Жимолость съедобная как перспективный интродуцент Самарской области // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2017. – № 4 (358). – С. 18–20. EDN ZIASRB.

14. Макаров С.С., Калашикова Е.А., Румянцева Е.П. Продуктивность растений жимолости съедобной в зависимости от технологии их размножения // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование»*. – 2018. – № 3 (39). – С. 76–83. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.76. EDN YLNDHN.

15. Bors Bob. Breeding and Selecting Haskap for Nutraceutical and Agronomic Suitability // *University of Saskatchewan (U of S)*. – 2015. – March.

16. Cavalcante Braga A.R., Murador D.C., Mendes De Souza Mesquita L., Vera De Rosso V. Critical review Bioavailability of anthocyanins: Gaps in knowledge, challenges and future research. *J. Food Compos. Anal.* – 2018. – № 68. – Pp. 31–40.

17. Becker R., Szakiel A. Phytochemical characteristics and potential therapeutic properties of blue honeysuckle *Lonicera caerulea* L. (Caprifoliaceae). *J. Herb. Med.* – 2019. – № 16. – P. 100237.

18. Senica M., Stampar F., Mikulic-Petkovsek M. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L. subs. *edulis*) berry; A rich source of some nutrients and their differences among four different cultivars. *Sci. Hortic.* – 2019. – № 238. – Pp. 215–221.

19. Cassidy A. Berry anthocyanin intake and cardiovascular health // *Mol. Aspects Med.* – 2018 – № 61. – Pp. 76–82.

20. Medina dos Santos N., Berilli Batista P., Batista Â.G., Maróstica Júnior M.R. Current evidence on cognitive improvement and neuroprotection promoted by anthocyanins. *Curr. Opin // Food Sci.* – 2019. – № 26. – Pp. 71–78.
21. Sinopoli A., Calogero G., Bartolotta A. Computational aspects of anthocyanidins and anthocyanins: A review // *Food Chem.* – 2019. – № 297. – P. 124898.
22. Golba, Marta, Anna Sokół-Łętowska, and Alicja Z. Kucharska. 2020. “Health Properties and Composition of Honeysuckle Berry *Lonicera caerulea* L. An Update on Recent Studies” *Molecules* 25, no. 3: 749. <https://doi.org/10.3390/molecules25030749>
23. Halvorsen B.L., Carlsen M.H., Phillips K.M., Bohn S.K., Holte K., Jacobs D.R., Blomhoff R. Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *Am. J // Clin. Nutr.* – 2006. – № 84. – Pp. 95–135.
24. Rupasinghe H.P.V., Yu L.J., Bhullar K.S., Bors B. Short Communication: Haskap (*Lonicera caerulea*): A new berry crop with high antioxidant capacity. *Can. J // Plant Sci.* – 2012. – № 92. – Pp. 1311–1317.
25. Ochmian I., Grajkowski J., Skupien K. Yield and chemical composition of blue honeysuckle fruit depending on ripening time // *Bulletin UASVM Horticult.* – 2010. – Vol. 67, № 1. – Pp. 138–147.
26. Grobelna A., Kalisz S., Kieliszek M. The Effect of the Addition of Blue Honeysuckle Berry Juice to Apple Juice on the Selected Quality Characteristics, Anthocyanin Stability, and Antioxidant Properties // *Biomolecules.* – 2019. – № 9. – P. 744. <https://doi.org/10.3390/biom9110744>.
27. Kadhim Z.K., Al-Shareefi M.J.H. & Lateef S.M. Effect of growth regulators on in vitro micropropagation of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) // *Research on Crops.* – 2019. № 20 (3). – Pp. 635–641. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.093>.
28. Плеханова М.Н. Описание жимолости сорта Волхова. ФГБУ Госсорткомиссия – URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/9807594/> (дата обращения: 27.11.2022).
29. Сорокин А.А. Жимолость – ягода северная // *Сади огород.* – 2007. – № 1 – С. 28–30.
30. Седов Е.Н., Огольцева Т.П. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Российская академия сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – С. 606.
31. Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве: Учебник для бакалавров и магистров по направлению «Садоводство». – М.: Издательство «Лань», 2019. – 420 с.
32. Исачкин А.В., Крючкова В.А. Алгоритмы определения достаточных объемов выборок (на примере садовых растений) // *Бюллетень Главного ботанического сада.* – 2020. – № 4. – С. 68–78.
33. Мраморнова М.И., Воронина Л.П., Малеванная Н.Н., Андреев А.Г. Влияние удобрений на основе водорослей на развитие декоративных культур // *Плодородие.* – 2015. – № 1 (82). – С. 29–32. EDN THJMHF.
34. Савченко О.М., Козловская Л.Н., Маланкина Е.Л., Ромашкина С.И. Взаимодействие регулятора роста «Циркон» и микроудобрения «Силиплант» при вегетативном размножении *Allium ursinum* l. И *Allium victorialis* subsp. *platyphyllum* (Hultun) Makino // *Вестник КрасГАУ.* – 2019. – № 1 (142). – С. 45–50. EDN WBVRYV.
35. Байрамбеков Ш.Б., Кумашева Б.Н. Влияние внекорневых подкормок жидкими микроудобрениями на продуктивность и качество винограда // *Садоводство и виноградарство.* – 2016. – № 6. – С. 52–56. DOI: 10.18454/VSTISP.2016.6.3918. EDN XDNLGN.
36. Мартынова Н.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Применение стимуляторов роста при укоренении черенков форзиции промежуточной в условиях закрытого грунта // *Аграрные конференции.* – 2020. – № 4 (22). – С. 41–49. EDN UJINYA.

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF REPRODUCTION
OF SWEET-BERRY HONEYSUCKLE (*LONICERA CAERULEA* L.)
WITH WOODY CUTTINGS

O.V. LADYZHENSKAYA, T.S. ANYS'KYNA, M.V. SIMAKHIN

(N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences)

Sweet-berry honeysuckle (Lonicera caerulea L) is a promising berry crop that can be marketed throughout the summer due to the diversity of cultivars with different ripening periods. The area occupied by honeysuckle in Russia is 700 hectares. To increase industrial plantations, it is necessary to provide farms with high-quality planting material. One of the ways of obtaining seedlings is through wood cuttings. The aim of our work is to select a root formation stimulator for woody honeysuckle cuttings. The experiment was carried out in the Moscow region. The honeysuckle cultivars "Volkhova", "Nimfa" and "Pavlovskaya" and the preparations "Kornevin" and "EcoFus" were used as research objects. The experience is presented in four variants, with 100 cuttings in each variant. Two-factor analysis of variance showed no influence of cultivar characteristics on the rooting of cuttings, root volume, the number and length of shoots in seedlings. The rooting percentage of the cultivars varied from 73 to 81%, root volume (4.12–4.64 ml), number (2.63–2.81 pcs) and shoot length (4.32–6.16 cm) also differed insignificantly. A significant effect of the growth regulators on the traits studied was observed. The best development of the above-ground and underground parts of seedlings was observed with the combined application of the preparations "Kornevin" and "EcoFus", and the rooting ability was also at a high level (81%), which indicates the feasibility of using the studied preparations. According to the results of other studies on such crops as balsam, gloxinia and cyclamen, the effectiveness of using the "EcoFus" preparation has been proven. The number of leaves increased by 35–40% depending on the plant species. Studies on the combined use of the preparations "Zircon", "Siliplant" and "EcoFus" showed a positive effect on the vegetative reproduction and productivity of wild garlic. The preparations "Siliplant", "EcoFus", and "Cytovit" showed high efficiency on the yield of the grape cultivars "Ranniy Magaracha" and "Karaburnu". The rooting of forsythia cuttings with "EcoFus" showed negative results. In this experiment, the multiplication factor could be affected by the concentration of the preparation and the duration of exposure, as the green cuttings have unripened tissues, that could have a negative effect. It is also necessary to take into account the characteristics of the culture itself. Further research is needed in this area.

Key words: honeysuckle, honeysuckle fruits, seedlings, cultivation, cuttings, rooting, planting material, reproduction

References

1. Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. Woody plants of Asian Russia. Novosibirsk: Geo, 2012: 707. (In Rus.)
2. Vasantha Rupasinghe H.P., Yu L.J., Bhullar K.S., and Bors B. Short Communication: Haskap (*Lonicera caerulea*): A new berry crop with high antioxidant capacity. Canadian Journal of Plant Science. 2012; 92 (7): 1311–7. DOI: 10.4141/cjps2012-073
3. Cheng Z., Bao Y., Li Z., Wang J., Wang M., Wang S., Wang Y., Wang Y., Li B *Lonicera caerulea* (Haskap berries): a review of development traceability, functional value, product development status, future opportunities, and challenges. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023; 63(27): 8992–9016. DOI: 10.1080/10408398.2022.2061910

4. *Fefelov V.A., Ashimov R.R., Igoshina V.G.* Winter hardiness of sweet-berry honeysuckle in conditions of Nizhny Novgorod littoral region. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2012; 32; 2: 260–265. EDN OWLPKH (In Rus.)
5. *Firsov G.A., Byalt A.V., Tkachenko K.G.* *Lonicera maackii* (Rupr.) Maxim. (Caprifoliaceae) in Peter the Great Botanical Garden in St. Petersburg. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2018; 224: 91–102. DOI 10.21266/2079–4304.2018.224.91–102 . EDN SGYMJF (In Rus.)
6. *Eric M. Gerbrandt, Bob Bors, Ravindra Chibbar, Thomas Ernst Baumann* Spring phenological adaptation of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) foundation germplasm in a temperate climate. *Canadian Journal of Plant Science*. 26 October 2017. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0102>
7. Russian honeysuckle market 2020 [Electronic source]. URL: <https://haskapru.com/2021/01/25/рынок-жимолости-россии-2020> (Access date: 26.11.22). (In Rus.)
8. *Lauritzen E., Black B., Maughan T.* Honeysuckle (Blue Honeysuckle) in the Garden; Horticulture: Utah State University Extension: Salt Lake City, UT, USA, 2015.
9. *Bors B., Thomson J., Sawchuk E. Reimer P., Sawatzky R., Sander R., Kaban T., Gerbrandt E., Dawson J.* Haskap Breeding and Production; Final Report; Saskatchewan Agriculture: Saskatoon, SK, Canada, 2012: 1–142.
10. *Bors B.* Growing Haskap in Canada. University of Saskatchewan.
11. *Kryzanowski T.* Blue honeysuckle berries gaining popularity among Western growers. *Fruit and Vegetables*. 2009. [Electronic source]. URL: <https://www.fruitandveggie.com/blue-honeysuckle-berries-gaining-popularity-among-western-growers-2172/> (Access date 26.11.22).
12. [Electronic source]. URL: <https://haskapru.com/ob-associacii/> (Access date 26.11.22)
13. *Aleksashina S.A., Makarova N.V., Sobolev G.I.* Honeysuckle edible as a promising introduction to the Samara region. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2017; 4(358): 18–20. EDN ZIASRB (In Rus.)
14. *Makarov S.S., Kalashnikova E.A., Rummyantseva E.P.* Productivity of edible honeysuckle plants depending on the technology of their reproduction. *Vesting of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2018; 3(39): 76–83. DOI 10.15350/2306–2827.2018.3.76. EDN YLNDHN (In Rus.)
15. *Bob Bors.* Breeding and Selecting Haskap for Nutraceutical and Agronomic Suitability. University of Saskatchewan (U of S). March 2015.
16. *Cavalcante Braga A.R., Murador D.C., Mendes De Souza Mesquita L., Vera De Rosso V.* Critical review Bioavailability of anthocyanins: Gaps in knowledge, challenges and future research. *J. Food Compos. Anal.* 2018; 68: 31–40.
17. *Becker R., Szakiel A.* Phytochemical characteristics and potential therapeutic properties of blue honeysuckle *Lonicera caerulea* L. (Caprifoliaceae). *J. Herb. Med.* 2019; 16: 100237.
18. *Senica M., Stampar F., Mikulic-Petkovsek M.* Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L. subs. *edulis*) berry; A rich source of some nutrients and their differences among four different cultivars. *Sci. Hortic.* 2019; 238: 215–221.
19. *Cassidy A.* Berry anthocyanin intake and cardiovascular health. *Mol. Aspects Med.* 2018; 61: 76–82.
20. *Medina dos Santos N., Berilli Batista P., Batista Â.G., Maróstica Júnior M.R.* Current evidence on cognitive improvement and neuroprotection promoted by anthocyanins. *Curr. Opin. Food Sci.* 2019; 26: 71–78.

21. *Sinopoli A., Calogero G., Bartolotta A.* Computational aspects of anthocyanidins and anthocyanins: A review. *Food Chem.* 2019; 297: 124898.
22. *Golba Marta, Sokół-Łetowska Anna, Kucharska Alicja Z.* *Molecules.* 2020. DOI: 10.3390/molecules25030749
23. *Halvorsen B.L., Carlsen M.H., Phillips K.M., Bøhn S.K., Holte K., Jacobs D.R., Blomhoff R.* Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *Am.J. Clin. Nutr.* 2006; 84: 95–135.
24. *Rupasinghe H.P.V., Yu L.J., Bhullar K.S., Bors B.* Short Communication: Haskap (*Lonicera caerulea*): A new berry crop with high antioxidant capacity. *Can. J. Plant Sci.* 2012; 92: 1311–1317.
25. *Ochmian I., Grajkowski J., Skupien K.* Yield and chemical composition of blue honeysuckle fruit depending on ripening time. *Bulletin UASVM Horticult.* 2010; 67; 1: 138–147.
26. *Grobelna A., Kalisz S., Kieliszek M.* The Effect of the Addition of Blue Honeysuckle Berry Juice to Apple Juice on the Selected Quality Characteristics, Anthocyanin Stability, and Antioxidant Properties. *Biomolecules.* 2019; 9: 744. <https://doi.org/10.3390/biom9110744>
27. *Kadhim Z.K., Al-Sharefi M.J.H. & Lateef S.M.* Effect of growth regulators on in vitro micropropagation of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.). *Research on Crops.* 2019; 20(3): 635–641. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.093>
28. Honeysuckle cultivar Volkhova [Electronic source]. URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/9807594/> (Access date: 27.11.22). (In Rus.)
29. *Sorokin A.A.* Honeysuckle is a northern berry. *Sad i ogorod.* 2007; 1: 28–30. (In Rus.)
30. *Sedov E.N., Ogol'tseva T.P.* Programme and methodology of varietal studies of fruit, berry and nut crops. Orel: VNIISPK, 1999: 606. (In Rus.)
31. *Isachkin A.V., Kryuchkova V.A.* Fundamentals of Scientific Research in Horticulture: Textbook for Bachelors and Masters in Horticulture. M: Izdatel'stvo "Lan", 2019: 420. ISBN978-5-8114-5019-0 (In Rus.)
32. *Isachkin A.V., Kryuchkova V.A.* Algorithms for determining sufficient sample sizes (using garden plants as an example). *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada.* 2020; 4: 68–78. (In Rus.)
33. *Mramornova M.I., L Voronina.P., Malevannaya N.N., Andreev A.G.* Effect of algae-based fertilisers on the development of ornamental crops. *Plodorodie.* 2015; 1(82): 29–32. EDN THJMHF (In Rus.)
34. *Savchenko O.M., Kozlovskaya L.N., Malankina E.L., Romashkina S.I.* Interaction of growth regulator Zircon and microfertiliser Siliplant in vegetative reproduction of *Allium ursinum* l. and *Allium victorialis* subsp. *platyphyllum* (Hultun) Makino. *Bulletin of KSAU.* 2019; 1(142): 45–50. EDN WBVRYV (In Rus.)
35. *Bayrambekov Sh.B., Kumasheva B.N.* Effect of foliar application of liquid microfertilisers on productivity and quality of grapes. *Horticulture and Viticulture.* 2016; 6: 52–56. DOI 10.18454/VSTISP.2016.6.3918. EDN XDNLGN (In Rus.)
36. *Martynova N.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P.* Application of growth stimulants in rooting of cuttings of *Forzizia intermedia* in closed ground conditions. *Agrarian Conferences.* 2020; 4(22): 41–49. EDN UJINYA (In Rus.)

Ладыженская Ольга Викторовна, младший научный сотрудник, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Российская Федерация, г. Москва; e-mail: o.ladyzhenskaya91@mail.ru; тел.: (916) 887-74-57; ORCID0000-0002-8086-8891

Аниськина Татьяна Сергеевна, научный сотрудник, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Российская Федерация, г. Москва; e-mail: tatianiskina@gmail.com; тел.: (905) 545-85-88; ORCID0000-0002-0933-1020

Симахин Максим Вячеславович, научный сотрудник, канд. с.-х. наук, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Российская Федерация, г. Москва; e-mail: simakhin1439@yandex.ru; тел.: (915) 317-48-93; ORCID0000-0003-0680-941X

Olga V. Ladyzhenskaya, Junior Research Associate, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (916) 887-74-57; E-mail: o.ladyzhenskaya91@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8086-8891)

Tat'yana S. Anys'kyna, Research Associate, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (905) 545-85-88; E-mail: tatianiskina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0933-1020)

Maksim V. Simakhin, CSc (Ag), Research Associate, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (955) 317-48-93; E-mail: simakhin1439@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-0680-941X)

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНОГЕНЕЗА
ТРУДНОКУЛЬТИВИРУЕМЫХ НИЗКОРОСЛЫХ СОРТОВ
ВИШНИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PRUNUS CERASUS* L.)
В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

С.С. МАКАРОВ¹, А.И. ЧУДЕЦКИЙ¹, И.Б. КУЗНЕЦОВА²,
Е.Е. ОРЛОВА¹, И.Н. ЗУБИК¹, Е.А. КОЗЛОВА¹

(¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
²Костромская ГСХА)

В статье приведены результаты исследований по клональному микроразмножению трудноразмножаемой традиционными способами вишни обыкновенной (*Prunus cerasus* L.) на этапе пролиферации. Ряд современных зимостойких отечественных сортов *P. cerasus* является перспективным для плантационного выращивания данной культуры в условиях Нечерноземной зоны Европейской части России. Для получения большого количества оздоровленного и генетически однородного корнесобственного посадочного материала плодовых культур целесообразно использовать метод клонального микроразмножения. В качестве объектов исследования использовали растения-регенеранты *P. cerasus* низкорослых, средне-спелых и зимостойких сортов Ассоль и Шоколадница. Изучали особенности роста и развития растений-регенерантов *P. cerasus* при культивировании *in vitro* на питательной среде QL с добавлением регуляторов роста цитокининовой группы (6-БАП, тидиазурон, зеатин) в различных концентрациях. Наибольшие показатели по длине микропобегов (в среднем 13,4 мм) и количеству листьев (в среднем 6,0 шт.) растений *P. cerasus* в культуре *in vitro* отмечены у сорта Шоколадница. Наибольшая длина микропобегов *P. cerasus* сорта Ассоль отмечена на 60-е сутки культивирования на питательной среде QL с добавлением зеатина в концентрации 0,3 мг/л (10,5 мм) и тидиазулона в концентрации 0,3 мг/л (9,8 мм), причем при добавлении зеатина 0,3 мг/л наблюдалось наибольшее количество листьев (7,8 шт.). Наибольшая длина микропобегов *P. cerasus* сорта Шоколадница отмечена при выращивании в течение 60 сут. на питательной среде QL с добавлением 6-БАП в концентрациях 0,5 мг/л (17,7 мм) и 1,0 мг/л (14,2 мм). При этом наибольшее количество листьев (7,2 шт.) наблюдалось при выращивании на среде с добавлением зеатина 0,3 мг/л.

Ключевые слова: вишня обыкновенная, сорт, клональное микроразмножение, *in vitro*, микропобеги, питательная среда, регуляторы роста.

Введение

Вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.) имеет высокое пищевое, лекарственное и декоративное значение и на сегодняшний день является одной из наиболее перспективных плодовых культур для плантационного выращивания в Нечерноземной зоне Европейской части России. В данных почвенно-климатических условиях на хорошем агрофоне и при рациональном подборе ассортимента вишня может давать 40–50 ц/га [15, 18]. Однако в промышленном садоводстве Центральной части страны культура вишни на сегодняшний день имеет низкий удельный вес, что во многом объясняется массовым вымерзанием косточковых, неправильным подбором земель под насаждения, низким уровнем агротехники, широким распространением грибных болезней (в первую очередь – коккомикоза) и другими причинами [14, 20, 24].

За последние годы в России выведен ряд новых перспективных сортов и сорто-подвойных комбинаций вишни, которые по сочетанию основных хозяйственно-биологических признаков (зимостойкость, самоплодность, урожайность, вкусовые и технологические качества) превосходят ранее известные районированные в различных областях Нечерноземья [1, 3, 9, 10, 13, 15, 22]. Однако массовое получение корнесобственного посадочного материала данной культуры с использованием традиционных способов размножения для плантационного выращивания является проблематичным [24]. В связи с этим следует прибегать к использованию метода клонального микроразмножения, который позволяет получать большое количество высококачественного, безвирусного и генетически однородного, корнесобственного посадочного материала за короткий срок в течение года [2, 4, 21].

Многочисленные исследования и имеющийся опыт клонального микроразмножения сортов, гибридов и подвоев *P. cerasus* во всем мире [5–7, 11, 12, 23, 25–30] показывают особенности роста и развития растений-регенерантов в зависимости от генотипа. Для ряда современных трудноразмножаемых отечественных сортов для средней полосы России требуются совершенствование и разработка полного технологического цикла их выращивания в культуре *in vitro*.

Цель исследований: изучение особенностей и совершенствование технологии клонального микроразмножения некоторых современных отечественных сортов *P. cerasus*.

Материал и методы исследований

Объектом исследований являлись растения вишни обыкновенной (*Prunus cerasus* L.) сортов Ассоль и Шоколадница, которые являются низкорослыми (до 2–2,5 м), среднеспелыми и зимостойкими. Исследования по клональному микроразмножению растений проводили на базе Костромской ГСХА и РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с использованием общепринятых методик [21].

В качестве исходных эксплантов для введения в культуру *in vitro* использовали апикальные меристемы, изолированные из почек от 3-летних растений. Экспланты стерилизовали в растворах нитрата серебра (0,2%), сулемы (0,1%) и дезинфицирующего средства Лизоформин 3000 (5%) в течение 5–10 мин, после чего экспланты промывали в стерильной бидистиллированной воде. После процессов стерилизации и отмытки стерилизующих средств экспланты помещали в пробирки с питательной средой Кворина-Лепуавра (QL) и культивировали в течение 20–30 сут. для получения асептической культуры.

Далее растения подразделяли на микропобеги, после чего их культивирование проводили в стерильных лабораторных условиях при освещении 2500–3000 лк, фотопериоде 16/8 ч, температуре окружающей среды +25°C и относительной влажности воздуха 80%.

На этапе пролиферации (собственно микроразмножение) изучали влияние различных аналогов природных цитокининов, добавленных к питательной среде QL в разных концентрациях, на длину микропобегов и количество листьев растений. В качестве регуляторов роста использовали: 6-бензиламинопурин (6-БАП) в концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л; тидиазурон (ТДЗ) в концентрациях 0,1 и 0,3 мг/л; зеатин в концентрациях 0,3 и 0,5 мг/л. В качестве контроля рассматривали безгормональный состав питательной среды QL. Проводили 3 учета через каждые 20 дней с момента пересадки растений на питательную среду с добавлением регуляторов роста. Повторность опыта – 3-кратная, по 10 пробирочных растений в каждой.

Обработку экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа двухфакторного опыта по общепринятым методикам [8] с использованием наименьшей существенной разности на 5%-ном уровне значимости ($НСР_{05}$), где фактор А – состав питательной среды, фактор В – сорт.

Результаты и их обсуждение

По результатам первого учета на 20-е сутки после высадки растений-регенерантов *P. cerasus* на питательную среду QL отмечено, что микропобеги сорта Ассоль, высаженные на питательную среду с добавлением тидиазурона в концентрации 0,1 и 0,3 мг/л, зеатина в концентрациях 0,3 и 0,5 мг/л, были выровнены по длине (6,1–6,3 мм). Длина микропобегов *P. cerasus* сорта Шоколадница в культуре *in vitro* оказалась в среднем в 1,5 раза больше, чем у сорта Ассоль (табл. 1).

Таблица 1

Длина микропобегов *P. cerasus* в культуре *in vitro* в зависимости от сорта и состава питательной среды на этапе пролиферации на 20-е сутки, мм

Состав питательной среды	Сорт		Среднее
	Ассоль	Шоколадница	
QL (контроль)	3,9	6,1	5,0
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	5,5	10,8	8,1
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	9,2	10,3	9,7
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	6,1	8,5	7,3
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	6,3	12,6	9,4
QL + зеатин 0,3 мг/л	6,3	9,9	8,1
QL + зеатин 0,5 мг/л	6,3	9,1	7,7
Среднее	6,2	9,6	-
НСР ₀₅ ф. А = 1,27; ф. В = 2,16; общ. = 3,08			

Значительно выделяются по длине микропобегов (в среднем 9,4–9,7 мм) варианты питательной среды с добавлением QL 6-БАП в концентрации 1,0 мг/л и тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л (рис. 1). Наименьший показатель длины побегов (7,3 мм) наблюдался в варианте с тидиазуроном в концентрации 0,1 мг/л.

Второй учет, на 40-е сутки после высадки *P. cerasus* на питательную среду QL, показал, что наибольшая длина микропобегов достигнута при выращивании на среде с добавлением 6-БАП в концентрации 0,5 мг/л (в среднем по сортам – 10,1 мм), тидиазурона в концентрации 0,3 мг/л (10,7 мм) и зеатина в концентрации 0,3 мг/л (11,3 мм). Наименьший показатель длины микропобегов (8,4 мм) отмечен в варианте с добавлением тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л (табл. 2). Как и при первом учете, длина микропобегов была выше у сорта Шоколадница, чем у сорта Ассоль.



Рис. 1. Растения-регенеранты *P. cerasus* на этапе побегообразования *in vitro* на питательной среде QL

Таблица 2

Длина микропобегов *P. cerasus* в культуре *in vitro* в зависимости от сорта и состава питательной среды на этапе пролиферации на 40-е сутки, мм

Состав питательной среды	Сорт		Среднее
	Ассоль	Шоколадница	
QL (контроль)	5,7	6,3	6,0
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	10,0	10,2	10,1
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	8,5	11,0	9,8
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	7,7	9,2	8,4
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	8,7	12,7	10,7
QL + зеатин 0,3 мг/л	8,5	14,2	11,3
QL + зеатин 0,5 мг/л	9,2	9,7	9,4
Среднее	8,3	10,5	-
НСР ₀₅ ф. А = 1,39; ф. В = 2,38; общ. = 3,35			

На 40-е сутки выращивания растений-регенерантов *P. cerasus* на питательной среде QL при увеличении концентрации 6-БАП с 0,5 до 1,0 мг/л длина микропобегов у сорта Ассоль в культуре *in vitro* уменьшилась в среднем в 1,2 раза, тогда как у сорта Шоколадница она, напротив, незначительно возросла (в 1,1 раза). Увеличение концентрации тидиазурона с 0,1 до 0,3 мг/л для обоих исследуемых сортов привело к существенному увеличению длины микропобегов в 1,3 раза (в среднем по сортам). При увеличении в питательной среде концентрации зеатина с 0,3 до 0,5 мг/л длина микропобегов *P. cerasus* сорта Ассоль увеличилась в 1,1 раза, а у сорта Шоколадница уменьшилась в 1,5 раза.

При проведении третьего учета, на 60-е сутки выращивания растений-регенерантов *P. cerasus* на питательной среде QL, отмечено, что сорт Шоколадница так же, как и при предыдущих двух учетах, отличался от сорта Ассоль большей длиной

микроробегов. Длина микроробегов растений у сорта Ассоль при добавлении в питательную среду 6-БАП в концентрации 0,5 и 1,0 мг/л несущественно отличалась и составила в среднем 8,7–8,8 мм. Однако длина побегов растений сорта Шоколадница в культуре *in vitro* при уменьшении в питательной среде концентрации цитокинина 6-БАП с 1,0 до 0,5 мг/л увеличилась в 1,3 раза, причем эти показатели были самыми высокими по сравнению с остальными вариантами состава питательной среды (табл. 3).

Таблица 3

Длина микроробегов *P. cerasus* в культуре *in vitro* в зависимости от сорта и состава питательной среды на этапе пролиферации на 60-е сутки, мм

Состав питательной среды	Сорт		Среднее
	Ассоль	Шоколадница	
QL (контроль)	6,2	7,6	6,9
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	8,7	17,7	13,2
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	8,8	14,2	11,5
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	6,8	9,2	8,0
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	9,8	13,8	11,8
QL + зеатин 0,3 мг/л	10,5	13,8	12,2
QL + зеатин 0,5 мг/л	9,2	11,7	10,4
Среднее	8,6	12,6	-
НСР ₀₅ ф. А = 1,42; ф. В = 2,47; общ. = 3,45			

По всем вариантам питательной среды с гормонами длина микроробегов *P. cerasus* у сорта Шоколадница была в среднем в 1,5 раза выше, чем у сорта Ассоль. Наибольшие показатели длины микроробегов отмечены при добавлении 6-БАП в концентрации 0,5 мг/л (13,2 мм), зеатина 0,3 мг/л (12,2 мм), а также тидиазурона 0,3 мг/л (11,8 мм). Наименьший показатель длины побегов (8,0 мм), как и при предыдущих двух учетах, наблюдался при добавлении в питательную среду тидиазурона в концентрации 0,1 мг/л. В среднем по сортам увеличение концентрации тидиазурона с 0,1 до 0,3 мг/л способствовало значительному (в 1,5 раза) увеличению длины микроробегов *P. cerasus*. Для обоих сортов по данным третьего учета при увеличении концентрации зеатина с 0,3 до 0,5 мг/л наблюдалось незначительное снижение длины микроробегов (в 1,2 раза).

По результатам данных трех учетов установлено, что наиболее интенсивный рост микроробегов *P. cerasus* наблюдался при добавлении в питательную среду 6-БАП в концентрации 0,5 мг/л, зеатина 0,3 мг/л и тидиазурона 0,3 мг/л, когда длина микроробегов составила в среднем 10,5–10,7 мм. Наименьшая длина побегов была отмечена в варианте с тидиазуроном в концентрации 0,1 мг/л и в среднем по трем учетам составила 7,9 мм (табл. 4).

При проведении первого учета (20-е сутки культивирования растений *P. cerasus* на питательной среде QL) отмечено наибольшее количество листьев у сорта Шоколадница (в среднем по вариантам – 4,0 шт.), тогда как у сорта Ассоль количество листьев было в 1,5 раза ниже. При этом максимального значения (5,3 шт.) данный

показатель у сорта Шоколадница достигал в варианте с добавлением зеатина в концентрации 0,5 мг/л. Варианты питательной среды с добавлением 6-БАП 0,5 мг/л, зеатина 0,3 мг/л и 0,5 мг/л дали наибольшие показатели по сравнению с остальными и составили в среднем 3,7–4,1 шт. Наименьшее количество листьев (в среднем 2,8 шт.) наблюдалось в варианте с тидиазуроном 0,1 мг/л (табл. 5).

Таблица 4

Длина микропобегов *P. cerasus* в культуре *in vitro* в среднем по результатам трех проведенных учетов в зависимости от состава питательной среды, мм

Состав питательной среды	Период учета			Среднее по трем учетам
	20-е сутки	40-е сутки	60-е сутки	
QL (контроль)	5,0	6,0	6,9	6,0
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	8,1	10,1	13,2	10,5
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	9,7	9,8	11,5	10,3
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	7,3	8,4	8,0	7,9
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	9,4	10,7	11,8	10,7
QL + зеатин 0,3 мг/л	8,1	11,3	12,2	10,5
QL + зеатин 0,5 мг/л	7,7	9,4	10,4	9,2
НСР ₀₅	2,19	2,40	2,51	-

Таблица 5

Количество листьев *P. cerasus* в культуре *in vitro* в зависимости от сорта и состава питательной среды на этапе пролиферации на 20-е сутки, шт.

Состав питательной среды	Сорт		Среднее
	Ассоль	Шоколадница	
QL (контроль)	1,5	2,1	1,8
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	2,4	3,6	3,0
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	3,9	4,4	4,1
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	2,1	3,4	2,8
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	3,0	3,5	3,3
QL + зеатин 0,3 мг/л	3,0	4,0	3,5
QL + зеатин 0,5 мг/л	2,1	5,3	3,7
Среднее	2,6	3,8	-
НСР ₀₅ ф. А = 0,67; ф. В = 1,12; общ. = 1,56			

По результатам второго учета выявлено, что снижение концентрации препаратов способствовало увеличению облиственности микропобегов изучаемых сортов *P. cerasus* в культуре *in vitro* (табл. 6). При уменьшении в составе питательной среды QL концентрации 6-БАП с 1,0 до 0,5 мг/л количество листьев в среднем по сортам увеличилось в 1,5 раза. Уменьшение концентрации тидиазурона с 0,3 до 0,1 мг/л способствовало лишь незначительному увеличению количества листьев, причем у сорта Шоколадница при увеличении концентрации тидиазурона с 0,1 до 0,3 мг/л количество листьев увеличилось в 1,4 раза. Увеличение концентрации зеатина с 0,3 до 0,5 мг/л привело к значительному снижению облиственности микропобегов *P. cerasus* – в среднем в 1,4 раза.

Таблица 6

Количество листьев *P. cerasus* в культуре *in vitro* в зависимости от сорта и состава питательной среды на этапе пролиферации на 40-е сутки, шт.

Состав питательной среды	Сорт		Среднее
	Ассоль	Шоколадница	
QL (контроль)	2,2	3,6	2,9
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	4,7	8,8	6,8
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	4,0	5,3	4,7
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	4,8	4,2	4,5
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	2,7	6,0	4,3
QL + зеатин 0,3 мг/л	6,7	7,0	6,8
QL + зеатин 0,5 мг/л	3,3	6,3	4,8
Среднее	4,1	5,9	-
НСР ₀₅ ф. А = 1,08; ф. В = 1,79; общ. = 2,54			

Наибольшее количество листьев *P. cerasus* (6,8 шт.) отмечалось при культивировании на питательной среде QL с добавлением зеатина 0,3 мг/л и 6-БАП 0,5 мг/л. В варианте с добавлением тидиазурона 0,1 мг/л, как и в предыдущих учетах, выявлено наименьшее количество листьев.

Третий учет показал, что наибольшее количество листьев растений *P. cerasus* в культуре *in vitro* (в среднем по сортам 6,6–7,5 шт.) образовывалось на микропобегах, высаженных на питательную среду QL с добавлением 6-БАП в концентрации 1,0 мг/л и зеатина в концентрации 0,3 мг/л (табл. 7). В среднем по вариантам питательной среды количество листьев у сорта Шоколадница было несколько выше (в 1,1 раза), чем у сорта Ассоль.

При увеличении в питательной среде QL концентрации цитокинина 6-БАП с 0,5 до 1,0 мг/л количество листьев *P. cerasus* увеличилось в среднем по сортам в 1,5 раза. При уменьшении концентрации тидиазурона количество листьев на микропобегах вишни возросло в 1,3 раза. Снижение концентрации зеатина привело к увеличению облиственности микропобегов вишни обоих сортов – в среднем в 1,3 раза.

Таблица 7

Количество листьев *P. cerasus* в культуре *in vitro* в зависимости от сорта и состава питательной среды на этапе пролиферации на 60-е сутки, шт.

Состав питательной среды	Сорт		Среднее
	Ассоль	Шоколадница	
QL (контроль)	2,6	4,0	3,3
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	3,8	5,2	4,5
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	7,3	5,8	6,6
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	5,0	6,3	5,7
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	3,2	5,5	4,3
QL + зеатин 0,3 мг/л	7,8	7,2	7,5
QL + зеатин 0,5 мг/л	5,8	5,8	5,8
Среднее	5,1	5,7	-
НСР ₀₅ ф. А = 1,06; ф. В = 1,81; общ. = 2,55			

Подводя итоги по трем проведенным учетам, можно отметить, что наибольшее листообразование наблюдалось у микропобегов *P. cerasus*, выращенных на питательной среде QL с добавлением тидиазурона в концентрации 0,3 мг/л и 6-БАП в концентрации 1,0 мг/л, когда количество листьев увеличилось в 2,1–2,2 раза с первого до третьего учетов (табл. 8).

Таблица 8

Количество листьев *P. cerasus* в культуре *in vitro* в среднем по результатам трех проведенных учетов в зависимости от состава питательной среды, шт.

Состав питательной среды	Период учета			Среднее по трем учетам
	20-е сутки	40-е сутки	60-е сутки	
QL (контроль)	1,8	2,9	3,3	2,7
QL + 6-БАП 0,5 мг/л	4,1	6,8	4,5	5,1
QL + 6-БАП 1,0 мг/л	3,0	4,7	6,6	4,8
QL + ТДЗ 0,1 мг/л	2,8	4,5	5,7	4,3
QL + ТДЗ 0,3 мг/л	3,3	4,3	4,3	4,0
QL + зеатин 0,3 мг/л	3,5	6,8	7,5	6,0
QL + зеатин 0,5 мг/л	3,7	4,8	5,8	4,8
НСР ₀₅	1,12	1,80	1,82	-

Сравнивая полученные результаты с данными опытов других исследователей по клональному микроразмножению *P. cerasus* [5–7, 11, 12, 23, 25–30], можно отметить, что разница в экспериментальных данных указывает на зависимость значений биометрических показателей растений-регенерантов не только от определенного генотипа, но и от применяемых в процессе выращивания в культуре *in vitro* составов питательных сред, типов росторегулирующих веществ и их концентраций, а также сроков культивирования.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований по клональному микроразмножению вишни обыкновенной низкорослых среднеспелых сортов российской селекции установлено, что при выборе оптимального состава питательной среды для каждого конкретного сорта необходимо учитывать его индивидуальные особенности и поведение в процессе культивирования *in vitro*. Полученные данные позволяют рекомендовать для клонального микроразмножения *P. cerasus* сорта Ассоль на этапе пролиферации использование питательной среды Кворина-Лепуавра с добавлением зеатина в концентрации 0,3–0,5 мг/л или тидиазурона 0,3 мг/л в концентрации; сорта Шоколадница – с добавлением 6-БАП в концентрации 0,5–1,0 мг/л.

Библиографический список

1. Астахов А.А. Новые сорта вишни и черешни для юга Нечерноземья // Садоводство и виноградарство. – 2007. – № 5. – С. 21–23.
2. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. – М.: ФБК-Пресс, 1999. – 160 с.
3. Верзилин А.В. Новые сорто-подвойные комбинации вишни // Современное садоводство. – 2016. – № 4. – С. 19–24. – URL: <http://journal.vniispk.ru/> (дата обращения: 01.07.2023).
4. Вечернина Н.А. Методы биотехнологии в селекции, размножении и сохранении генофонда растений: М. – Барнаул: Изд-во Алтайского университета, 2004. – 205 с.
5. Высоцкий В.А., Олешко Е.В. Совершенствование питательной среды для клонального микроразмножения вишни // Агротехника и сортоизучение плодовых культур: Сборник научных трудов. – М., 1985. – С. 72–76.
6. Деменко В.И., Трушечкин В.Г. Размножение вишни методом *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. – 1983. – № 7. – С. 51–53.
7. Джигадло М.И. Использование биотехнологических и биофизических методов в селекции и сорторазведении плодовых и ягодных культур: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Мичуринск, 2003. – 26 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник. – Изд. 6-е. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.
9. Каньшина М.В., Астахов А.А., Мисникова Н.В., Яговенко Г.Л. Оценка адаптивности сортообразцов вишни и черешни на юге Нечерноземья // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2021. – Т. 8, № 1–2. – С. 45–48. DOI: 10.24411/2500–0454–2021–10114.
10. Карташова О.Н. Зимостойкость и продуктивность новых сортов вишни в условиях Нечерноземья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 2009. – 26 с.
11. Коваленко Н.Н., Поливара Н.В. Совершенствование способа получения свободных от сапрофитной микрофлоры зародышей рода *Prunus* L. для культуры *in vitro* // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2020. – № 63 (3). – С. 107–120. DOI: 10.30679/2219–5335–2020–3–63–107–120.

12. *Красинская Т.А.* Стабилизация эксплантов сортов вишни в культуре in vitro // Плодоводство. – 2017. – Т. 29. – С. 88–92.
13. *Кузнецова Л.А.* Хозяйственно-биологические особенности новых сорто-подвойных комбинаций вишни в питомнике: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Мичуринск, 2011. – 22 с.
14. *Метлицкая К.В., Упадъшев М.Т., Петрова А.Д., Упадъшева Г.Ю.* Мониторинг вредоносных вирусов в насаждениях вишни и черешни в Подмосковье // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. 46. – С. 227–231.
15. *Михеев А.М., Ревякина Н.Т.* Вишня: М. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1991. – 40 с.
16. *Михеев А.М., Евстратов А.И., Симонов В.С.* Новые перспективные в условиях Нечерноземья сорта вишни и сливы // Плодоводство и ягодоводство России. – 1997. – Т. 4. – С. 14–19.
17. *Молканова О.И., Королева О.В., Стахеева Т.С., Крахмалева И.Л., Мелещук Е.А.* Совершенствование технологии клонального микроразмножения ценных плодовых и ягодных культур для производственных условий // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 9. – С. 66–69. DOI: 10.24411/0235–2451–2018–10915.
18. *Орлова С.Ю.* Биологические особенности и селекционная ценность сортов вишни в условиях северо-запада России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – СПб., 2002. – 20 с.
19. *Острикова О.В., Федотова И.Э., Хархардина Е.Л.* Изучение репродукционного потенциала клоновых подвоев вишни при клональном микроразмножении // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 59. – С. 39–46. DOI: 10.31676/2073–4948–2019–59–39–46.
20. *Приходько Ю.Н., Чирков С.Н., Метлицкая К.В., Цубера Л.В.* Распространенность вирусных болезней косточковых культур в Европейской части России // Сельскохозяйственная биология. – 2008. – № 1. – С. 26–32.
21. Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия: Учебник / Под ред. В.С. Шевелухи. – М.: URSS, 2015. – 715 с.
22. *Солонкин А.В.* Стратегия селекции вишни и сливы для создания сортов в Нижнем Поволжье, возделываемых по современным технологиям: Дис. ... д-ра с.-х. наук. – Волгоград, 2017. – 349 с.
23. *Фаустов В.В., Олешко Е.В., Жаркова И.В., Асадулаев З.М., Шарафутдинов Х.В., Исмаил Х.* Микрклональное размножение вишни // Известия ТСХА. – 1988. – Вып. 5. – С. 131–148.
24. *Шарафутдинов Х.В.* Саженцы вишни и черешни. Эффективные способы получения привитых растений: Монография. – М.: МЭСХ, 2020. – 136 с.
25. *Шахов В.В., Федотова И.Э., Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Хромова Т.М.* Влияние сезонного фактора на приживаемость эксплантов вишни обыкновенной в культуре in vitro // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 11–1 (101). – С. 159–162. DOI: 10.23670/IRJ.2020.101.11.027.
26. *Cerović R., Ružić D.* Micropropagation of Sour Cherry (*Prunus cerasus* L.) cv. Šumadinka // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 1987. – Vol. 9. – Pp. 151–157.
27. *Dorić D., Ognjanov V., Barać G., Ljubojević M., Pranjčić A., Dugalić K., Ercišli S.* Use of In Vitro Propagation of «Oblačinska» Sour Cherry in Rootstock Breeding // Turkish Journal of Biology. – 2015. – Vol. 39, № 4. – Article 8. – URL: <https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol39/iss4/8>. DOI: 10.3906/biy-1412–85.
28. *Gashi A., Thomaj T., Mitrushi T., Kukali E.* Optimization of Nutrient Media of in Vitro Propagation for Some Cherry Rootstocks (*Prunus cerasus*) // Anglisticum Journal (IJLLIS). – 2017. – Vol. 6, Iss. 12. – Pp. 54–61. DOI: 10.5281/zenodo.1134340.

29. Singh S.R., Sundouri A.S., Sharma M.K., Srivastava K.K., Dar H.A. Proliferation and Rooting Efficiency Studies in Sour Cherry (*Prunus cerasus*) Using In Vitro Techniques // Journal of Horticultural Sciences. – 2010. – Vol. 5, № 1. – Pp. 48–52.

30. Tang H., Ren Z., Krczal G. Somatic Embryogenesis and Organogenesis from Immature Embryo Cotyledons of Three Sour Cherry Cultivars (*Prunus cerasus* L.) // Scientia Horticulturae. – 2000. – Vol. 83. – Pp. 109–126.

PECULIARITIES OF ORGANOGENESIS OF HARD CULTURED LOW-GROWING CULTIVARS OF SOUR CHERRY (*PRUNUS CERASUS* L.) IN IN VITRO CULTURE

S.S. MAKAROV¹, A.I. CHUDETSKIY¹, I.B. KUZNETSOVA²,
E.E. ORLOVA¹, I.N. ZUBIK¹, E.A. KOZLOVA¹

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ²Kostroma State Agricultural Academy)

*The article presents the results of research on clonal micropropagation of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) which is difficult to reproduce at the proliferation stage by traditional methods. A number of modern winter-hardy domestic cultivars of *P. cerasus* are promising for plantation cultivation of this crop in the Nonchernozem zone of the European part of Russia. The method of clonal micropropagation is advisable to obtain a large amount of healthy and genetically homogeneous rootstocks of fruit crops. Regenerated plants of *P. cerasus* of low-growing, mid-season and winter-hardy cultivars Assol' and Shokoladnitsa were used as research objects. The growth and developmental features of *P. cerasus* regenerated plants were studied during in vitro cultivation on a QL nutrient medium supplemented with growth regulators of the cytokinin group (6-BAP, thidiazuron, zeatin) in different concentrations. The highest indicators for the length of microshoots (average 13.4 mm) and the number of leaves (average 6.0 pcs.) of *P. cerasus* plants in in vitro culture are recorded for the Shokoladnitsa cultivar. The maximum length of microshoots of *P. cerasus* Assol' cultivar is observed on the 60th day of cultivation on a QL nutrient medium with the addition of zeatin at a concentration of 0.3 mg/l (10.5 mm) and thidiazuron at a concentration of 0.3 mg/l (9.8 mm), while the maximum number of leaves (7.8 pieces) is observed with addition of 0.3 mg/l zeatin. The maximum length of microshoots of *P. cerasus* of the Shokoladnitsa cultivar is observed when grown for 60 days on a QL nutrient medium with the addition of 6-BAP at concentrations of 0.5 mg/l (17.7 mm) and 1.0 mg/l (14.2 mm), while the maximum number of leaves (7.2 pieces) is observed with addition of 0.3 mg/l zeatin.*

Key words: sour cherry, cultivars, clonal micropropagation, in vitro, microshoots, nutrient medium, growth regulators.

References

1. Astakhov A.A. New varieties of sour cherry and sweet cherry for the South of the Non-Chernozem Region. Horticulture and Viticulture. 2007; 5: 21–23. (In Rus.)
2. Butenko R.G. Biology of cells of higher plants in vitro and biotechnology based on them. Moscow: FBK-Press, 1999: 160. (In Rus.)
3. Verzilin A.V. New variety-rootstock combinations of cherry. Contemporary Horticulture. 2016; 4: 19–24. URL: <http://journal.vniispk.ru> (In Rus.)
4. Vechernina N.A. Methods of biotechnology in breeding, reproduction and conservation of the plant gene pool. Barnaul: Izd-vo Altayskogo un-ta. 2004: 205. (In Rus.)

5. *Vysotskiy V.A., Oleshko E.A.* Improvement of the nutrient medium for clonal micropropagation of cherry. *Agrotekhnika i sortoizuchenie plodovykh kul'tur*. Moscow, 1985: 72–76. (In Rus.)
6. *Demenko V.I., Trushechkin V.G.* Cherry propagation by in vitro method. *Agricultural Biology*. 1983; 7: 51–53. (In Rus.)
7. *Dzhigadlo M.I.* Use of biotechnological and biophysical methods in selection and cultivar breeding of fruit and berry crops. CSc (Ag) thesis. Michurinsk, 2003: 26. (In Rus.)
8. *Dospekhov B.A.* Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results): Textbook. Moscow: Al'yans. 2011: 350. (In Rus.)
9. *Kanshina M.V., Astakhov A.A., Misnikova N.V., Yagovenko G.L.* Evaluation of the adaptability of sour cherry and sweet cherry cultivars in the South of the Non-Chernozem Region. *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. 2021; 8; 1–2: 45–48. DOI: 10.24411/2500–0454–2021–10114 (In Rus.)
10. *Kartashova O.N.* Winter hardiness and productivity of new cherry cultivars in the conditions of the Non-Chernozem Region. CSc (Ag) thesis. Moscow, 2009: 26. (In Rus.)
11. *Kovalenko N.N., Polivara N.V.* Improvement of the method for obtaining free from saprophytic microflora embryos of the genus *Prunus* L. for in vitro culture. *Plodovodstvo i Vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2020; 63 (3): 107–120. DOI: 10.30679/2219–5335–2020–3–63–107–120 (In Rus.)
12. *Krasinskaya T.A.* Stabilization of explants of cherry cultivars in in vitro culture. *Fruit-Growing*. 2017; 29: 88–92. (In Rus.)
13. *Kuznetsova L.A.* Economic and biological features of new variety-rootstock combinations of cherry in the nursery. CSc (Ag) thesis. Michurinsk, 2011: 22. (In Rus.)
14. *Metlitskaya K.V., Upadyshev M.T., Petrova A.D., Upadysheva G.Yu.* Monitoring of harmful viruses in sour cherry and sweet cherry plantations in the Moscow Region. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2016; 46: 227–231. (In Rus.)
15. *Mikheev A.M., Revyakina N.T.* Cherry. Moscow: Agropromizdat, 1991: 40. (In Rus.)
16. *Mikheev A.M., Evstratov A.I., Simonov V.S.* New promising cultivars of cherry and plum in the conditions of the Non-Chernozem Region. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 1997; 4: 14–19. (In Rus.)
17. *Molkanova O.I., Koroleva O.V., Stakheeva T.S., Krakhmaleva I.L., Melleshchuk E.A.* Improving the technology of clonal micropropagation of valuable fruit and berry crops for production conditions. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018; 32 (9): 66–69. DOI: 10.24411/0235–2451–2018–10915 (In Rus.)
18. *Orlova S.Yu.* Biological features and breeding value of cherry cultivars in the conditions of the North-West of Russia. CSc (Bio) thesis. St. Petersburg, 2002: 20. (In Rus.)
19. *Ostrikova O.V., Fedotova I.E., Kharkhardina E.L.* Study of the reproductive potential of clonal cherry rootstocks during clonal micropropagation. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2020. 59: 39–46. DOI: 10.31676/2073–4948–2019–59–39–46 (In Rus.)
20. *Prihod'ko Yu.N., Chirkov S.N., Metlitskaya K.V., Tsubera L.V.* Prevalence of viral diseases of stone fruit crops in the European part of Russia. *Agricultural Biology*. 2008; 1: 26–32. (In Rus.)
21. *Shevelukha V.S.* Agricultural biotechnology and bioengineering. Textbook. Moscow: URSS, 2015: 715. (In Rus.)
22. *Solonkin A.V.* Cherry and plum breeding strategy to create cultivars cultivated using modern technologies in the Lower Volga Region. DSc (Ag) thesis. Volgograd, 2017: 349. (In Rus.)

23. Faustov V.V., Oleshko E.V., Zharkova I.V., Asadulaev Z.M., Sharafutdinov Kh.V., Ismail Kh. Clonal micropropagation of cherry. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1988; 5; 131–148. (In Rus.)
24. Sharafutdinov Kh.V. Sour cherry and sweet cherry seedlings. Effective methods for obtaining grafted plants. Monograph. Moscow: MESKh, 2020: 136. (In Rus.)
25. Shakhov V.V., Fedotova I.E., Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Khromova T.M. Effect of the seasonal factor on the survival of sour cherry explants in in vitro culture. *International Research Journal*. 2020; 11–1 (101): 159–162. DOI: 10.23670/IRJ.2020.101.11.027 (In Rus.)
26. Cerović R., D. Ružić Micropropagation of Sour Cherry (*Prunus cerasus* L.) cv. Šumadinka. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 1987; 9: 151–157.
27. Dorić D., Ognjanov V., Barać G., Ljubojević M., Pranjčić A., Dugalić K., Ercišli S. Use of In Vitro Propagation of ‘Oblačinska’ Sour Cherry in Rootstock Breeding. *Turkish Journal of Biology*. 2015; 39; 4: 8. [Electronic source]. URL: <https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol39/iss4/8> DOI: 10.3906/biy-1412–85
28. Gashi A., Thomaj T., Mitrushi T., Kukali E. Optimization of Nutrient Media of In Vitro Propagation for Some Cherry Rootstocks (*Prunus cerasus*). *Anglisticum Journal (IJLLIS)*. 2017; 6; 12: 54–61. DOI: 10.5281/zenodo.1134340
29. Singh S.R., Sundouri A.S., Sharma M.K., Srivastava K.K., Dar H.A. Proliferation and Rooting Efficiency Studies in Sour Cherry (*Prunus cerasus*) Using In Vitro Techniques. *Journal of Horticultural Sciences*. 2010; 5; 1: 48–52.
30. Tang H., Ren Z., Krczal G. Somatic Embryogenesis and Organogenesis from Immature Embryo Cotyledons of Three Sour Cherry Cultivars (*Prunus cerasus* L.). *Scientia Horticulturae*. 2000; 83: 109–126.

Макаров Сергей Сергеевич, д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Чудецкий Антон Игоревич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Кузнецова Ирина Борисовна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры агрохимии, биологии и защиты растений, Костромская государственная сельскохозяйственная академия; 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, Учебный городок, 34; e-mail: sonneraiser@yandex.ru; тел.: (4942) 629–130

Орлова Елена Евгеньевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: elena.orlova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Зубик Инна Николаевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: innazubik@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Козлова Елена Анатольевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kozlova.e@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Sergey S. Makarov, DSc (Ag), Head of the Department of Decorative Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; E-mail: s.makarov@rgau-msha.ru)

Anton I. Chudetskiy, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Decorative Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; E-mail: chudetski@rgau-msha.ru)

Irina B. Kuznetsova, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agrochemistry, Biology and Plant Protection, Kostroma State Agricultural Academy (34, Educational campus, Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma Oblast, 156530, Russian Federation; phone: (4942) 62–91–30; E-mail: sonneraiser@yandex.ru)

Elena E. Orlova, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Decorative Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; E-mail: elena.orlova@rgau-msha.ru)

Inna N. Zubik, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Decorative Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; E-mail: innazubik@rgau-msha.ru)

Elena A. Kozlova, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Decorative Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; E-mail: kozlova.e@rgau-msha.ru)

РАЗВИТИЕ СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ
С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЗНЫХ ЛЕТ

О.О. БЕЛОШАПКИНА, О.А. САВОСЬКИНА, С.И. ЧЕБАНЕНКО,
Р.И. ТАРАКАНОВ, Ф.С.-У. ДЖАЛИЛОВ

(ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева)

*В статье приведены результаты анализа болезней инфекционного выпадения озимой пшеницы на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА с 2013–2015 гг. по 2020–2021 гг. в зависимости от технологии обработки почвы и погодных условий. Показано, что основной болезнью являлась розовая снежная плесень (возбудитель *Microdochium nivale*). Анализ динамики распространенности болезни за 5 лет показал, что распространение было больше при нулевой обработке почвы по сравнению с отвальной (6,6 и 3,9% соответственно). Более того, проведенный статистический анализ продемонстрировал наличие средней степени корреляции между плотностью почвы и распространением болезней для отвальной и нулевой способов обработки почвы ($r = 0,57$ и $0,69$ соответственно). Полученные данные свидетельствуют о необходимости корректировки защитных мероприятий от болезней выпадения с учетом способа обработки почвы, зоны выращивания и природно-климатических условий.*

Ключевые слова: минимальная обработка почвы, озимая пшеница, no-till, снежная плесень, система нулевой обработки почвы, *Microdochium nivale*, болезни выпадения, отвальная вспашка.

Введение

Пшеница озимая является важнейшей продовольственной культурой общими-рового значения, роль которой трудно переоценить. Во многих почвенно-климатических зонах нашей страны культура занимает традиционно лидирующие позиции по посевным площадям. Инфекционные и неинфекционные заболевания пшеницы являются причиной значительного снижения урожайности, качества и валового сбора зерна.

Высокая интенсивность и распространенность болезней инфекционного выпадения способны привести к сильному изреживанию посева и необходимости пересева поля яровыми культурами [1, 2]. К возбудителям инфекционного выпадения озимых культур относят ряд низкотемпературных (или психрофильных, или криофильных), сходных по экологии и биологии грибов и оомицетов. Эту группу болезней в настоящее время называют «снежная плесень», обязательно уточняя ее возбудителя. Среди них могут быть такие грибы, как *Monographella nivalis*, *Typhula*

incarnata, *T. phacorrhiza*, *T. ishikariensis*, *Sclerotinia borealis* (син. *Microsclerotinia borealis*, *S. graminearum*) [3, 4]. Кроме них, в зимний период растения поражаются представителями родов *Pythium*, *Gibberella*, *Ceratobasidium*, *Rhizoctonia*, хотя они и имеют незначительное распространение [5].

Основу патоконплекса болезней выпадения озимых культур инфекционной этиологии с наибольшей распространенностью и вредоносностью составляет розовая снежная плесень. Основным ее возбудителем является гриб-аскомицет *Monographella nivalis* (Schaffnit) E. Müll. (анаморфа *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallett). Симптомы данной болезни включают в себя появление слипшихся листьев со светлыми, буроватыми водянистыми пятнами, распространяющихся вдоль листовой пластинки. Симптомы обычно видны после схода снега в фазу кущения растений.

Сильно пораженные растения погибают, на их поверхности можно обнаружить подушечки мицелия и спороношения гриба (рис. 1). Болезнь в полевых условиях обычно проявляется в форме очагов и «проплешин» разного размера либо равномерным диффузным поражением растений на значительной площади.

Возбудителями серой, или крапчатой, снежной плесени являются базидиальные грибы рода *Typhula*, среди которых доминируют *T. incarnata* Lasch. ex Fr., *T. phacorrhiza* (Reichard) Fr. и *T. ishikariensis* S. Imai. Пораженные листья выглядят слипшимися, имеют серую либо темно-зеленую окраску, а поверхность покрывается войлочным мицелием грязно-серого цвета.

На отмерших листовых пластинках заметны небольшие (0,5–3 мм) круглые красно-коричневые, затем чернеющие склероции. Серая снежная плесень поражает озимые злаки значительно реже, чем розовая, и может присутствовать с ней совместно.

Склероциальная снежная плесень (возбудитель гриб-аскомицет *Sclerotinia borealis* Bubak & Vleugel; син. *Myriosclerotinia borealis* Bubak & Vleugel.) чаще встречается в южных регионах. Его склероции значительно крупнее, чем при поражении тифулезом (1,4–6 × 1,5–3 мм), а пораженные листья загнивают, становятся желтыми или желто-бурыми.

Развитие снежной плесени зависит от состояния зимующих растений, которое определяется погодно-климатическими условиями, качеством посевного материала, способом и качеством подготовки почвы под посев [6].

Способ обработки почвы оказывает значительное влияние на фитопатологическую обстановку в поле [7]. Главнейшими элементами увеличения производства продукции растениеводства в условиях ЦРНЗ являются такие технологические операции, как послеуборочное лушение дисковыми боронами и зяблевая вспашка.

Последние десятилетия характеризуются новыми направлениями в растениеводстве, одними из которых являются минимизация обработки почвы и полный отказ от обработки. Так, система, предусматривающая отсутствие обработки почвы, имеет название «нулевая обработка» (no-till или zero-till).

В целом такие технологии, отличительной способностью которых является ресурсосбережение, в последние годы занимают все более лидирующие позиции в земледелии. Не остаются в стороне от данной и проблемы как российские, так и иностранные исследователи, проводящие исследования по оптимизации использования данных технологий обработки почвы [3, 8–13]. Тем не менее опыт других стран и регионов РФ не может быть обобщен для внедрения по всей стране, поэтому требуется корректировка технологии с учетом почвенно-климатических особенностей того или иного региона. Одной из основных проблем при внедрении данной системы является, в том числе, влияние технологии. В связи с этим назревает необходимость комплексной оценки фитосанитарной обстановки посевов зерновых при нулевой

обработке и изыскания оптимальных методов защиты растений при использовании данной технологии.

С начала второго десятилетия XXI в. в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на Полевой опытной станции университета в опыте точного земледелия проводится фитосанитарный мониторинг микозов пшеницы озимой и ячменя ярового при использовании разных технологий обработки почвы и модулей точного земледелия для оптимизации стратегии защиты культур от болезней. Так, показано [15–17], что при применении нулевой обработки почвы в сравнении с отвальной обработкой наблюдается увеличение интенсивности поражения пшеницы озимой микозами.

Цель исследований: уточнение состава возбудителей снежной плесени озимой пшеницы, динамики их развития, сравнение распространенности и вредоносности при традиционной и нулевой обработке почвы в 2013–2015 гг. и 2020–2021 гг. в Московском регионе.

Материал и методы исследований

Погодно-климатические условия Центрального Нечерноземья благоприятствуют появлению болезней инфекционного выпадения озимых зерновых и характеризуются мягкими с точки зрения снижения температуры почвы зимами и ярко выраженными переходами между сезонами. Обычно стабильный снежный покров образуется к ноябрю, и высота его способна достигать в среднем до 30–45 см. При этом водный запас в снеге оставляет 80–105 мм. В связи с изменениями климата в последние годы отмечаются значительные отклонения от средних многолетних показателей. К примеру, частыми становятся оттепели, периоды с минимальным снежным покровом, выпадение ледяной корки и другие явления, ослабляющие озимые и предрасполагающие их к заражению снежными плеснями.

Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева расположена в типичных для Нечерноземной зоны почвенных и климатических условиях. Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, гумус – 2,4...2,5%. Содержание P_2O_5 – от 150 до 250 мг/кг почвы, K_2O – от 40 до 80 мг/кг почвы, а pH водной вытяжки приближается к 5,8...6,2.

Во время проведения исследования отмечены ощутимые отклонения климатических показателей от среднемноголетних данных и повышенными для каждого времени года значениями температуры воздуха. Так, в феврале-марте значения температуры были выше средних многолетних в среднем на 5 °С. В течение 2020–2021 гг. также отмечали значимые различия климатических показателей от средних многолетних для региона. Метеоусловия осеннего периода вегетации озимой пшеницы были неблагоприятными для закалки растений. Поздние сроки сева, отсутствие снежного покрова с низкими температурами в ноябре 2020 г. привели к ухудшению состояния озимой пшеницы на данном поле. За зимние месяцы выпало 169 мм осадков, или 126% от нормы (134 мм). Во второй декаде февраля были отмечены перепады ночных температур от –12 до –23 °С, дневных – от –11 до –16 °С с рекордным выпадением осадков в виде снега, чему способствовали сильные метели. Раннее потепление, а затем возврат весенних холодов в апреле способствовали сильному поражению растений снежными плеснями.

Фитосанитарные обследования на Полевой станции проводятся в четырехпольном короткоротационном севообороте: озимая пшеница + горчица (на сидерат), картофель, ячмень яровой, смесь вика + овёс. Основным методом обработки почвы являлась отвальная вспашка, включающая в себя оборот пласта (22–24 см) отвальным плугом Lemken Euroopal 5. Вариант с нулевой обработкой включал в себя посев

специализированной сеялкой Amazone DMC Primera семян в почву без обработки после уборки предшествующей культуры.

Объектом исследования в 2013–2015 гг. стали линии пшеницы озимой L-1, L-15, являющиеся результатом индивидуального отбора сортообразца Звезда. Данный сорт обладает повышенной устойчивостью к низким отрицательным температурам, рекомендован для интенсивного земледелия, а по зимостойкости не уступает стандартному сорту Мироновская 808. Высота растений линий достигает 90–95 см. Они способны к повышенному кущению, относительно устойчивы к полеганию и имеют удовлетворительный уровень полевой устойчивости к болезням. С 2020 г. в полевом севообороте был высеян сорт Тимирязевская юбилейная, в число оригинаторов которого входит ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Это раннеспелый сорт интенсивного типа со средней урожайностью в Центральном регионе 86,7 ц/га, обладающий зимостойкостью и морозостойкостью.

Маршрутные обследования болезней инфекционного выпадения на полях РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева проводили дважды: осенью, перед перезимовкой, и весной – после схода снега в фазу кущения культуры. Учитывали распространенность (P, %) болезни и ее развитие (R, %) по стандартным формулам (1 и 2):

$$P = \frac{(n \times 100)}{N}; \quad (1)$$

$$R = (\sum a \times b) \times \frac{100}{N} \times K, \quad (2)$$

где P – распространенность болезни, %; R – развитие болезни, %; n – количество больных растений в пробе, шт.; N – общее количество больных и здоровых растений в пробе, шт.; $\sum a \times b$ – сумма произведений числа зараженных растений (a) на балл поражения (b), шт. \times балл.

При проведении маршрутных обследований на участках вариантов выбирали не менее 10 точек. По диагонали поля через равные промежутки проводили обследование посева, отмечая форму заболевания (диффузную или очаговую). Отмечали количество пораженных растений с помощью стандартной рамки 0,25 см² и степень их пораженности, и по 50 растений отбирали в каждой точке. Учитывали количество пораженных растений и степень их пораженности [18]. Интенсивность пораженности оценивали по соответствующей шкале: 0 – отсутствие болезни; 1 – поражение менее 10% листьев; 2 – поражено больше 30% растения либо нижние листья поражены полностью; 3 – отмирают побеги, нижние и верхние листья поражены, степень поражения более 70%; 4 – погибшее растение, все листья и побеги поражены. Поскольку в 2021 г. снежная плесень имела диффузную форму проявления в поле, обследования проводили с помощью рамки 0,25 см² аналогичным методом.

Результаты и их обсуждение

При осенних обследованиях не наблюдали визуального поражения растений. поэтому основная доля данных была получена в весенний период (рис. 1).

Анализ учетов показал, что во все годы исследований основной болезнью являлась розовая снежная плесень (возбудитель *M. nivale*). В зависимости от технологии обработки почвы распространение ее на опытных участках колебалось от 1,1 до 14,5% в 2013–2016 гг., а в 2021 г. было значительно выше – так же, как и степень пораженности растений (табл.).



Рис. 1. Симптомы розовой снежной плесени на растениях озимой пшеницы линии L-15: слева – общий вид пораженных растений; справа – пораженные листья и скопления мицелия и спороношения возбудителя (Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014 г.)

Таблица

Распространение, %, и интенсивность развития (ИР) розовой снежной плесени озимой пшеницы (возб. *M. nivale*) при разных технологиях обработки почвы (Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Обработка почвы	2013 г.		2014 г.		2015 г.		2016 г.		2021 г.	
	Р, %	балл								
Отвальная	1,7	0,9	3,7	1,1	2,3	1,0	7,3	1,2	92,9	47,5
Технология No-till	3,1	1,2	4,9	1,7	3,8	0,9	14,5	3,0	80,6	32,9
НСП ₀₅	2,1	0,7	3,2	0,3	2,8	1,3	6,2	0,6	Fф<Fт	13,7

Анализ результатов показывает, что имеется устойчивая тенденция, по увеличению распространения снежной плесени и повышению степени поражения ею растений при нулевой обработке почвы. Однако при низкой степени распространения снежной плесени (до 5%) отсутствуют статистические различия между вариантами. Значимая разница между вариантами при использовании разных систем обработки почвы была отмечена только в 2016 г., а значение среднего балла было достоверно выше в 2014 и 2016 гг.

Для зимних периодов в те годы была характерна неустойчивость значений температур и осадков. Так, в декабре 2013 г. и в январе 2014 г. температура держалась на уровне 0°C, что являлось значительным отклонением от многолетних показателей. Вскоре наступило понижение температуры, которое сопровождалось обильными осадками, и к концу января наступила оттепель, при этом среднедекадная температура перешла отметку 0°C. Зима 2015 г. характеризовалась примерно таким же температурным режимом, однако температурные изменения были более плавными. Температурные условия также отличались от среднемноголетних показателей. Так, продолжительное повышение температуры в декабре, которое сменилось непродолжительным похолоданием с преобладанием большого количества осадков в январе и феврале, привело к увеличению распространения розовой снежной плесени (до 7,3% на участке с отвальной вспашкой, до 14,5% – на варианте с прямым посевом). Такие условия позволили выявить более контрастные различия по распространению заболевания между вариантами.

Аналогичная контрастная картина со статистически достоверным различием по распространенности болезни наблюдалась и в 2012 г., когда распространение снежной плесени на варианте с отвальной технологией обработки почвы составило 4,6%, а на варианте с нулевой обработкой – 6,9% ($НСР_{05} = 1,9$). Более того, только в том году снежная плесень была выявлена в достаточном и оптимальном для проведения учета количестве, тем не менее статистические различия в ее распространении в зависимости от варианта опыта не наблюдались. С 2013 по 2016 гг. данная болезнь не была учтена, поскольку наблюдалась в единичных, очаговых количествах, когда в фазу 25–27 (учет корневых гнилей) наблюдали склероции. Распространенность в данном случае не превышала 5–9 баллов.

В 2021 г. распространенность болезни на озимой пшенице варьировала от 75,0 до 93,0% и в среднем составила 86,7% при развитии 45,7%. Большая распространенность болезни отмечалась на участке с традиционной обработкой почвы и достигала 92,9% (рис. 2). Значение этого же показателя на участке с обработкой почвы по системе No-till достигало 80,6%. Однако статистическая обработка полученных данных показала отсутствие достоверной разницы между вариантами.



Рис. 2. Общий вид пораженного снежной плесенью поля озимой пшеницы сорта Тимирязевская юбилейная (Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2021 г.)

Интенсивность поражения также была выше при отвальной технологии обработки почвы, когда развитие снежной плесени достигало 47,5% против 32,9% на участке с прямым посевом, и эта разница подтверждалась статистически (табл. 1). Количество растений на 1 м² участка с нулевой обработкой было в 1,5–2 раза меньше, и они отличались более слабым ростом, чем в варианте со вспашкой. Возможно, это было связано с тем, что снежный покров способствовал созданию неблагоприятного микроклимата для растений, что повлекло за собой увеличение пораженности болезнью. Более высокую распространенность болезни и интенсивность развития также можно, вероятно, объяснить и меньшей генетически обусловленной устойчивостью сорта Тимирязевская юбилейная по сравнению с линиями озимой пшеницы.

Технология обработки почвы способна значительно влиять на ее агрофизические и химические свойства. Ключевым фактором, изменяющимся при переходе на технологию no-till, является уплотнение почвы, сильно проявляющееся в первые годы после внедрения технологии [19, 20]. Уплотнение приводит к дополнительным тратам энергетических ресурсов растения для преодоления проростком почвы

с повышенной уплотненностью. Такие растения оказываются ослабленными на самом уязвимом этапе онтогенеза и более подвержены болезням. Уменьшению плотности почвы способствуют специальные севообороты, которые включают в себя многолетние травы или культуры с мощной корневой системой.

Влияние плотности почвы на распространение болезни было проанализировано путем корреляционного анализа по 10 парам значений. Результаты анализа показали, что имеется средняя положительная корреляция между анализируемыми показателями. При отвальной обработке коэффициент корреляции составил 0,57 ($S_r = 0,085$; t_r факт = 6,70; $t_{теор} = 2,31$), а при нулевой обработке = 0,69 ($S_r = 0,065$; t_r факт = 10,61; $t_{теор} = 2,31$).

Помимо смены условий среды, происходят процессы сукцессии почвенной биоты, что влияет и на фитосанитарную ситуацию в полевых агроценозах.

Мониторинг снежной плесени, помимо опытных полей РГАУ-МСХА, проводили и в хозяйстве Коломенского района Московской области, где используются отвальная и минимальная (с поверхностным лущением) технологии обработки почвы. В данном хозяйстве распространение болезни было гораздо выше, чем на Полевой станции РГАУ-МСХА, однако варианты статистически не различались. Распространенность болезни при отвальной обработке почвы составила $22,4\% \pm 9,7$; интенсивность поражения растений $-1,5 \pm 0,4$ балла. При минимальной технологии обработки почвы распространенность болезни составляла $26,2\% \pm 10,2$ при интенсивности поражения $2,15 \pm 0,5$ балла.

Выводы

В период исследований с 2013–2015 гг. по 2020–2021 гг. возбудители болезней выпадения озимой пшеницы инфекционной этиологии в условиях Московского региона были представлены *Microdochium nivale* (розовая снежная плесень). Данная болезнь на полях Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в среднем за 5 лет была распространена больше в варианте с нулевой обработкой почвы (6,6%) по сравнению с отвальной обработкой (3,9%). Достоверные различия отмечали в 2016 г. Такая же тенденция сохранилась и спустя 6–7 лет. При этом в благоприятный для развития гриба-возбудителя осенне-весенний период 2020–2021 гг. распространенность болезни была весьма высокой: на участке с традиционной обработкой почвы она достигала 92,9%, а на участке с обработкой почвы по системе No-till – 80,6%. При этом и развитие снежной плесени было максимальным за все годы исследований: 47,5 и 32,9% соответственно. Была выявлена средней степени корреляция между показателями почвенной плотности и распространением розовой снежной плесени ($r = 0,57$ для варианта с отвальной обработкой, $r = 0,69$ – для варианта с нулевой обработкой).

Библиографический список

1. Артамонов В.Д., Кузьмина Н.П., Семенов В.И., Семенов О.Г. Влияние снежной плесени на продуктивность озимых пшениц // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – Йошкар-Ола: Марийский НИИСХ, 2009. – Вып. 11. – С. 143–163.
2. Горьковенко В.С., Оберюхтина Л.А., Куркина Е.А. Вредоносность гриба *Microdochium nivale* в агроценозе озимой пшеницы // Защита и карантин растений. – 2009. – № 1. – С. 34–36.
3. Боровой М.В., Добрынин Н.Д., Абеленцев В.И. Видовой состав и биоэкологические особенности патогенных комплексов в агроценозах озимой пшеницы

- при разных способах обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 4. – С. 19–21.
4. Ткаченко О.Б., Овсянкина А.В., Шуковская А.Г. Снежные плесени: развитие представлений и способы защиты растений: Обзор // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 1. – С. 16–29.
5. Ponomareva M.L., Gorshkov V.Yu., Ponomarev S.N., Korzun V., Miedaner T. Snow mold of winter cereals: a complex disease and a challenge for resistance breeding // Theoretical and Applied Genetics. – 2021. – № 134 (2). – Pp. 419–433.
6. Bruehl G.W., Cunfer B. Physiologic and Environmental Factors that Affect the Severity of Snow Mold of Wheat // Phytopathology. – 1971. – № 61. – Pp. 792–799.
7. Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Стецов Г.Я. Влияние способов обработки на фитосанитарное состояние посевов // Защита и карантин растений. – 2010. – № 1. – С. 26–27.
8. Alskaf K., Sparkes D.L., Mooney S.J., Sjögersten S., Wilson P. The uptake of different tillage practices in England // Soil Use Manage. – 2020. – № 36. – Pp. 27–44.
9. Crovetto C. No Tillage: The Relationship between No Tillage, Crop Residues, Plants and Soil Nutrition // Hualpen, Chile: Trama Impresores, 2006. – P. 216.
10. Moreira W.H. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage // Soil and Tillage Research. – 2016. – Vol. 160. – Pp. 53–64.
11. Корчагин В.А., Горянин О.И., Новиков В.Г. Ресурсосберегающие технологические комплексы возделывания яровой пшеницы в степных районах Среднего Поволжья // Известия ОГАУ. – 2005. – № 5–1. – С. 37–39.
12. Бакиров Ф.Г., Петрова Г.В. Эффективность технологии no-till на Черноземях южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1. – С. 23–26.
13. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А. Проблемы и перспективы разработки и освоения технологии No-till на черноземах лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 16–19.
14. Кислов А.В., Каракулев В.В. Организационно-экономические проблемы и эффективность ресурсосберегающих технологий в стабилизации развития АПК // Известия ОГАУ. – 2006. – № 10–1. – С. 83–86.
15. Белошапкина О.О., Гриценко В.В., Беленков А.И., Полин В.Д. Сравнение технологий возделывания зерновых культур в полевом опыте ЦТЗ // Земледелие. – 2012. – № 4. – С. 17–24.
16. Березовский Е.В., Железова С.В., Акимов Т.А., Белошапкина О.О. Влияние разных технологий возделывания озимой пшеницы на урожайность и фитосанитарное состояние посевов (на примере полевого опыта Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) // Агрохимия. – 2017. – № 4. – С. 65–75.
17. Белошапкина О.О., Николаев В.А., Акимов Т.А., Боровой М.В. Развитие грибных болезней озимой пшеницы при разных способах основной обработки почвы // Проблемы развития АПК региона. – 2015. – № 3 (23). – С. 19–23.
18. Жуковский А.Г., Крупенько Н.А., Лешкевич В.Г. Распространенность и развитие снежной плесени в посевах озимых зерновых культур в Беларуси // Защита растений. – 2018. – № 42. – С. 96–102.
19. Апаева Н.Н., Манишкин С.Г., Марьин Г.С., Марьина-Чермных О.Г., Богарчук Н.И. Фитосанитарное состояние почвы в зависимости от агротехнических приемов возделывания зерновых культур // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 2 (76). – С. 26–31.
20. Лищуков С.Д., Ширяев А.В., Кузнецова Л.Н., Линков С.А., Сегидин А.Н. Агроэкологическая оценка технологии no-till в условиях Белгородской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 9. – С. 46–48.

DEVELOPMENT OF SNOW MOLD OF WINTER WHEAT
IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION
WITH REGARD TO TILLAGE TECHNOLOGIES
AND WEATHER CONDITIONS OF DIFFERENT YEARS

O.O. BELOSHAPKINA, O.A. SAVOS'KINA, S.I. CHEBANENKO,
R.I. TARAKANOV, F.S.-U. DZHALILOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The paper presents the results of the analysis of diseases of infectious fallout of winter wheat at the Field Experimental Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy from 2013–2015 to 2020–2021, depending on the tillage technology and weather conditions. It was shown that the main disease was pink snow mold (caused by *Microdochium nivale*). The analysis of the dynamics of the disease over 5 years showed that the prevalence was higher under zero tillage than under moldboard tillage (6.6 and 3.9%, respectively). The statistical analysis carried out showed an average positive correlation between soil density and disease prevalence ($r=0.57$ – for moldboard tillage and $r=0.69$ – for zero tillage). The data obtained indicate the need to adapt the protective measures against fallout diseases, taking into account the tillage technology, the cultivation zone and the climatic conditions.*

Key words: minimum tillage, winter wheat, no-till, snow mold, zero tillage, *Microdochium nivale*, fallout diseases, moldboard tillage.

References

1. Artamonov V.D., Kuz'mina N.P., Semenov V.I., Semenov O.G. The effect of snow mold on the productivity of winter wheat. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva. Ioshkar-Ola: Mariiskiy NIISKh. 2009; 11: 143–163. (In Rus.)
2. Gor'kovenko V.S., Oberiukhtina L.A., Kurkina E.A. Harmfulness of the fungus *Microdochium nivale* in winter wheat agrocenosis. Plant Protection and Quarantine. 2009; 1: 34–36. (In Rus.)
3. Borovoy M.V., Dobrynin N.D., Abelentsev V.I. Species composition and bioecological features of pathogenic complexes in winter wheat agrocenoses under different tillage methods. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2011; 4: 19–21. (In Rus.)
4. Tkachenko O.B., Ovsyankina A.V., Shchukovskaya A.G. Snow molds: development of insights and ways to protect plants (review). Agricultural Biology. 2015; 50; 1: 16–29. (In Rus.)
5. Ponomareva M.L., Gorshkov V.Yu., Ponomarev S.N., Korzun V., Miedaner T. Snow mold of winter cereals: a complex disease and a challenge for resistance breeding. Theoretical and Applied Genetics. 2021; 134(2): 419–433.
6. Bruehl G.W., Cunfer B. Physiologic and Environmental Factors that Affect the Severity of Snow Mold of Wheat. Phytopathology. 1971; 1; 61: 792–799.
7. Toropova E.Yu., Chulkina V.A., Stetsov G.Ya. Effect of treatment methods on phytosanitary condition of crops. Plant Protection and Quarantine. 2010; 1: 26–27. (In Rus.)
8. Chin G. To till or Not to till. Science. 2005; 310; 5753: 1391.
9. Crovetto C. No Tillage: The Relationship between No Tillage, Crop Residues, Plants and Soil Nutrition. Hualpen, Chile: Trama Impresores, 2006: 216.
10. Moreira W.H. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. Soil and Tillage Research. 2016; 160: 53–64.

11. *Korchagin V.A., Gorianin O.I., Novikov V.G.* Resource-saving technological complexes of spring wheat cultivation in steppe areas of the Middle Volga region. *Izvestiya OGAU*. 2005; 5; 1: 37–39. (In Rus.)
12. *Bakirov F.G., Petrova G.V.* Efficiency of no-till technology in the southern Chernozems of the Orenburg Cis-Urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014; 1: 23–26. (In Rus.)
13. *Vlasenko A.N., Vlasenko N.G., Korotkikh N.A.* Problems and prospects of No-till technology development and adoption on chernozems of the forest-steppe of Western Siberia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2013; 9: 16–19. (In Rus.)
14. *Kislov A.V., Karakulev V.V.* Organisational and economic problems and efficiency of resource-saving technologies in stabilisation of agro-industrial sector development. *Izvestiya OGAU*. 2006; 10–1: 83–86. (In Rus.)
15. *Beloshapkina O.O., Gritsenko V.V., Belenkov A.I., Polin V.D.* Comparison of grain crop cultivation technologies in the field experiment of the PFC. *Zemledelie*. 2012; 4: 17–24. (In Rus.)
16. *Berezovskiy E.V., Zhelezova S.V., Akimov T.A., Beloshapkina O.O.* Effect of different technologies of winter wheat cultivation on yield and phytosanitary condition of crops (on the example of field experience of the Precision Agriculture Centre Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy). *Agrohimia*. 2017; 4: 65–75. (In Rus.)
17. *Beloshapkina O.O., Nikolaev V.A., Akimov T.A., Borovoy M.V.* Development of fungal diseases of winter wheat under different methods of primary tillage. *Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex*. 2015; 3 (23): 19–23. (In Rus.)
18. *Zhukovskiy A.G., Krupenko N.A., Leshkevich V.G.* Prevalence and development of snow mold in winter grain crops in Belarus. *Zashchita rasteniy*. 2018; 42: 96–102. (In Rus.)
19. *Apaeva N.N., Manishkin S.G., Mar'in G.S., Mar'ina-Chermnykh O.G., Bogarchuk N.I.* Phytosanitary condition of the soil depending on agrotechnical methods of cultivating grain crops. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011; 2 (76): 26–31. (In Rus.)
20. *Litsukov S.D., Shiriaev A.V., Kuznetsova L.N., Linkov S.A., Segidin A.N.* Agroecological assessment of no-till technology in the conditions of the Belgorod region. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2013; 9: 46–48. (In Rus.)

Белашапкина Ольга Олеговна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: beloshapkina@rgau-msha.ru)

Савоськина Ольга Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия и методики опытного дела РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: osavoskina@rgau-msha.ru)

Чебаненко Светлана Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: svchebanenko@rgau-msha.ru)

Тараканов Рашид Исламович, аспирант, ассистент кафедры защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: r.tarakanov@rgau-msha.ru)

Джалилов Февзи Сеид-Умерович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dzhaililov@rgau-msha.ru)

Olga O. Beloshapkina, DSc (Ag), Professor, Professor of the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: beloshapkina@rgau-msha.ru)

Olga A. Savos'kina, DSc (Ag), Professor of the Department of Agriculture and Experimental Methods, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: osavoskina@rgau-msha.ru)

Svetlana I. Chebanenko, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: svchebanenko@rgau-msha.ru)

Rashit I. Tarakanov, post-graduate student of the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: r.tarakanov@rgau-msha.ru)

Fevzi S. – U. Dzhililov, DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: dzhalilov@rgau-msha.ru)

МАСЛИЧНОСТЬ РАПСА: БОТАНИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПИЩЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ

Е.В. СОЛОМОНОВА, Е.Ю. ЕМБАТУРОВА, Ю.С. ЧЕРЯТОВА, С.Г. МОНАХОС

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Однолетнее растение рапс (*Brassica napus* L.) из семейства крестоцветных (*Brassicaceae* Burnett) издавна используется как источник технического масла. Получение канадскими селекционерами в 70-е гг. XX в. низкоэруковых сортов (канола, менее 5% эруковой кислоты) превратило рапс в ценную перспективную масличную культуру. В Российской Федерации рапсовое масло, извлекаемое из семян зрелых стручков растения, в настоящее время по объему производства занимает 3 место после подсолнечного и соевого, превосходя их по ряду биохимических параметров: оптимальному соотношению ω -6: ω -3 жирных кислот (1:3–2:1), высокому содержанию олеиновой кислоты (до 79,57%), токоферолов (45–75 мг%), каротиноидов (0,30–0,57 мг%) и стеролов (0,5–1,0%). Высокий пищевой потенциал рапса объясняется наличием озимой и яровой форм, отечественных и зарубежных сортов и гибридов, успешной селекцией на повышенную масличность и устойчивость к заболеваниям, хорошей урожайностью во многих природных зонах России, рентабельностью 100–150% (иногда до 400% и более) несмотря на необходимость строгого соблюдения технологии возделывания и пр. В масложировой промышленности масличностью обозначают содержание сырого жира и сопровождающих его жироподобных веществ, переходящих из семян в эфирную вытяжку вместе с жиром. Клетки масличных семян рапса содержат структуры, накапливающие свободные липиды, запасаемые растением для использования растущим проростком: олеосомы и, возможно, капли масла в цитоплазме, а также пластоглобулы в пластидах. Образование нейтрального жира – универсальный механизм «выключения» избыточных продуктов первичного синтеза из растительного метаболизма. Качественный жирнокислотный состав масел семян разных видов растений (в отличие от масел, извлекаемых из плодовой мякоти сочных масличных плодов) достаточно однотипен; варьирует количество жирных кислот и извлекаемых с ними совместно жирорастворимых компонентов (антиокислители, витамины и пр.). Знание ботанической природы и биохимических особенностей масличности рапса позволит извлечь максимальную пищевую выгоду селекционными, агрономическими и технологическими приемами.

Ключевые слова: рапс, *Brassica napus*, масличность, олеосомы, пластоглобулы, жировые включения, рапсовое масло, полиненасыщенные жирные кислоты, линолевая кислота, линоленовая кислота, олеиновая кислота, эруковая кислота.

Введение

Масличность в широком смысле слова – это способность накапливать масло, проявляющаяся на разных уровнях растительного мира. К масличным культурам относят растения (масличные культуры, например, подсолнечник, соя, рапс и др.); масличными могут быть их отдельные структуры (например, семена или ткани плодовой мякоти); клетки (например, масляные клетки представителей семейств крестоцветных, лавровых и др.); клеточные органеллы (например, олеосомы и пластиды); включения (капли масла, кристаллы жира).

Научная литература содержит достаточно разрозненную информацию об обсуждаемом понятии, не всегда дающую целостное представление о процессах

образования, депонирования и локализации свободных липидов в клетках, тканях и органах растений, в том числе ввиду терминологических разночтений и сложностей. Обобщение и систематизация сведений о масличности в целом и масличности рапса в частности, представленные ниже, актуальны не только в фундаментальном аспекте – на них базируются прикладные знания о сырьевых источниках масел растительного происхождения, рапсового в том числе.

Ботаническая природа и биохимические особенности масличности. Известно, что в клетке наряду с входящими в состав мембран структурными липидами имеются запасные липиды, прежде всего – триацилглицерины (=триглицериды) с варьирующим жирнокислотным составом. Нейтральные жиры являются сложными эфирами глицерина и жирных кислот с числом атомов углерода, как правило, C_{12} - C_{14} и выше. В объектах природного происхождения обнаружено более 400 карбоновых кислот различного строения. Наиболее распространенными жирными кислотами растительных масел, обычно содержащими от 12 до 18 атомов углерода, являются пальмитиновая $C_{16}:0$, стеариновая $C_{18}:0$ (насыщенные), олеиновая $C_{18}:1$, линолевая $C_{18}:2$ и линоленовая $C_{18}:3$ (ненасыщенные; с 1, 2 и 3 двойными связями соответственно) кислоты.

В липофильных фракциях природного происхождения более 50% от общей массы кислот часто составляет олеиновая кислота, содержание которой в различных растительных маслах составляет редко менее 10%. В больших количествах, иногда превышающих 10–15%, во всех жирах обнаруживается пальмитиновая, а в жирах тропических растений (например, какао) – стеариновая кислота. Кислоты, в которых число атомов углерода превышает 24, обнаруживаются в восках. Несколько двойных связей образуется у полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Некоторые из них (линолевая; α - и γ -линоленовая; арахидоновая $C_{20}:4$; экзопентаеновая $C_{20}:5$ и др.) считаются незаменимыми (=эссенциальными), так как они необходимы для жизнедеятельности животного организма независимо от способности в нем синтезироваться. Устаревшим для суммы незаменимых ПНЖК является название «Витамин F». Примечательно, что доля ненасыщенных жирных кислот в составе липидов у разных видов растений увеличивается по мере понижения температуры в районах их произрастания [6, 17, 21, 43, 44, 61, 63].

Эссенциальные жирные кислоты подразделяют на два семейства: омега-3 (семейство α -линоленовой ω -3 кислоты) и менее устойчивое к пищевому дефициту – омега-6 (семейство линолевой ω -6 кислоты). Линолевая кислота значительно сильнее линоленовой кислоты по величине воздействия на организм. По рекомендациям ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», баланс между ω -6 и ω -3 кислотами должен составлять 10:1 для полноценного усваивания молодым здоровым организмом, от 3:1 до 5:1 – для лечебного питания; уровень потребления ω -3 и ω -6 жирных кислот – 11 г в сутки (из них ω -3 – 1 г). К сожалению, в рационе современного человека высока доля жиров, избыточно богатых ω -6 (соотношение ω -6: ω -3 в диапазоне 20–30:1, достигающем в подсолнечном масле, безальтернативно потребляемом отдельными группами населения, 933:1), а также насыщенных жиров (более 10% против рекомендуемых 6%).

Недостаточное и несбалансированное потребление ПНЖК с пониженной долей ω -3 жирных кислот нарушает жировой обмен, структуру и функционирование биологических мембран, сопровождая целый ряд соматических заболеваний, в ряде случаев алиментарно-зависимых (диабет, опухоли, инфаркт миокарда, тромбозы, воспалительные, аутоиммунные и другие заболевания), объясняя исключительную важность и необходимость поиска новых сырьевых источников для пищевого и фармацевтического использования ценных нутриентов, особенно незаменимых и уникальных ПНЖК, природных антиоксидантов и витаминов. Поскольку в настоящий

момент ни одно из вырабатываемых в России растительных масел не имеет необходимого соотношения ПНЖК, актуальным является смешивание (купажирование) различных по составу растительных масел для создания сбалансированных вариантов, а также получение витаминизированных растительных масел [2, 17, 26, 32, 40, 41, 46–48, 56, 60, 65].

Для обозначения липидов, включающих в себя нейтральные жиры и близкие к ним вещества, используют термин «жиры». Кристаллический жир встречается редко (например, в виде коротких игловидных кристаллов в клетках эндосперма некоторых пальм). Жидкие при комнатной температуре жиры встречаются чаще, называются «масла» и откладываются в форме капель различного размера, рассеянных по цитоплазме или собранных в крупные массы (например, в клетках эндосперма и зародыша семян подсолнечника, арахиса и др., в клетках плодовой мякоти облепихи, оливы и др.). Жиры и масла являются продуктами первичного метаболизма растительной клетки, выводимыми из обмена веществ в запас. Липидные включения, называемые также липидными гранулами, жировыми включениями, каплями масла, относят к типичным видам непротоплазматических, то есть лишенных признаков живого, питательных компонентов цитоплазмы и классифицируют как эргастические вещества. При необходимости липиды способны превращаться в сахара под действием ферментов гликоксилатного цикла, содержащихся в гликоксисомах (например, в период поддержания роста проростков запасными жирами клеток эндосперма или семядолей семян масличных растений). Близкие к жирам воски, суберин, кутин часто встречаются в клеточной стенке или на ее поверхности, играя защитную роль [6, 39, 50, 53].

Синтез масла – сложный биохимический процесс, включающий в себя биосинтез жирных кислот (в пластидах), сборку триацилглицеринов (в эндоплазматической сети) и их хранение (в цитоплазме). Синтезированные жирные кислоты пересекают мембраны посредством челночного перемещения с участием транспортеров, поступая в ЭПР для сборки нейтральных жиров на глицериновом каркасе. Обнаружены некоторые ключевые для селекции на масличность гены-переносчики, способные усиливать накопление масла в семенах рапса [58, 62].

В накапливающих жиры растительных клетках запасные липиды способны аккумулироваться в гиалоплазме в виде органелл олеосом, а также жировых включений, в пластидах – в виде пластоглобул. В эпидермальных клетках надземных частей растений иногда встречаются жировые капельки, рассеянные по всей толще молодой клеточной стенки, а также поверхностные отложения масла. Олеосомы (=сферосомы – устаревшее название, основанное на форме органелл) – это округлые масляные тельца (=капельки) диаметром 0,5–2 мкм; содержат липиды и ферменты; образуются, отшнуровываясь пузырьками (=везикулами) от гладкой ЭПС; окружены липопротеидной мембраной, содержащей белки олеозины, участвующие в мобилизации запасных липидов; характерны для клеток эндосперма семян масличных растений. Жировые включения (=капли масла, =липидные капли), накапливающиеся в гиалоплазме, внешне сходны с олеосомами, но в отличие от них не окружены мембраной и способны сливаться друг с другом. Пластоглобулами называют липидные капли без ограничивающей мембраны, обнаруживаемые в стромах всех форм пластид: хлоропластов; элайопластов, то есть запасующих липиды лейкопластов; хромопластов глобулярного типа. Однородные пластоглобулы шаровидных хромопластов, возникающих из хлоропластов за счет разрушения хлорофиллов, окрашены каротиноидами.

Установлено, что именно пластиды, точнее их внутренняя мембрана, являются преимущественным местом синтеза липидов в растительных клетках. Наконец, существуют клетки, относящиеся к тканям внутренней секреции, почти целиком

состоящие из масла. Их протопласты дегенерируют по мере созревания. Сферическая внутриклеточная полость заполняется маслянистым экскретом, ограниченным мембраной и, возможно, целлюлозной оболочкой, связанными целлюлозной ножкой с нередко опробковеваяющими клеточными стенками. В результате образуются разбросанные по растению одиночные масляные клетки, являющиеся разновидностью секреторных идиобластов.

Липиды – самые калорийные вещества, широко распространенные в теле растения. В небольших количествах они встречаются, вероятно, в каждой растительной клетке. Повышенное содержание включений жиров и масел наблюдается в меристематических клетках. Запасание резервных липидов наряду с другими типичными включениями (крахмальными и алейроновыми зернами) происходит в некоторых дифференцированных тканях вегетативных органов (например, в запасающей паренхиме некоторых «мясистых» корнеплодов, клубней и луковиц, в паренхиме первичной коры, в сердцевинной и древесинной паренхиме). В весьма больших количествах жиры накапливаются в генеративных структурах: в спорах; в семенах включая их зародыши; в плодах однолетних, а также во внесеменных частях особой группы сочных масляных плодов многолетних растений. Жир обнаруживается в семенах примерно 90% покрытосеменных, часто составляет до 70% их сухого веса; как правило, является жидким у растений умеренного климата (лен, подсолнечник, рапс и др.) и твердым у тропических растений (какао, кокосовая пальма и др.).

Семена некоторых растений являются основой питания человека и животных. Из семян добывают основную массу растительных жиров, используемых в пищу (подсолнечное, льняное, конопляное, хлопковое, кукурузное, горчичное, рапсовое масла, масло грецкого ореха, лещины и др.), в медицине (касторовое масло из семян клещевины и др.), для производства мыла, олифы, лаков и др. [5, 6, 37, 38, 50–53].

Под маслячностью семян масляных культур, используемых в качестве сырья для маслодобывающей промышленности, понимают содержание в них сырого жира и сопровождающих его жироподобных веществ, переходящих вместе с жиром в эфирную вытяжку из исследуемых семян [12]. Жирнокислотный состав липидов масел семян часто практически идентичен по качественному составу, различаясь соотношением жирных кислот [29, 42]. Существуют разные методики измерения маслячности растительных объектов и определения жирнокислотного состава масел (экстракционный метод, ИК-спектметрия, ядерный магнитный резонанс, хроматография и др.), которые постоянно совершенствуются [16, 30, 33].

Биологическая ценность масел зависит не только от величины сумм насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, но и от наличия в них минорных компонентов: стероидов, жирорастворимых витаминов и других биологически активных веществ. Природные масла обычно содержат комплекс соединений, предохраняющих их от окисления. Особенно активными антиоксидантами являются токоферолы (витамин Е) или их гомологи, поддерживающие высокий уровень стабильности к окислению в процессе хранения масел. Антиоксидантные свойства токоферолов способны усиливаться в синергизме с другими компонентами – например, каротиноидами (биологические предшественники витамина А).

Существуют разные методы извлечения масел из растительного сырья: экстракция дифторхлорметаном, хлороформом и другими реагентами, центрифугирование, ферментативный гидролиз и пр. От способа выделения масла зависит степень его биологической активности, связанная с глицеридным составом конечного продукта, в том числе с содержанием наиболее важных биологически активных составляющих – полиненасыщенных глицеридов [10, 27, 28, 35, 36, 54, 59].

Выявлена естественная группа сочных масличных плодов – плодов, накапливающих в клетках сочных внесеменных тканей жирные масла, отличающиеся от масел семян жирнокислотным составом, зачастую содержащим уникальные жирные кислоты. Изучение масличности сочных плодов расширяет возможности поиска источников растительных масел, традиционно сосредоточенного у нас и за рубежом на семенах [8, 11, 22, 24, 29, 38, 41].

Масличность и пищевой потенциал рапса. Рапс (*Brassica napus* L.) – это однолетнее растение семейства крестоцветных (Brassicaceae Burnett), появившееся примерно 10 тыс. лет назад как не встречающийся в диком виде спонтанный природный амфидиплоидный гибрид сурепицы обыкновенной (*Brassica campestris* L.) и капусты огородной (*Brassica oleracea* L.), начиная с IV тысячелетия до н.э. широко культивируемое в Индии, затем в Китае и Японии, попавшее в Европу в XIII в. В настоящее время является масличной, кормовой, сидеральной и медоносной культурой. В течение последних 30 лет рапс превратился в одну из самых перспективных культур, его рентабельность варьирует от 100 до 150%, достигая 400% и более. Для производства масла используют семена рапса яровых (кольза) и озимых сортов. Рапсовое масло составляет около 13,3% от общего потребления растительного масла в мире.

В России в настоящее время рапс в качестве масличной культуры занимает третье место после подсолнечника и сои. Рапс выращивается во всех федеральных округах страны, преимущественно в Красноярском и Алтайском краях, Кемеровской, Новосибирской и Брянской областях. В 2021 г. валовый сбор рапса составил 2,79 млн т (+8,1% к 2020 г.); посевные площади достигли 1,68 млн га (+13% к 2020 г.), причем прирост площадей пришелся на яровую, а не на озимый рапс. В связи с существенным увеличением площадей показатели выросли, о чем свидетельствуют данные на 2023 г. (площадь 2,3 млн га +39,2% к уровню 2021 г.а; валовой сбор культуры – 4,6 млн т (+63,2%), в том числе озимого рапса – 1,6 млн т.). Имеются противоречивые сведения о том, какие сорта являются более урожайными и масличными. При этом отмечается, что рапс очень требователен к технологии возделывания, а озимый рапс менее подвержен различным заболеваниям и поражению вредителями. В 2020 г. Российская Федерация экспортировала примерно 670 тыс. т рапсового масла на 640 млн долл. Прогнозируется дальнейший рост объемов экспортируемого масла [2, 4, 5, 8, 15, 20, 21, 26, 32, 65].

На одном растении рапса формируется до 450–500 цветков, собранных в соцветие кисть, некоторые по мере созревания развиваются в плоды. Плод – стручок 5–14 × 0,4–0,6 см, расположенный на цветоножке длиной 1–3 см, становящийся по мере созревания коричневым. В каждом стручке на центральной внутренней перегородке, разделяющей продольно плод на два отделения, образуется 18–36 темноокрашенных округлых семян диаметром 0,4–3,0 мм. Масса 1 000 семян яровой формы рапса обычно не превышает 5, а озимого – 7 г [3, 64].

Урожайность, масличность и содержание основных жирных кислот (пальметиновой, олеиновой, линолевой и линоленовой) зависят от гидротермических условий всех межфазных периодов роста и развития растения, что детально изучено на примере районированного в условиях Западной Сибири, широко распространенного рапса ярового сорта Юбилейный, от географического положения, климата, почвы, технологии возделывания и прочих факторов [13, 18, 19].

В России научное обеспечение селекции рапса с 1993 г. координировал Всероссийский НИИ рапса (в настоящее время – ФГБНУ «ВНИИ рапса»). Первый отечественный желтосемянный сорт рапса ярового Кенар выведен в 2000–2017 гг. Активно проводится селекционная работа на повышение урожайности и масличности семян ярового безэрукового рапса (0,02% эруковой кислоты), достигающих в новых

сортах в среднем 1,81 т/га и 51,4% при сборе масла 1122 кг/га, что превосходит исходные сорта. Урожайность некоторых гибридов рапса, возделываемых по эффективной технологии Clearfield (комбинация гербицида Нопасаран и высокоурожайных гибридов рапса, устойчивых к этому гербициду), отличается высокими значениями: 2,71 т/га при масличности 47,3%. Наивысшая урожайность рапса (3,19 т/га) отмечена в 2019 г. в Калининградской области.

В 2019 г. отмечалось, что около 60% всех посевных площадей засеивались гибридами иностранной селекции, хотя преимущество сортов заключается в их дешевизне и возможности оставлять часть урожая на семена. Селекция рапса пищевого направления в настоящее время нацелена на оптимизацию содержания в семенах линоленовой и олеиновой жирных кислот параллельно с минимизацией количества не только эруковой (ввиду неполного разложения в организме человека приводит к дистрофии почек и скелетных мышц, липидозу миокарда, циррозу печени и пр.), но и линоленовой кислот (вызывает скорое прогоркание масла, одновременно являясь дефицитной ω -3 кислотой, о чем сказано выше); а в случае выращивания рапса, идущего на производство маргарина, – на повышение содержания пальмитиновой и стеариновой кислот. Создаются высокоолеиновые сорта (более 75% олеиновой кислоты в масле) и гибриды рапса (например, гибриды НИКСХ2022КЛ, НИКСХ213КЛС и НИКСХ9610КЛВ компании Corteva Agriscience). Вместе с тем селекция рапса направлена на снижение содержания в семенах серосодержащих тиогликозидов, способных в виде образующихся из них токсичных соединений переходить в масло при некоторых технологических режимах переработки семян, обнаруживаемых в количестве от 180–200 до 12,8–17,5 мкмоль/г, при установленном безопасном уровне 18–20 мкмоль/г семян.

Изначально рапсовое масло содержало до 56% эруковой кислоты, являясь исключительно техническим. В 1974 г. канадские селекционеры лицензировали новый низкоэруковый сорт рапса «Канола», из семян которого было получено пищевое масло, в настоящее время перешедшее из разряда нетрадиционных растительных масел в разряд популярных у потребителей, производителей, нутрициологов и других специалистов. Основой для современных селекционных работ, направленных на повышение качества семян рапса в России, стали допущенные к использованию в начале 2000 гг. 53 «двунулевых» сорта (= «00», то есть содержащих малые количества эруковой кислоты (0–2%) и глюкозинолатов (менее 20 мкмоль/г)) ярового и 20 – озимого рапса, в том числе 11 и 14 иностранных.

В 2018 г. в Госреестр РФ было занесено 240 сортов и гибридов рапса, из них 167 – иностранной селекции. К 2023 г. впервые включены в Государственный реестр селекционных достижений сорта и гибриды озимого рапса (Оливин) и ярового рапса (Светозар, Сибиряк 60, Яркий), допущенные к использованию с 2023 г. Отмечается, что современные российские сорта озимого и ярового рапса практически не уступают в урожайности иностранным, причем минимальная разница в урожайности между гибридами и линейными сортами составляет 10%, оправдывая более высокую стоимость гибридов. Рапс успешно поддается генному модифицированию; существуют резистентные к гербицидам трансгенные линии рапса (не разрешенные для выращивания в России), в которых, по мнению канадских фермеров, урожайность увеличивается в среднем на 10% [3, 4, 9, 13, 14, 20, 23, 29, 31, 34, 55].

Сорта рапса демонстрируют широкий диапазон содержания масла в зрелых семенах – от 33,4 до 51,4%. Отсутствуют достаточные сведения о взаимосвязи структуры олеосом и различий в содержании масла. В растущих зародышах семян сортов с пониженным содержанием масла обнаружено сопровождаемое низким уровнем

накопления белка олеозина образование необычно больших олеосом (более 5,0 мкм), расходуемых более медленно, чем у высокомасличных сортов, после прорастания семян [66].

Технологически правильно извлеченное из семян рапса масло пользуется потребительским спросом как одно из лучших растительных масел, так как приравнивается к оливковому по вкусу, сбалансировано по жирнокислотному составу, содержит природные формы антиоксидантов и их синергистов (токоферолов, стеролов и каротиноидов), устойчиво к окислению, долго сохраняет прозрачность, не приобретает неприятный запах под воздействием воздуха.

При переработке рапса для производства масла в качестве побочного продукта получают рапсовый шрот с высоким содержанием белка, а также рапсовый жмых, успешно используемые в кормлении домашних животных и птиц. В соответствии с существующей классификацией масел, основанной на содержании жирных кислот в составе триглицеридов, рапсовое масло относится к маслам эруковой группы вместе с горчичным и сурепным маслами. Рекомендуемое содержание эруковой кислоты $C_{22}:1$ для пищевых сортов рапса (канола) – не более 5%, для технических сортов – 55–68%. Благодаря современной селекции и внедрению новых технологий обработки семян содержание эруковой кислоты в рапсе снижено до 0–2%. Горчичное и низкоэруковое рапсовое масла в сравнении с льняным, оливковым и амарантовым имеют преимущество по соотношению полиненасыщенных жирных кислот ω -6: ω -3, приближенному к оптимальному (3:1; 1:3–2:1; 1:4; 13:1 и 28:1 соответственно). Рапсовое масло, как и все масла семейства крестоцветных, богато линолевой и линоленовой кислотами. Последнее является особенно ценным, так как во многих странах наблюдается постоянный дефицит ω -3 жирных кислот в рационе. Жирнокислотный состав масла, получаемого из сортов и гибридов выращенного в России рапса, хорошо изучен и варьирует в зависимости от региона возделывания, погодных условий и других факторов. Насыщенные жирные кислоты составляют 5,00–6,93% включая пальмитиновую, стеариновую, арахидоновую $C_{20}:0$, бегеновую $C_{22}:0$, а также лигноцериновую кислоты $C_{24}:0$ (3,43–5,41%; 1,45–1,77%; 0,31% и менее; 0,21–0,27%, а также 0,14% соответственно); мононенасыщенные (58,40–65,61%) представлены в основном олеиновой кислотой (ω -9) и незначительным количеством пальмитолеиновой $C_{16}:1$, гадолеиновой $C_{20}:1$ и эруковой кислот (54,62–68,40%; 0,31–0,34%; 1,03% и 0,02–1,17% соответственно); полиненасыщенные (27,23–33,61%) включают в себя линолевую (ω -6), линоленовую (ω -3) и эйкозодиеновую $C_{20}:2$ кислоты (16,00–23,34%; 6,30–11,92% и следы соответственно).

Существуют безэруковые высокоолеиновые сорта ярового рапса селекции ВНИИМК, в масле семян которых содержание олеиновой кислоты достигает 75,18–79,57%, а линолевой и линоленовой кислот – 9,17–12,42% и 4,41–5,43% соответственно [1–3, 9, 15, 19, 25, 32, 45, 46, 57]. В научной литературе встречаются и совершенно иные, вероятно, ошибочные сведения о жирнокислотном составе пищевого рапсового масла, содержащего пальмитиновую, стеариновую, элаидиновую, олеиновую, ленолелаидиновую и эруковую жирные кислоты (40%; 50%; 3,0%; 4,0%; 2,1% и 1,0% соответственно) [49].

Пищевое рапсовое масло богато токоферолами (45–75 мг%) с повышенным содержанием наиболее активных антиоксидантов γ -токоферолов в сравнении с α - и β -токоферолами (46–65%; 25–40% и 7–13% от общей суммы соответственно); снижающими уровень холестерина в крови стеролами (0,5–1,0%); придающими маслу желтую окраску каротиноидами (0,30–0,57 мг%); затрудняющими рафинируемость и дающими нежелательную окраску хлорофиллами (от $1 \cdot 10^{-3}$... $9 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^{-3}$... $5,2 \cdot 10^{-3}$ в желтосемянных сортах рапса) [23].

Выводы

Рапс, благодаря высоким показателям рентабельности, возможностям ускоренной селекции, в том числе на масличность, является перспективным масличным сырьем с высоким пищевым потенциалом, составляя достойную конкуренцию подсолнечнику и сое. Включения масла (олеосомы в гиалоплазме и пластоглобулы в пластидах) в больших количествах накапливаются в клетках семян как запасные вещества первичного метаболизма, извлекаются разными технологическими способами, влияющими на качественный и количественный состав масла. Рапсовое масло отличается сбалансированным жирнокислотным составом с оптимальным соотношением ω -6: ω -3 жирных кислот и комплексом жирорастворимых антиоксидантов и витаминов (токоферолы и каротиноиды).

Повышать и качественно корректировать масличность рапса (увеличение уровня олеиновой и минимизация содержания эруковой и ценной, но вызывающей прогоркание масла линоленовой жирных кислот) можно путем селекции, создавая озимые и яровые, высокоурожайные, устойчивые к заболеваниям сорта и гибриды. Получение максимального выхода масла коррелирует с параметрами: ветвление растения, способного обеспечить максимальное образование стручков; увеличение числа, размеров и массы плодов и семян на растении; регуляция метаболизма олеозинов в связи с их способностью увеличивать размеры олеосом; усиление синтеза масла путем действия на гены, контролирующие белки – транспортеры жирных кислот; выявление наиболее эффективного способа извлечения масла; строгое соблюдение технологии возделывания рапса и пр.

Для дальнейшей успешной селекции рапса рекомендуем наряду с общепринятыми селекционными приемами анализировать процессы формирования масличности (размеры, время образования, клеточная природа жировых включений) в развивающихся семенах рапса классическими методами световой микроскопии, морфометрии и гистохимии.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением 075–15–2023–220 на поддержку программы развития университета «Приоритет-2030».

Библиографический список

1. *Остриков А.Н. и др.* Анализ жирнокислотного состава рапсового масла // *Масложировая промышленность*. – 2016. – № 6. – С. 18–21.
2. *Артемов И.В., Карпачев В.В.* Результаты исследований в области селекции, семеноводства и производства рапса в Российской Федерации // *Масличные культуры*. – 2003. – № 1 (128). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniy-v-oblasti-selektсии-semenovodstva-i-proizvodstva-rapsa-v-rossiyskoj-federatsii> (дата обращения: 19.09.2023).
3. *Афанасьева В.А., Алферов С.В.* Определение соотношения полиненасыщенных жирных кислот в пищевых маслах // *Известия ТулГУ. Естественные науки*. – 2018. – Вып. 4. – С. 76–83.
4. *Баюров Л.И.* Рапс – культура будущего! // *Научный журнал КубГАУ*. – 2021. – № 167 (03). – С. 1–19.
5. *Борисов Н.* Рапс – возможности и перспективы // *АгроФорум*. – 2020. – № 7. – С. 26–31.
6. *Савинов И.А., Соломонова Е.В., Ембатурова Е.Ю., Ноздрина Т.Д.* Ботаника. Систематика растений и грибов. Практикум: Учебное пособие для вузов. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 84 с.

7. *Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кернер К.* Ботаника: Учебник для вузов (на основе учебника Э. Страсбургера и др.): В 4 т. – М.: Издательский центр Академия, 2007. – 368 с.

8. В каких регионах собрали самый высокий урожай масличных в 2021 году? / oilworld.ru. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/327345/> (дата обращения: 25.04.2023).

9. *Вандышев В.В., Трусов Н.А., Созонова Л.И., Шейченко В.И.* Изучение масличности семян и присемянников *Euonymus europaea* L. и *Euonymus verrucosa* Scop. и состава триацилглицеридов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Медицина». – 2004. – № 4. – С. 279–285.

10. *Вертелецкий И.А.* Качество масличного сырья и урожайность отечественных и зарубежных сортов ярового рапса // Вестник ФГ БОУ ВПО РГ АТУ. – 2014. – № 3 (23). – С. 84–87.

11. *Горемыкина Н.В., Верещагин А.Л., Кошелев Ю.А., Першин Н.С.* Состав глицеридов облепихового масла Алтайского края, полученного различными способами // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 194–197.

12. *Горемыкина Н.В., Верещагин А.Л., Кошелев Ю.А., Першин Н.С.* Состав глицеридов облепихового масла различных частей растения // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 190–194.

13. *Горлова Л.А., Бочкарёва Э.Б., Сердюк В.В., Стрельников Е.А., Поморова Ю.Ю.* Первый отечественный желтосемянный сорт рапса ярового Кенар // Масличные культуры. – 2019. – № 3 (179). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pervyyu-otechestvennyu-zheltosemyannyu-sort-rapsa-yarovogo-kenar> (дата обращения: 19.09.2023).

14. ГОСТ 10857–64. Семена масличные. Методы определения масличности: введ. 1964–07–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 74 с.

15. *Гущина В.А., Лыкова А.С.* Особенности формирования урожайности и качества маслосемян ярового рапса в зависимости от густоты посева // Нива Поволжья. – 2015. – № 4 (37). – С. 27–33.

16. *Долгих Л.А., Абугалиева А.И.* Рапс и его идентификация согласно УРОВ // Масличные культуры. – 2009. – № 1 (140). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raps-i-ego-identifikatsiya-soglasno-upov> (дата обращения: 19.09.2023).

17. *Егорова Т.А., Ленкова Т.Н.* Рапс (*Brassica napus* L.) и перспективы его использования в кормлении птицы // Сельхозбиология. – 2015. – № 2. – С. 172–182.

18. *Еременко С.Г., Головань В.Т.* Питательность ярового рапса // Сборник научных трудов СКНИИЖ. – 2013. – № 2. – С. 73–76.

19. *Ефименко С.Г., Ефименко С.К.* Экспресс-оценка содержания масла и влаги в семенах масличного льна с помощью ИК-спектроскопии // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 63–70.

20. *Запорожская Л.И., Гаммель И.В.* Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных // Медицинский совет. – 2012. – № 12. – С. 134–136.

21. *Карпачев В.В.* Научное обеспечение производства рапса в России // Земледелие. – 2009. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnoe-obespechenie-proizvodstva-rapsa-v-rossii> (дата обращения: 19.09.2023).

22. *Касаткина Н.И., Нелюбина Ж.С.* Продуктивность сортов рапса ярового в условиях среднего Предуралья // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2016. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-sortov-rapsa-yarovogo-v-usloviyah-srednego-preduralya> (дата обращения: 19.09.2023).

23. *Кононенко С.* Рапсовый жмых – источник полноценного белка // Животноводство России. – 2009. – № 6. – С. 54–59.

24. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Влияние климатических условий на урожайность, масличность и жирнокислотный состав рапса ярового // *International agricultural journal*. – 2021. – № 2. – С. 84–94.
25. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Новый сорт рапса ярового Сибиряк 60 // *Масличные культуры*. – 2021. – Вып. 2 (186). – С. 101–104.
26. Лобаева Т.А. Изучение состава и содержания жирных кислот в фитопрепаратах // *Вестник РУДН. Серия «Медицина»*. – 2015. – № 2. – С. 9–16.
27. Лукомец В.М., Зеленцов С.В., Кривошлыков К.М. Перспективы и Резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // *Масличные культуры*. – 2015. – № 4 (164). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-rezervy-rasshireniya-proizvodstva-maslichnyh-kultur-v-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 19.09.2023).
28. Малинкина Е.В., Кислухина О.В., Румянцев В.Ю. Сочные плоды дикорастущих и культурных растений как сырье для получения витаминизированных масел // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. – М. – Пушкино: РУДН, 2001. – Т. III. – С. 532–534.
29. Монахос С.Г., Нгуен М.Л., Безбожная А.В., Монахос Г.Ф. Связь пloidности с числом хлоропластов в замыкающих клетках устьиц у диплоидных и амфидиплоидных видов Brassica // *Сельхозбиология, S-h biol, Sel-hoz biol, Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, Agricultural Biology*. – 2014. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaz-ploidnosti-s-chislom-hloroplastov-v-zamykayuschih-kletkah-ustits-u-diploidnyh-i-amfidiploidnyh-vidov-brassica> (дата обращения: 19.09.2023).
30. Мхитарьянц Л.А., Мхитарьянц Г.А., Марашева А.Н., Тимофеев Т.И. Особенности химического состава семян рапса современных селекционных сортов // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2012. – № 4. – С. 33–36.
31. Ноздрина Т.Д., Трусов Н.А., Солнышкова А.А., Соломонова Е.В. Плоды бересклетов как источник масел // *День Науки: Общеуниверситетская научная конференция молодых ученых и специалистов*. – М.: МГУПП, 2016. – С. 81–82.
32. Остриков А.Н., Горбатова А.В., Копылов М.В. Показатели качества рапсового масла холодного отжима // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 9. – С. 52–55.
33. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Колпакова В.В. *Пищевая химия: Учебник*. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2015. – 672 с.
34. Прахова Т.Я., Турина Е.Л. Биохимические характеристики маслосемян рыжика озимого в зависимости от региона возделывания // *Химия растительного сырья*. – 2022. – № 3. – С. 159–166.
35. Прахова Т.Я., Зеленина О.Н. Качественная характеристика маслосемян озимого рыжика // *Нива Поволжья*. – 2009. – № 3 (12). – С. 88–90.
36. Владыкина Д.С., Ламоткин С.А., Колногоров К.П. и др. Разработка купажей растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом // *Труды БГТУ*. – 2015. – № 4. – С. 240–245.
37. Сергеева А.С., Парфенова Е.Г., Голынец О.С. Разработка первичной референтной методики измерений и стандартных образцов массовой доли жира (масличности) в семенах масличных культур и продуктах на их основе // *Measurement standards. Reference Materials*. – 2020. – Vol. 16, № 3. – С. 37–51.
38. Рапс: от посева до уборки // *АгроФорум*. – 2019. – № 7. – С. 48–51.
39. Долголюк И.В., Терещук Л.В., Трубникова М.А. и др. Растительные масла – функциональные продукты питания // *Техника и технология пищевых производств*. – 2014. – № 2. – С. 122–125.
40. Агафонов О.С., Прудников С.М. Расширение функциональных возможностей ЯМР-анализатора АМВ-1006М // *Научное приборостроение*. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 29–35.

41. Резвицкий Т.Х., Тикиджан Р.А., Митлаш А.В. и др. Направления селекции рапса // The scientific heritage. – 2020. – № 54. – С. 7–9.
42. Саркисян В.А., Смирнова Е.А., Кочеткова А.А., Бессонов В.В. Синергические взаимодействия антиоксидантов в жировых продуктах // Пищевая промышленность. – 2013. – № 3. – С. 14–17.
43. Сизова Н.В. Снижение концентрации токоферолов в процессе окисления жирных масел // Химия растительного сырья. – 2009. – № 1. – С. 117–119.
44. Созонова Л.И., Трусов Н.А., Соломонова Е.В. О классификации и номенклатуре сочных плодов // Бюллетень Главного ботанического сада. – 2012. – № 3 (198). – С. 65–67.
45. Созонова Л.И. Сочные масличные плоды, закономерности развития и строения в связи с накоплением масла: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1992. – 36 с.
46. Созонова Л.И., Трусов Н.А. Клетки и ткани растений, световая микроскопия: Учебное пособие. – М.: РУДН, 2007. – 64 с.
47. Соколов Б.К., Гончаренко Е.В., Лисняк В.Е. Масло нашего здоровья // Масложировая промышленность. – 2003. – № 3. – С. 56–59.
48. Соломонова Е.В., Трусов Н.А. Поиск и перспективы использования сочных масличных плодов лесных растений // Лесохозяйственная информация. – 2017. – № 1. – С. 78–87.
49. Байбеков Р.Ф., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И. и др. Сравнительная характеристика состава жирных кислот в липидах масел из семян технических культур // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 6. – С. 62–65.
50. Строев Е.А. Биологическая химия: М. – М.: Высшая школа, 1986. – 479 с.
51. Таганович А.Д. Биологическая химия: М. – Минск: Бином, 2008. – 688 с.
52. Терещук Л.В., Старовойтова К.В., Лобова Т.В. и др. Технологические аспекты производства кислоты олеиновой из рапсового масла // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 2. – С. 62–67.
53. Паршакова Л.П., Попель С.С., Кропотова Ж.С. и др. Технология производства растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом // Пищевая промышленность. – 2017. – № 5. – С. 25–27.
54. Тохирён Б., Протасова Л.Г. Оценка значимости жирнокислотного состава растительных масел для здорового питания // Известия УрГЭУ. – 2014. – № 5 (55). – С. 115–119.
55. Тохирён Б., Позняковский В.М. Разработка состава и технологии получения комбинированного растительного масла для здорового питания // Индустрия питания. – 2017. – № 4. – С. 32–37.
56. Хамракулова М.Х., Иброхимова Ф.Э. Изучение местного рапсового масла для пищевой цели // Universum: технические науки: Электронный научный журнал. – 2021. – № 3 (84). – С. 79–82.
57. Андреева И.И., Козловская Л.Н., Посытанова В.Н. и др. Цитология растительной клетки. Краткий словарь терминов: Методическое пособие по курсу ботаники для студентов 1-го курса вечернего и заочного отделений. – М., 2007. – 42 с.
58. Черятова Ю.С. Анатомия лекарственных и эфиромасличных растений: М. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 133 с.
59. Черятова Ю.С. Иллюстрированный словарь-справочник по анатомии растений. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. – 80 с.
60. Эзау К. Анатомия семенных растений: В 2 кн. / Пер. с англ. А.Е. Васильева и др.; Под ред. А.Л. Тахтаджяна. – М.: Мир, 1980. – 558 с.
61. Abramović H., Abram V. Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil // Food Technology and Biotechnology. – 2005. – Vol. 43. – Pp. 63–70.

62. *Bonjean A.P., Dequidt C., Sang T.* Rapeseed in China // OCL. – 2016. – № 23 (6).
63. *Campos H., Baylin A., Willett W.C.* Alpha-linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction // *Circulation*. – 2008. – Vol. 118. – Pp. 339–345.
64. *Christine W., Simon H., Walter V.* Various concentrations of erucic acid in mustard oil and mustard // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 153. – Pp. 393–397.
65. *Li Y., Ali U., Cao Z. et al.* Fatty acid exporter 1 enhances seed oil content in *Brassica napus* // *Mol Breeding*. – 2022. – Vol. 42. – Pp. 69–75.
66. *Sipeniece E., Misina I., Qian Y. et al.* Fatty acid profile and squalene, tocopherol, carotenoid, sterol content of seven selected consumed Legumes // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 2021. – Vol. 76. – Pp. 53–59.
67. *Solomonova E.V., Nozdrina T.D., Trusov N.A. et al.* Food potential of alternative pome fruit trees cultivated in Moscow region // *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. – 2019. – Vol. 20, № 4. – Pp. 597–607.
68. *Friedrich W.* Vitamins. – Berlin; New York: de Gruyter, 1988. – 1058 p.
69. *Song J.M., Zhang Y., Zhou Z.W. et al.* Oil plant genomes: current state of the science // *J Exp Bot*. – 2022. – № 73 (9). – Pp. 2859–2874.
70. *Schagen S.K., Zampeli V.A., Makrantonaki E. et al.* Discovering the link between nutrition and skin aging // *Dermatoendocrinology*. – 2012. – Vol. 4, № 3. – Pp. 298–307.
71. *Snowdon R., Lühs W., Friedt W.* Oilseed Rape // *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. – 2006. – Vol. 2. – Pp. 54–56.
72. *Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D.* Search for alternative plant raw materials for food industry and environmentally safe animal breeding // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. – 2021. – Vol. 16, № 1. – Pp. 18–29.
73. *Hu Z., Wang X., Zhan G. et al.* Unusually large oilbodies are highly correlated with lower oil content in *Brassica napus* // *Plant Cell Rep*. – 2009. – № 28. – Pp. 541–549.

OIL YIELD OF RAPESEED PLANT – BOTANICAL NATURE, BIOCHEMICAL FEATURES AND NUTRITIONAL POTENTIAL

E.V. SOLOMONOVA, E.YU. YEMBATUROVA, YU.S. CHERYATOVA, S.G. MONAKHOS

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The annual rapeseed (Brassica napus L.), a member of the Brassicaceae family, has long been used as a source of technical oil. The development of low-erucic varieties (canola, less than 5% erucic acid) by Canadian breeders in the 1970s made rapeseed a valuable and promising oilseed crop. In the Russian Federation, rapeseed oil, extracted from the seeds of the mature pods of the plant, currently ranks third after sunflower and soybean oil in terms of production volume, surpassing them in a number of biochemical parameters: optimal ratio of ω -6: ω -3 fatty acids (1:3–2:1), high content of oleic acid (up to 79.57%), tocopherols (45–75 mg%), carotenoids (0.30–0.57 mg%) and sterols (0.5–1.0%). The high nutritional potential of rapeseed is explained by the availability of winter and spring forms, domestic and foreign varieties and hybrids, successful breeding for increased oil content and resistance to diseases, good yields in many natural zones of Russia, profitability of 100–150%, sometimes up to 400% and more, despite the need for strict adherence to cultivation technology, etc. In the fatty oil industry, oil yield refers to the content of crude fat and accompanying fat-like substances that pass from the seeds into the ether extract along with the fat. The cells of oil rapeseeds contain structures, that accumulate free lipids stored by the plant for use by the growing seedling: oleosomes and possibly fat inclusions in the cytoplasm, and plastoglobules in the plastids. The formation of neutral fats is a universal mechanism

for “switching off” excess primary synthesis products from plant metabolism. The qualitative fatty acid composition of seed oils of different plant species (in contrast to oils extracted from the non-seed parts of the fleshy oil fruits) is quite similar; the amount of fatty acids and the fat-soluble components extracted with them (antioxidants, vitamins, etc.) is variable. Knowledge of the botanical nature and biochemical characteristics of the oil content of rapeseed will make it possible to obtain maximum nutritional benefits through breeding, agronomic and technological methods.

Key words: rapeseed, *Brassica napus*, oil content, oleosomes, plastoglobules, fatty inclusions, rapeseed oil, polyunsaturated fatty acids, linoleic acid, linolenic acid, oleic acid, erucic acid.

Acknowledgements. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement No. 075–15–2023–220 to support the University’s development program “Priority-2030”.

References

1. Ostrikov A.N. et al. Analysis of fatty acid composition of rapeseed oil. *Maslozhirovaya promyshlennost’*. 2016; 6: 18–21. (In Rus.)
2. Artemov I.V., Karpachev V.V. Research results in the field of rapeseed breeding, seed breeding and production in the Russian Federation. *Oil Crops*. 2003; 1 (128). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniy-v-oblasti-selektivnoy-semenovodstva-i-proizvodstva-rapsa-v-rossiyskoy-federatsii> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
3. Afanas’eva V.A., Alferov S.V. Determination of the ratio of polyunsaturated fatty acids in edible oils. *Izvestiya TulGU. Estestvennye nauki*. 2018; 4: 76–83. (In Rus.)
4. Bayurov L.I. Rapeseed is the crop of the future! *Nauchnyi Zhurnal KubGAU*. 2021; 167 (03): 1–19. (In Rus.)
5. Borisov N. Rapeseed – opportunities and prospects. *AgroForum*. 2020; 7: 26–31. (In Rus.)
6. Savinov I.A., Solomonova E.V., Embaturova E.Yu., Nozdrina T.D. Botany. Systematics of plants and mushrooms. Textbook for universities. Sankt-Peterburg: Lan’, 2022: 84. (In Rus.)
7. Zitte P., Vayler E.V., Kaderayt J.V., Brezinski A., Kerner K. based on the textbook by E Strasburger et al. Botany. Textbook for universities: in 4 vol. M.: Izdatel’skiy tsentr Akademiya, 2007: 368. (In Rus.)
8. What regions have the highest oilseed harvests in 2021? [Electronic source]. URL: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/327345/> (Access date: 25.04.2023). (In Rus.)
9. Vandyshv V.V., Trusov N.A., Sozonova L.I., Sheychenko V.I. Study of oil content of seeds and seeds of *Euonymus europaea* L. and *Euonymus verrucosa* Scop. and triacylglyceride composition. *RUDN Journal of Medicine*. 2004; 4: 279–285. (In Rus.)
10. Verteletskiy I.A. Oilseed quality and yield of domestic and foreign varieties of spring rapeseed. *Vestnik FGBOU VPO RGATU*. 2014; 3 (23): 84–87. (In Rus.)
11. Goremykina N.V., Vereshhagin A.L., Koshelev Yu.A., Pershin N.S. Composition of glycerides of the Altai sea buckthorn oil obtained by different methods. *Polzunovskiy vestnik*. 2014; 3: 194–197. (In Rus.)
12. Goremykina N.V., Vereshhagin A.L., Koshelev Yu.A., Pershin N.S. Composition of glycerides of the Altai sea buckthorn oil obtained by different methods. *Polzunovskiy vestnik*. 2014; 3: 190–194. (In Rus.)
13. Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strel’nikov E.A., Pomorova Yu.Yu. The first domestic yellow-seeded spring rape variety Kenar. *Oil Crops*. 2019; 3 (179).

- URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pervyy-otechestvennyy-zheltosemyannyi-sort-rapsa-yarovogo-kenar> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
14. GOST 10857–64 Oilseeds. Methods for determination of oil content: date of introduction 1964–07–01. M.: Standartinform, 2010: 74. (In Rus.)
15. *Gushchina V.A., Lykova A.S.* Features of formation of yield and quality of spring rape oilseeds depending on sowing density. *Volga Region Farmland*. 2015; 4 (37): 27–33. (In Rus.)
16. *Dolgikh L.A., Abugalieva A.I.* Rapeseed and its identification according to UPOV. *Oil Crops*. 2009; 1 (140). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raps-i-ego-identifikatsiya-soglasno-upov> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
17. *Egorova T.A., Lenkova T.N.* Rapeseed (*Brassica napus* L.) and prospects of its use in poultry feeding. *Agricultural Biology*. 2015; 2: 172–182. (In Rus.)
18. *Eremenko S.G., Golovan', V.T.* Nutrition of spring rape. *Sbornik Nauchnykh Trudov SKNIIZh*. 2013; 2: 73–76. (In Rus.)
19. *Efimenko S.G., Efimenko S.K.* Rapid assessment of oil and moisture content in oilseed flax seeds by IR spectrometry. *Oil Crops*. 2020; 3 (183): 63–70. (In Rus.)
20. *Zaporozhskaya L.I., Gammel', I.V.* Characterisation and biological role of essential polyunsaturated fats. *Medical Council*. 2012; 12: 134–136. (In Rus.)
21. *Karpachev V.V.* Scientific support of rapeseed production in Russia. *Zemledelie*. 2009; 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnoe-obespechenie-proizvodstva-rapsa-v-rossii> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
22. *Kasatkina N.I., Nelyubina Zh.S.* Productivity of spring rape varieties in the conditions of the middle Urals. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2016; 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-sortov-rapsa-yarovogo-v-usloviyah-srednego-preduralya> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
23. *Kononenko S.* Rapeseed cake is a source of complete protein. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2009; 6: 54–59. (In Rus.)
24. *Kuznetsova G.N., Polyakova R.S.* Effect of climatic conditions on yield, oil content and fatty acid composition of spring rapeseed. *International Agricultural Journal*. 2021; 2: 84–94. (In Rus.)
25. *Kuznetsova G.N., Polyakova R.S.* New variety of spring rapeseed Sibiryak 60. *Oil Crops*. 2021; 2 (186): 101–104. (In Rus.)
26. *Lobaeva T.A.* Study of composition and content of fatty acids in phytopreparations. *RUDN Journal of Medicine*. 2015; 2: 9–16. (In Rus.)
27. *Lukomets V.M., Zelentsov S.V., Krivoslykov K.M.* Prospects and reserves for expansion of oilseeds production in the Russian Federation. *Oil Crops*. 2015; 4 (164). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-rezervy-rashireniya-proizvodstva-maslichnyh-kultur-v-rossiyskoy-federatsii> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
28. *Malinkina E.V., Kislukhina O.V., Rumyantsev V.Yu.* Juicy fruits of wild and cultivated plants as raw material for obtaining vitaminised oils. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya. V. III*. M.: Pushchino: RUDN, 2001: 532–534. (In Rus.)
29. *Monakhos S.G., Nguen M.L., Bezbozhnaya A.V., Monakhos G.F.* Relation of ploidy to the number of chloroplasts in stomata closing cells in diploid and amphidiploid Brassica species. *Agricultural Biology*. 2014; 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaz-ploidnosti-s-chislom-hloroplastov-v-zamykayuschih-kletkah-ustits-u-diploidnyh-i-amfidiploidnyh-vidov-brassica> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
30. *Mkhitar'yants L.A., Mkhitar'yants G.A., Marasheva A.N., Timofeenko T.I.* Peculiarities of chemical composition of rape seeds of modern breeding varieties. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2012; 4: 33–36. (In Rus.)

31. *Nozdrina T.D., Trusov N.A., Solnyshkova A.A., Solomonova E.V.* Birch bark fruits as a source of oils. Den' Nauki: Obsheuniversitetskaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov. M: MGUPP, 2016: 81–82. (In Rus.)
32. *Ostrikov A.N., Gorbatova A.V., Kopylov M.V.* Quality indicators of cold-pressed rapeseed oil. Food Industry. 2017; 9: 52–55. (In Rus.)
33. *Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A., Kolpakova V.V.* Food chemistry: textbook. Sankt-Peterburg: GIOR, 2015: 672. (In Rus.)
34. *Prakhova T.Ya., Turina E.L.* Biochemical characteristics of winter rye oilseeds depending on the region of cultivation. Khimija rastitel'nogo syr'ja. 2022; 3: 159–166. (In Rus.)
35. *Prakhova T.Ya., Zelenina O.N.* Qualitative characterisation of winter ginger oilseeds. Volga Region Farmland. 2009; 3 (12): 88–90. (In Rus.)
36. *Vladykina D.S., Lamotkin S.A., Kolnogorov K.P. et al.* Development of vegetable oil blends with balanced fatty acid composition. Proceedings of BSTU. 2015; 4: 240–245. (In Rus.)
37. *Sergeeva A.S., Parfenova E.G., Golynets O.S.* Development of primary reference methodology of measurements and standard samples of mass fraction of fat (oil content) in oilseeds and products based on them. Measurement standards. Reference Materials. 2020; 16; 3: 37–51. (In Rus.)
38. Rapeseed: from sowing to harvesting. AgroForum. 2019; 7: 48–51. (In Rus.)
39. *Dolgolyuk I.V., Tereshchuk L.V., Trubnikova M.A. et al.* Vegetable oils are functional foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2014; 2: 122–125. (In Rus.)
40. *Agafonov O.S., Prudnikov S.M.* Expansion of NMR-analyser AMV-1006M functionality. Nauchnoe priborostroenie. 2018; 28; 3: 29–35. (In Rus.)
41. *Rezvitskiy T.X., Tikidzhan R.A., Mitlash A.V. et al.* Trends in rapeseed breeding. The Scientific Heritage. 2020; 54: 7–9. (In Rus.)
42. *Sarkisyan V.A., Smirnova E.A., Kochetkova A.A., Bessonov V.V.* Synergistic interactions of antioxidants in fatty foods. Food Industry. 2013; 3: 14–17. (In Rus.)
43. *Sizova N.V.* Decrease in the concentration of tocopherols in the oxidation of fatty oils. Khimija rastitel'nogo syr'ja. 2009; 1: 117–119. (In Rus.)
44. *Sozonova L.I., Trusov N.A., Solomonova E.V.* On classification and nomenclature of juicy fruits. Byulleten' Glavnogo Botanicheskogo Sada. 2012; 3 (198): 65–67. (In Rus.)
45. *Sozonova L.I.* Juicy oil fruits, patterns of development and structure in relation to oil accumulation. DSc (Bio) thesis: 03.00.05. Moscow, 1992: 36. (In Rus.)
46. *Sozonova L.I., Trusov N.A.* Plant cells and tissues, light microscopy: textbook. M.: RUDN, 2007: 64. (In Rus.)
47. *Sokolov B.K., Goncharenko E.V., Lisnyak V.E.* Oil of our health. Maslozhirovaya promyshlennost'. 2003; 3: 56–59. (In Rus.)
48. *Solomonova E.V., Trusov N.A.* Search and prospects of utilisation of juicy oilseeded fruits of forest plants. Forestry Information. 2017; 1: 78–87. (In Rus.)
49. *Baybekov R.F., Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I. et al.* Comparative characterisation of fatty acid composition in lipids of oils from industrial seeds. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2019; 33; 6: 62–65. (In Rus.)
50. *Stroev E.A.* Biological chemistry. M.: Vysshaya shkola, 1986: 479. (In Rus.)
51. *Taganovich A.D.* Biological chemistry. Minsk: Binom, 2008: 688. (In Rus.)
52. *Tereshchuk L.V., Starovoytova K.V., Lobova T.V. et al.* Technological aspects of oleic acid production from rapeseed oil. Food Processing: Techniques and Technology. 2013; 2: 62–67. (In Rus.)
53. *Parshakova L.P., Popel'S S., Kropotova Zh.S. et al.* Production technology of vegetable oils with balanced fatty acid composition. Food Industry. 2017; 5: 25–27. (In Rus.)

54. Tokhirien B., Protasova L.G. Assessment of the importance of fatty acid composition of vegetable oils for healthy nutrition. *Journal of the Ural State University of Economics*. 2014; 5 (55): 115–119. (In Rus.)
55. Tokhirien B., Poznyakovskiy V.M. Development of composition and technology for production of combined vegetable oil for healthy nutrition. *Food Industry*. 2017; 4: 32–37. (In Rus.)
56. Khamrakulova M.Kh., Ibrokhimova F.E. Study of local rapeseed oil for food purpose. *Universum: tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn.* 2021; 3(84): 79–82. (In Rus.)
57. Andreeva I.I., Kozlovskaya L.N., Posypanova V.N. et al. Cytology of a plant cell. A brief glossary of terms: Methodological manual on the course of botany for students of the 1st year of evening and correspondence departments. Moscow, 2007: 42. (In Rus.)
58. Cheryatova Yu.S. Anatomy of medicinal and essential oil plants. M.: RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2015: 133. (In Rus.)
59. Cheryatova Yu.S. Illustrated glossary of plant anatomy. M.: RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2018: 80. (In Rus.)
60. Ezau K., Vasil'eva A.E. et al. Anatomy of seed plants: in two books. Translated from English. Ed. by A.L. Takhtadzhyan. M.: Mir, 1980: 558. (In Rus.)
61. Abramovič H., Abram V. Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil. *Food Technology and Biotechnology*. 2005; 43: 63–70.
62. Bonjean A.P., Dequidt C., Sang T. Rapeseed in China. *OCL*. 2016; 23 (6).
63. Campos H., Baylin A., Willett W.C. Alpha-linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction. *Circulation*. 2008; 118: 339–345.
64. Christine W., Simon H., Walter V. Various concentrations of erucic acid in mustard oil and mustard. *Food Chemistry*. 2014; 153: 393–397.
65. Li Y., Ali U., Cao Z. et al. Fatty acid exporter 1 enhances seed oil content in *Brassica napus*. *Mol Breeding*. 2022; 42: 69–75.
66. Sipeniece E., Misina I., Qian Y. et al. Fatty acid profile and squalene, tocopherol, carotenoid, sterol content of seven selected consumed Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021; 76: 53–59.
67. Solomonova E.V., Nozdrina T.D., Trusov N.A. et al. Food potential of alternative pome fruit trees cultivated in Moscow region. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2019; 20; 4: 597–607.
68. Friedrich W. Vitamins. Berlin; New York: de Gruyter, 1988: 1058.
69. Song J.M., Zhang Y., Zhou Z.W. et al. Oil plant genomes: current state of the science. *J Exp Bot*. 2022; 73 (9): 2859–2874.
70. Schagen S.K., Zampeli V.A., Makrantonaki E. et al. Discovering the link between nutrition and skin. *Dermatoendocrinology*. 2012; 4; 3: 298–307.
71. Snowdon R., Lühs W., Friedt W. Oilseed Rape. *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. 2006; 2: 54–56.
72. Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D. Search for alternative plant raw materials for food industry and environmentally safe animal breeding. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16; 1: 18–29.
73. Hu Z., Wang X., Zhan G. et al. Unusually large oilbodies are highly correlated with lower oil content in *Brassica napus*. *Plant Cell Rep*. 2009; 28: 541–549.

Екатерина Владимировна Соломонова, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. биол. наук, доцент; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: solomonova@rgau-msha.ru; тел.: (903) 173–55–54

Елена Юрьевна Ембатурова, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. биол. наук; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: e.embaturova@rgau-msha.ru; тел.: (916) 670–14–79

Юлия Сергеевна Черятова, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. биол. наук, доцент; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; тел.: (916) 218–86–35

Сократ Григорьевич Моначос, профессор кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, д-р с.-х. наук, профессор РАН; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: monakhos@rgau-msha.ru; тел.: (926) 562–32–32

Ekaterina V. Solomonova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (903) 173–55–54; E-mail: solomonova@rgau-msha.ru)

Elena Yu. Yembaturova, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (916) 670–14–79; E-mail: e.embaturova@rgau-msha.ru)

Yulia S. Cheryatova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (916) 218–86–35; E-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru)

Sokrat G. Monakhos, DSc (Ag), Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (926) 562–32–32; E-mail: monakhos@rgau-msha.ru)

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗРЕВАНИЯ
И ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ СОЧНЫХ ПЛОДОВ

О.Ф. ПАНФИЛОВА, Н.В. ПИЛЬЩИКОВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье обсуждаются физиологические аспекты созревания сочных плодов в связи с проблемой продления срока хранения садоводческой продукции. Используются достижения молекулярной биологии в области генетической регуляции процессов формирования качества урожая. Особое внимание обращено на гормональную регуляцию накопления питательных и биологически активных веществ в плодах. Показана роль рецепторных белков ARF/IAA и DELLA во взаимодействии сигнальных путей ауксина и ГК во время роста плодов томата, земляники и винограда. Отмечено участие белков DELLA в интеграции функционирования других фитогормонов: цитокинина, этилена, абсцизовой кислоты, brassinosterоидов и жасмоновой кислоты. Приведены свидетельства взаимодействия цитокинина с ауксином и ГК в регуляции раннего развития и размера плодов. Рассмотрено сочетание факторов транскрипции и эпигенетических модификаций при формировании и старении плодов. Показано включение механизмов старения и утраты лежкости плодов в отсутствие внешних признаков. Рассмотрены особенности созревания климактерических и неклимактерических плодов. Одним из ключевых регуляторов процесса созревания как климактерических, так и неклимактерических плодов является MADS-доменный транскрипционный фактор RIPENING INHIBITOR (RIN). Регулировка созревания неклимактерических плодов представлена на примере винограда и земляники. Особое внимание уделено ростовым процессам, водному обмену, фотосинтезу, первичному и вторичному метаболизму формирующихся и созревающих плодов. Рассмотрены вопросы формирования покровов и клеточных стенок как структурной основы физических свойств продукции. Приведены перспективные способы применения регуляторов процессов жизнедеятельности в послеуборочный период для замедления старения плодов. Углубление знаний генетических, гормональных и метаболических сетей открывает широкие перспективы для улучшения и сохранения качества сочной продукции садоводства.

Ключевые слова: генетическая регуляция, гормональная регуляция, первичный метаболизм, вторичный метаболизм, формирование сочных плодов, созревание, старение.

Введение

Послеуборочные потери продукции садоводства являются серьезной проблемой, стоящей перед человечеством. В соответствии с ростом населения в ближайшие 50 лет производство продуктов питания должно удвоиться. При этом в центре внимания глобальной продовольственной безопасности обычно находятся зерновые культуры. Тем не менее особое место в растениеводческой продукции занимают скоропортящиеся плоды. Фрукты и овощи обеспечивают человека не только питательными, но и биологически активными веществами (витаминами, антиоксидантами),

а также обогащают жизнь множеством положительных эмоций, столь необходимых для здоровья и комфортной жизни. Однако примерно 1/3 этой продукции никогда не потребляется по причине потерь и отходов. Как указывают многие авторы, эти цифры могут достигать 75%, и только с недавнего времени необходимости сокращения послеуборочных потерь садовых культур стали уделять должное внимание [30].

Причины послеуборочных потерь и отходов сложны и весьма разнообразны. Прежде всего сочные плоды содержат много воды и часто являются метаболически активными. После сбора урожая продолжается клеточное дыхание, связанное с использованием углеводов, происходит испарение воды, у климактерических плодов – выделение этилена. Во время транспортировки и хранения необходимо управление этими биологическими процессами, которые могут различаться в видовом и сортовом разрезах.

Качество продукции определяется большим количеством как внутренних, так внешних условий. В первую очередь, имеют значение наследственные признаки сорта. Большое влияние оказывает технология возделывания, в том числе такие агротехнические приемы, как внесение удобрений и орошение, а также стадия развития плодов во время уборки. Сбор плодов до полной зрелости обычно увеличивает срок их хранения, но ухудшает качество во время созревания в отсутствие контакта с материнским растением. Плоды, собранные в зрелом виде, имеют ограниченный срок хранения. Существенное влияние оказывают также климатические факторы, поражение патогенами, механические повреждения при уборке. Все это делает садоводческую продукцию скоропортящейся, что становится проблемой, с учетом того, какое расстояние плоды и декоративные растения могут преодолевать в глобальной цепочке поставок.

Настоящий обзор современной литературы посвящен формированию качества урожая сочной сельскохозяйственной продукции и условиям его сохранения в цепочке поставки потребителю.

Генетическая регуляция развития плодов. Плоды покрытосеменных растений предназначены для защиты развивающихся семян и их распространения. Развитие сочного плода включает в себя рост путем деления и растяжения клеток, созревание до стадии биологической зрелости и старения. При этом для повышения лежкости и транспортабельности плодов очень важно замедлить процессы их старения. Прохождение этапов онтогенеза органов растения содержится в последовательных блоках программы развития.

Перспективной моделью изучения процессов старения органов растения являются лепестки цветков, так как время их жизни строго детерминировано. Показано, что некоторые физиологические индикаторы запрограммированной смерти клеток проявляются уже на ранних стадиях развития цветка. Они включают в себя возрастание экспрессии генов цистеиновых протеаз, снижение липоксигеназной активности и накопление фенольных соединений [6, 7]. Изучение роли активных форм кислорода и редокс-сигнализации в этой связи будет способствовать разработке способов управления этими процессами для продления жизни продукции садоводства.

Сочные плоды различаются по характеру изменения интенсивности дыхания и образованию этилена в процессе развития. Их подразделяют на климактерические и неклимактерические. У климактерических плодов интенсивность дыхания на протяжении роста постепенно снижается. При достижении конечных линейных размеров наблюдается вспышка дыхания – временный климактерический подъем, который по мере старения плода затухает. Климактерическому подъему дыхания сопутствует возрастание синтеза этилена. При этом скачок синтеза этилена необходим для активации многих генов созревания плодов. Блокировка синтеза этилена приводит к торможению созревания [9]. К типичным климактерическим плодам относятся томаты, яблоки, бананы. У

неклимактерических плодов не наблюдается подъема интенсивности дыхания и содержания этилена при созревании. Такие плоды имеют виноград, цитрусовые, земляника.

К типичным климактерическим плодам относятся томаты, яблоки, бананы. У неклимактерических плодов не наблюдается подъем интенсивности дыхания и содержания этилена при созревании. Такие плоды имеют виноград, цитрусовые, земляника. Генетическая регуляция развития плодов начинается в цветочной меристеме (FM), где определяются архитектура и организация этой ткани, и продолжается до более поздних стадий развития плода. На примере томатов показано, что на начальном этапе развития плода активность и размер цветочной меристемы петля обратной связи CLAVATA-WUSCHEL (CLV-WUS) контролирует активность меристемы и регулирует размер FM, который в свою очередь определяет окончательное число плодолистиков в цветках и, следовательно, семенных локул в плодах.

Изменение морфологии плодов томатов зависит не только от генов, связанных с сигнальным путем CLV-WUS, но также от OVATE и SUN, которые оказывают большое влияние на форму плодов. Было обнаружено, что среди регуляторов массы плода регулятор количества клеток (CNR) лежит в основе локуса количественного признака (QTL) fw2.2, действуя на ранних стадиях развития гинецея для увеличения размера завязи и увеличивая ткани плода плаценты и колумеллы. Растяжение клеток околоплодника является ответственным за резкое увеличение размера плода от гинецея 1–2 мм до плода томата размером 5–10 см. Ген *CELL SIZE REGULATOR (CSR)* контролирует размер клеток перикарпия и лежит в основе QTL fw11.3. Экспрессия *CSR* начинается примерно через 5 дней после опыления и снижается в начале созревания. Наряду с увеличением размера клеток исследования коэкспрессии предполагают, что *CSR* также участвует в гистогенезе проводящей системы плода [26].

Одним из ключевых регуляторов процесса созревания как климактерических, так и неклимактерических плодов является MADS-доменинный транскрипционный фактор RIPENING INHIBITOR (RIN). Функциональные гены-мишени RIN включают регуляторные гены, большое количество структурных генов, контролирующих биосинтез этилена и его рецепторов, метаболизм сахаров, антоцианов, флавоноидов и каротиноидов, модификацию клеточной стенки. В обзоре М.А. Слугиной [3] рассмотрены особенности транскрипционного фактора RIN и его гомологов MADS-белков подсемейства SEPAL-LATA (SEP) у различных видов двудольных и однодольных растений. Показана их роль в эпигенетических модификациях ДНК и гистонов при участии микро РНК и днкРНК.

В качестве моделей регуляции формирования плодов обычно используются томаты, виноград, земляника садовая. Семена томата и винограда погружены в желеобразную ткань и эндокарпий соответственно. Плоды земляники состоят из сухих нескрывающихся плодов – семян и основной съедобной части разросшегося цветоложа. Несмотря на то, что плод формируется разными тканями, ключевые механизмы регуляции этого процесса являются сходными. Формирование ягод начинается при цветении, когда цветки приобретают способность к опылению. Оплодотворение активирует деление и рост клеток завязи. У винограда пик активности клеточного деления приходится на первую неделю после опыления. После этого интенсивное клеточное деление ограничивается только периферическими клетками. У томата деление клеток происходит в течение первых двух недель, у яблони (*Malus domestica*) – четырех недель [14]. Вакуолизация и растяжение клеток обеспечивают быстрое увеличение размеров плода. Развитие плодов может происходить и без оплодотворения и эмбриогенеза. Это явление, известное как партенокарпия, привлекает внимание исследователей и практиков ввиду ценности бессемянных плодов для потребителей.

Гормональная регуляция развития плодов. Формированию и росту сочных плодов способствует выработка формирующимися семенами фитогормонов – ауксина (ИУК)

и гиббереллинов (ГК). В настоящее время успехи молекулярной биологии позволяют рассматривать пути гормональной регуляции инициации и роста плодов. Детальный анализ секвенирования РНК в динамике от цветения до завязывания плодов винограда показал, что самый высокий процент индуцированных/подавленных в категории связанных с гормонами генов приходится на гены, связанные с ауксином. Применение ингибитора действия ауксина IAA-Тгр подтвердило участие ауксина в регуляции деления и растяжения клеток на ранних стадиях формирования ягод винограда [14].

ИУК и ГК воспринимаются рецепторными белками для регуляции нижестоящих путей метаболизма. Регуляция экспрессии генов ауксином напрямую контролируется белками факторов транскрипции ARF (auxin response factor). Белки ARF образуют большие семейства и действуют как активаторы или репрессоры транскрипции своих генов-мишеней. У рецессивного мутанта *arf8* арабидопсиса рост плодов не зависит от сигнала оплодотворения. Передача сигналов ГК отрицательно регулируется белками-репрессорами DELLA, которые обеспечивают тонкую настройку роста плодов. На различную роль этих гормонов в формировании плодов указывает и тот факт, что развитие железистой ткани почти отсутствовало в партенокарпических плодах томата, индуцированных ГК, тогда как ИУК способствовала формированию псевдоэмбрионов и увеличивала количество сосудистых пучков в партенокарпических плодах. В обзоре He H. и Yamamuro Ch. [15] приводятся молекулярные и генетические доказательства того, что белки ARF/IAA и DELLA взаимодействуют и регулируют сигнальные пути ИУК и ГК во время роста плодов томата, земляники и винограда. Кроме того, белки DELLA являются важными интеграторами функционирования других фитогормонов: цитокинина, этилена, абсцизовой кислоты, брассиностероидов и жасмоновой кислоты.

Сообщалось о двух пиках накопления цитокинина (ЦК) в завязях при цветении и через 5 дней после цветения томата, что позволяет предположить участие ЦК в завязывании и раннем развитии плодов. В трансгенных плодах с дефицитом ЦК наблюдалось уменьшение толщины околоплодника за счет уменьшения клеточных слоев, числа и размера клеток. Влияние ЦК на деление клеток в тканях перикарпа опосредовано функционированием циклинов и циклинзависимых протеинкиназ. Получены свидетельства взаимодействия ЦК с ауксином и ГК в регулировке толщины околоплодника и размера плода томата [13].

Установлено, что созревание плодов томата начинается со зрелой зеленой стадии во внутренней ткани. Экспрессия RIN и других генов факторов транскрипции (TF) усиливается эпигенетически за счет деметилирования ДНК и удаления метилирования гистона H3K27me3. Затем RIN вместе с другими TF индуцирует биосинтез этилена, чтобы регулировать основные процессы созревания. TF также стимулируются сигналами этилена, создавая цепь регуляции с положительной обратной связью.

Анализ пространственно-временного транскриптома с высоким разрешением показал, что градиенты экспрессии генов в разных тканях моделируют признаки, связанные с созреванием плодов. Иницирующие сигналы созревания пока остаются неизвестными. Коммуникации между клетками в развивающихся тканях обычно опосредуются рецептороподобными киназами (RLK) или рецептороподобными белками (RLP) плазматической мембраны. Воспринимая внеклеточные сигнальные молекулы, эти рецепторы передают сигналы в цитоплазму для регуляции клеточной активности. RLK и RLP широко изучаются в отношении иммунитета, полового размножения и развития семян. Высказана вероятность того, что пептиды из зрелых семян запускают инициацию созревания плодов посредством RLK и последующей передачи сигнала [23].

Продемонстрирована регуляторная роль факторов ответа на этилен ERF D7 (SIERF.D7) в созревании плодов томата. Экспрессия *SLERF.D7* положительно

реагировала на экзогенные обработки этиленом и ауксином. Сверхэкспрессия *SLERF.D7* способствовала созреванию, а ее подавление имело противоположный эффект. *SLERF.D7* позитивно регулирует количество *SlARF2A/B* для объединения сигнальных путей ауксина и этилена для контроля созревания плодов томата [12].

С использованием сравнительной транскриптомики исследовались процессы, которые коррелируют с закладкой и развитием мясистых плодов двух видов розоцветных, яблони (*Malus domestica*) и персика (*Prunus persica*) [21]. Изучение экспрессии генов пути ауксина и гиббереллина выявило их биосинтез в плодообразующих тканях в дополнение к семенам и их индукцию при опылении. Бокс-гены *MADS* типа II *PI*, *TM6* и *FBP9* идентифицированы, соответственно, как потенциальные негативные и позитивные регуляторы образования плодов. Предложена модель пошаговой спецификации и индукции развития сочных плодов. На этапе 1 гены класса *ABC* (*API*, *AP2*), *B* (*PI*, *AP3*) и *C* (*TAG* и *TAGL1*) определяют идентичность органов цветка. На этапе 2 во время цветения определенные органы цветка становятся компетентными, экспрессируя *FBP9*. Тычинки и лепестки являются недееспособными по причине отсутствия фотосинтеза. На этапе 3 при опылении/оплодотворении экспрессия *PI/TM6* выключается/понижается в определенных органах цветка, дополнительно придавая плодообразующую способность конкретным органам цветка. При этом индуцируется синтез ауксина (ИУК) и гиббереллина (ГА). На этапе 4 компетентные цветочные органы реагируют на ИУК/ГА и приступают к увеличению размера плодов.

Установлено, что в отличие от земляники, у которой семена являются местом индуцированного оплодотворением синтеза фитогормонов, у персика и яблони значительные изменения экспрессии генов вызывает опыление.

В качестве модели изучения неклиматических плодов используются земляника садовая (*Fragaria × ananassa*, октоплоидный вид) и диплоидная земляника лесная (*Fragaria vesca*). Плод земляники представляет собой псевдокарпий, состоящий из цветоложа и множества семян, встроенных в эпидермис первого. Развитие цветоложа зависит от ауксина, вырабатываемого семенами, а созревание – от абсцизовой кислоты (АБК), синтезируемыми в основном в клетках цветоложа. Решающее значение для процесса созревания плодов земляники имеет соотношение ИУК/АБК. Увеличение содержания АБК начинается на стадии белого цветоложа и резко увеличивается до стадии полностью красного.

В дополнение к изменениям эндогенной АБК во время развития плодов доказательства ее важности во влиянии на признаки созревания плодов земляники также получены в результате применения экзогенной АБК и ингибиторов ее биосинтеза. Убедительно показана роль ГК в регуляции развития плодов *F. Vesca* на ранней стадии. Существует несколько возможных взаимодействий ГК и АБК на генном уровне, однако участие ГК в созревании остается неясным и требует дальнейшего изучения. Также дискуссионным остается вопрос участия этилена в созревании плодов земляники. Авторы склонны считать, что у неклиматических плодов взаимодействие этилена и АБК имеет значение только в послеуборочном созревании и старении. Помимо фитогормонов, на накопление АБК могут оказывать влияние другие эндогенные вещества – такие, как сахара, полиамины. Существует и ярко выраженная экологическая регуляция содержания АБК, который считают гормоном стресса. Засуха, солевой стресс, повышенная температура способствуют более быстрому созреванию плодов, положительно регулируя биосинтез АБК или ее сигнальные пути. Особенно серьезная проблема заключается в послеуборочном повышении содержания АБК в результате дегидратационного стресса плодов, приводящего к перезреванию, потере качества и порче.

Установлено, что ключевыми компонентами механизма созревания плодов, опосредованного АБК, являются транскрипционные факторы *MADS*-box и *NAC*,

аналогичные тем, которые действуют в климактерических плодах [20]. Несмотря на сложность работы с аллополиплоидной формой и разнообразие генотипов культурных сортов земляники, она остается перспективной платформой исследования механизмов регуляции созревания неклимактерических плодов. Тем не менее нужно учитывать, что существенное отличие земляники от других неклимактерических плодов заключается в том, что сочная часть плода представлена цветоложем, на котором располагаются сухие плоды-семянки. Проведенное исследование экзогенного введения АБК и удаления семянок показало автокаталитический механизм биосинтеза АБК и его синергическое взаимодействие с ауксином для регулирования созревания. При этом биосинтез АБК является самоиндуцированным в семянках, а не в цветоложе. Было обнаружено, что АБК регулирует как биосинтез, так и транспорт ИУК, тем самым моделируя содержание ИУК во время как раннего роста, так и созревания [22].

Водообмен и рост плодов. Рост плодов обусловлен сложным взаимодействием биохимических и биофизических процессов, приводящих к накоплению сухой массы или новообразованию веществ и накоплению воды. В статье Federica Rossi с соавт. [29] анализируются стратегии роста плодов различных культур в течение сезона. Важнейшей переменной как для развития плодов, так и для их качества является проводимость поверхности эпидермиса, поскольку она регулирует потерю воды на транспирацию, тем самым – водный потенциал тканей, от которого зависят ксилемный и флоэмный потоки. Особенно это касается молодых плодов. Ксилемный поток напрямую зависит от градиента водного потенциала и гидравлической проводимости тканей. В случае, если потребность листьев в воде настолько возрастает, что снижается водный потенциал побегов до более отрицательных значений, чем у плодов, у яблони, винограда и киви, наблюдается обратный ксилемный поток воды и минеральных веществ в плодах. Это явление наблюдается обычно в середине сезона, когда ксилема все еще функционирует. Впоследствии ближе к сбору урожая виду утраты функциональности ксилемы плодов потеря воды прекращается.

Утрата функциональной активности ксилемы может быть связана как с отсутствием градиента водного потенциала, так и с закупоркой и эмболией сосудов. Ассимиляты обычно загружаются из флоэмы и пременяются в симпласте через плазмодесмы массовым током. Однако когда градиенты водного потенциала между флоэмой и клетками-акцепторами нулевые или ограниченные, для разгрузки флоэмы необходим активный транспорт с участием трансмембранных переносчиков углеводов. Таким образом, несмотря на то, что транспирация снижает водный баланс плода, она положительно влияет на поступление воды и питательных веществ в формирующийся плод.

Потери воды на транспирацию обычно увеличиваются с рассвета до середины дня, когда достигаются дневные пики. Молодые плоды имели самые высокие показатели интенсивности транспирации: $0,512 \text{ мг г}^{-1} \text{ мин}^{-1}$ у груши при водном потенциале $-1,0 \text{ Мпа}$; $0,268 \text{ мг г}^{-1} \text{ мин}^{-1}$ у вишни при $-0,8 \text{ Мпа}$; $0,218 \text{ мг г}^{-1} \text{ мин}^{-1}$ у яблони при $-1,2 \text{ Мпа}$; $-0,178 \text{ мг г}^{-1} \text{ мин}^{-1}$ для киви при $-1,7 \text{ МПа}$. Суточные пики флоэмного тока в основном наблюдались около полудня, тогда как более низкие скорости потока регистрировались с вечера до раннего утра. В целом поток ксилемы сохраняет низкие значения в ранние утренние часы, но увеличивается с полудня, достигая максимума ближе к вечеру, после того, как транспирация уже достигла своего пика. Это связано с тем, что утром градиент водного потенциала от стебля к плодам обычно ниже, чем от стебля к листьям, и большая часть воды направляется непосредственно на испаряющиеся листья. У некоторых видов в это время суток величины притока ксилемы недостаточны даже для компенсации транспирационных потерь воды. Суточный ритм роста плодов является результатом баланса между суммарным поступлением за счет

ксилемного и флоэмного транспорта и расходом воды на транспирацию, а иногда и ксилемного оттока. Увеличение линейных размеров плода обычно происходит ближе к вечеру и ночью [29].

Стратегия роста плодов имеет видовые особенности и меняется со временем. У яблони транспирация и ксилемный поток снижаются по мере развития плода, при этом апоплазматическая разгрузка флоэмы сохраняется в течение всего сезона. Наоборот, плоды персика сохраняют очень высокие потоки воды за счет транспирации и ксилемы вплоть до сбора урожая. Для многолетних плодовых культур негативные последствия засухи и теплового стресса имеют особое значение. Поэтому понимание механизмов, лежащих в основе роста плодов, является необходимым для разработки стратегии эффективного производства садоводческой продукции.

Физиологическим нарушением является стекловидность плодов, которая проявляется в виде пропитанной водой полупрозрачной ткани мякоти, прилегающей к сосудистой сердцевине. Стекловидные плоды обладают усиленно сладким и насыщенным медовым вкусом. В таких плодах во время хранения обычно наблюдается потемнение внутренних тканей. Склонность к стекловидности является сортовым признаком. В нашей стране эти сорта встречаются только в любительских садах. В большинстве азиатских стран им отдают предпочтение по причине ярко выраженных органолептических свойств, и они считаются коммерчески ценными [33]. Тем не менее до сих пор существует мало информации о том, как складывается водообмен клеток при формировании таких плодов.

Исследования, проведенные на сорте Фудзи, склонным к стекловидности, показали, что здесь общее количество растворимых твердых веществ было ниже, чем в области внешней паренхимы. Однако не наблюдалось пространственной разницы по осмотическому потенциалу тканей, измеренному криоскопическим методом. Наблюдался крутой градиент водного потенциала от нормальной области внешней паренхимы к области водяной сердцевины, что обеспечивало транспорт воды. На границе раздела произошли заметные метаболические изменения, следствием чего стало накопление летучих соединений – таких, как спирты и сложные эфиры. Спирты, в том числе этанол, имеют низкие коэффициенты отражения, быстро проникают через мембраны, накапливаются в апопласте и способствуют уменьшению газовой фазы и высокой прозрачности тканей. В апопласте водного ядра также наблюдалось значительное накопление сорбита и сахарозы, что тоже может индуцировать поток воды в апопластическое пространство. На сдвиговые изменения гликолиза указывают уровни экспрессии генов, связанных с пируватдекарбоксилазой (PDC), алкогольдегидрогеназой (ADH), пектинметилэстеразой (PME) и полигалактуронозой (PG). Не было значительных изменений в MdADH1–1, хотя уровни экспрессии обоих генов MdADH1–2 и MdADH2–1 были выше в стекловидных плодах, чем в нормальных, что свидетельствует об активации ферментации. Это согласуется с данными метаболома, обнаруженными на уровне клеток с использованием пикоPPESI–MS. Кроме того, не было значительных изменений в MdPME2, тогда как MdPG1 резко подавлялась в стекловидных плодах. Это позволяет предположить, что может происходить частичная модификация структуры клеточной стенки [33].

Масса плода является важным агрономическим признаком, с которым тесно связаны урожайность и экономическая ценность. Форма и окончательный размер плода определяются как количеством делений клеток, так и степенью их растяжения. Проведенное фенотипирование популяции F1 сорта яблони Zisai Pearl (*Malus asiatica*) × Red Fuji (*M. domestica*) и Sue *Malus baccata* показало, что разница между мелкими (масса меньше 40 г) и крупными (масса больше 120 г) плодами заключается в количестве делений клеток, окончательное количество которых устанавливается

в первые 28 дней после полного цветения. РНК-секвенированием обнаружено в этот период 5043 новых активных гена, между двумя фенотипами обнаружено 538 различий, в основном связанных с гормональной регуляцией [31].

Рост как интегральный процесс новообразования веществ зависит от температурных условий. При формировании урожая наибольшее влияние оказывают повышенные температуры. На землянике (*Fragaria × ananassa* Duch.) показано, что высокие температуры во время развития цветков уменьшают их размеры ($8,5 \times 4,8$ мм при 15°C и $6,0 \times 3,7$ мм при 25°C), количество плодолистиков на цветок, процент проросших пыльцевых зерен. Высокие температуры ускоряют развитие цветков. Кроме того, при повышении температуры с 10 до 36°C происходит экспоненциальное усиление дыхания как растения в целом, так и плодов. Все это приводит к формированию более мелких плодов и снижению урожайности. В условиях глобального потепления проблема приобретает особое значение. Необходимы генетические исследования крупноплодных популяций и отдельных особей в этих условиях [24].

Созревание плодов

Когда семена созреют и готовы к распространению, плоды проходят созревание – сложную программу развития, включающую в себя скоординированную регуляцию многочисленных физиологических и биохимических изменений, определяющих вкус, цвет, текстуру и аромат. Эти изменения включают активацию или подавление многочисленных генов в различных метаболических путях. Созревание – регулируемый фитогормонами каскад сложных биохимических и физиологических изменений, включающих в себя содержание и состав сахаров, пигментов, ароматических соединений, модификацию клеточных стенок.

Первичный метаболизм в плодах. Углеводный обмен. Особенно важную роль в формировании и созревании плодов играют сахара. Сахара являются источником энергии и строительного материала для биосинтетических процессов, обеспечивают осмотический актив клеток, необходимый для налива плодов, а также определяют вкусовые качества продукции. Источником сахаров являются не только листья, но и сами зеленые плоды. Зеленые плоды могут производить до 20% фотосинтетов плодов, оставшаяся часть импортируется листьями [26]. N. Ntagkas с соавт. показали, что фосфосинтетически активные плоды, способные реагировать на свет, могут запускать синтез аскорбата, в то время как нефотосинтетические красные созревающие плоды томата не могут вырабатывать этот антиоксидант в ответ на свет [25].

Основной транспортной формой углеводов в растении является сахароза. В плодах она трансформируется в крахмал или моносахариды. Крахмал обычно накапливается в незрелых плодах, а его гидролиз при созревании обеспечивает накопление моносахаридов – глюкозы и фруктозы. Активное участие в превращении сахаров принимают инвертазы и их ингибиторы, сахарозофосфатсинтетазы, гексокиназы и фруктокиназы. Изучение профилей экспрессии двух изоформ гена RIN (RIN1i и RIN2i) в процессе созревания плодов у 5 сортов и дикорастущего вида томата показало, что именно изоформа RIN2i осуществляет основную регуляцию метаболизма сахарозы, фруктозы и глюкозы [4]. У персика и яблони выявлена коррелятивная экспрессия генов созревания и фотосинтеза [21]. При этом увеличение содержания сахаров влияет на экспрессию RIN2i. Таким образом, сахара могут играть роль сигнальных молекул, что подтверждено в опытах с экзогенным воздействием сахарозы.

Метаболизм сахаров имеет большое значение в формировании клеточных стенок. Полисахариды клеточной стенки в основном происходят из сахара

и сахарофосфатов, а в мясистых плодах, в основном образованных клетками паренхимы, пектиновые и гемицеллюлозные полисахариды составляют почти 95% клеточной стенки. Деление и растяжение клеток во время роста напрямую связаны с их превращениями, что влияет на твердость и текстуру плодов.

Метаболизм органических кислот. Содержание органических кислот в фруктах является одним из наиболее важных свойств с коммерческой точки зрения и оказывает сильное влияние на органолептические качества продукта. Для благоприятного вкуса требуются высокое содержание сахара и относительно высокое содержание кислоты. Наилучшим при органолептической оценке плодов считается отношение сахаров к органическим кислотам, равное 15–20.

Органические кислоты также играют важную роль в регулировании осмотического потенциала, гомеостаза pH, стрессоустойчивости, являются дыхательными субстратами. В зрелых плодах органические кислоты локализованы в основном в плодовой мякоти, их мало в плодовых оболочках и семенах. Преобладающие органические кислоты в плодах варьируют в зависимости от вида. Основными, присутствующими в большинстве спелых плодов, являются яблочная и лимонная кислота. Термины «малат» и «цитрат» используют для обозначения всех физиологических форм этих органических кислот. Накопление малата и цитрата связано с их сложным метаболизмом и накоплением в вакуолях. За метаболизм этих кислот ответственными являются 4 типичных пути: цикл ди- и трикарбоновых кислот в митохондриях, цикл глиоксилата в глиоксисомах, катаболизма цитрата и декарбоксилирование малата и оксалоацетата в цитозоле.

Не менее сложными процессами являются транспорт органических кислот в вакуоли и их хранение. Вакуолярный транспорт в основном обеспечивается переносчиками, каналами и протонными насосами [26]. Важную роль в регуляции транспорта органических кислот играет семейство генов ALMT, кодирующее трансмембранные белки в качестве анионных каналов. Яблоко имеет два гомологичных гена ALMT – Ma1 и Ma2. При этом только экспрессия Ma1, потенциального гена признака кислотности плодов, положительно коррелирует с образованием малата. Лocus состоит из двух аллелей – Ma1 и ma1, последняя непосредственно связана с низким содержанием малата. Для нормального функционирования Ma1 необходима высококонсервативная структура C-концевого домена в ALMT. Любое его усечение, как естественное, так и искусственное, значительно снижает транспортную активность малата. У томата также повышение структурированности промоторной области SIALMT9 приводило к фенотипу с высоким содержанием малата [16]. Не менее сложной является регуляция хранения, выхода из вакуолей и повторного использования органических кислот в цитоплазме. Эти сложные регуляторные сети представляют несомненный интерес.

Метаболизм аминокислот. Общая концентрация свободных аминокислот в плодах колеблется от 2,0 до 2,5% в пересчете на сухую массу. Наиболее важными в количественном отношении являются глутаминовая, аспарагиновая и γ -аминомасляная кислоты (ГАМК). Последняя является не только важным метаболитом, но и регулятором pH цитозоля через шунтирующий путь. Содержание большинства свободных аминокислот обычно увеличивается во время созревания, в то время как содержание белка уменьшается в связи с увеличением активности экзопептидаз. Содержание треонина также снижается во время созревания и может метаболизироваться в изопентенилпирофосфат, действующего как предшественник каротиноидов. Зарегистрированное увеличение особенно важным является для глутамата, концентрация которого может достигать 10 ммоль кг^{-1} сырой массы в зрелых плодах [27]. Количество ароматических аминокислот также увеличивается, и они представляют особый

интерес, поскольку являются предшественниками ароматических летучих веществ в процессе созревания.

Вторичный метаболизм в плодах. Пигменты и флавоноиды. Окраска сочных плодов служит для привлечения животных, распространяющих семена, и является одним из наиболее важных факторов коммерческой ценности. Основными пигментами плодов являются антоцианы и каротиноиды. Предпочтения потребителей варьируют, но, как правило, в отношении яблони (*Malus domestica* Borkh.) преимущества имеют красные плоды. Их окраска в основном определяется содержанием и составом антоцианов, среди которых преобладают гликозилированные цианидины. Этот класс соединений обладает антиоксидантной активностью, что повышает потребительские свойства окрашенных плодов. Антоцианы обычно накапливаются в кожуре яблока. Более высоким их содержанием отличаются плоды с хорошо освещенной части кроны. С помощью гистохимического скрининга зарегистрировано увеличение количества фенольных соединений в наружных слоях плодов позднезимнего сорта Ренет Симиренко с возрастанием высоты от 300 до 1200 м над уровнем моря в горах Северного Кавказа [1]. При этом адаптация к условиям происходила за счет структурно-функциональных изменений наружных тканей, в том числе возрастания числа клеток, содержащих фенольные соединения. С увеличением высоты происходило уменьшение размеров клеток гиподермы, и особенно эпидермы. Это приводило к возрастанию количества полифенолов в пересчете на площадь одной клетки до 27 и 13% эпидермы и гиподермы соответственно на высоте 1200 м. Накопление фенолов обеспечивало защиту от повышенных доз ультрафиолетового излучения в высокогорных районах.

Во время созревания климактерических плодов существует тесная связь между выделением этилена и накоплением антоцианов. На основании генетических исследований разработана модель антагонистической активности репрессоров и активаторов R2R3-MYB [34]. В этой модели этиленовый сигнал индуцирует регуляторный путь MdEIL1-MdMYB1, который способствует синтезу антоцианов, и регуляторный путь MdEIL1-MdMYB17, который ингибирует синтез антоцианов. Активация экспрессии MdMYB17 с помощью MdMYB1 и MdEIL1 приводит к регуляции экспрессии MdEIL1 и MdMYB1 по принципу обратной связи. В то же время взаимодействие белков MdMYB17-MdEIL1 ослабляет регуляторные эффекты MdMYB17 на MdMYB1 и MdEIL1 и MdEIL1 на MdMYB17 и MdMYB1. Свет также увеличивает синтез антоцианов, индуцируя экспрессию преобразователя этиленового сигнала MdERF109 и продукцию фосфорилированного белка MdMYB1. Эти данные показывают, что в регуляции синтеза антоцианов в плодах яблони участвуют многие гены, которые быстро реагируют на сигналы развития и окружающей среды.

Свет, как показали исследования, является мощным фактором, регулирующим накопление фенолов. Изучение влияния послеуборочного облучения синим светом выявило положительное влияние на индукцию накопления антоцианов у трех изученных сортов яблони: Idared, Fuji и Carjevic. Однако профиль антоцианов отличался от естественной окраски. Значительно увеличивалось содержание хлорогеновой кислоты. Структурно-специфические ответы гликозидов кверцетина касались остатков сахара. Наибольшее относительное увеличение наблюдалось для кверцетин-3-О-арабинопиранозида, за которым следовали кверцетин-3-О-галактозид и кверцетин-3-О-глюкозид [18].

Большинство пурпурно-красных сортов винограда пигментировано в кожуре. Накопление антоцианов в созревающих ягодах происходит только в эпидермальных и субэпидермальных клетках. Антоцианы включают в себя в основном дельфинидин, петунидин, пеонидин и мальвидин, которые состоят из аминокликозидов

или гликозидов с ацилированием. Обычно содержание антоцианов у межвидовых гибридов ниже, чем у дикорастущих видов *Vitis*. При этом оказалось, что прививка также существенно влияет на накопление пигментов. Сравнение сорта *Crimson Seedless* (*Vitis vinifera*), привитого четыре подвоя (три гетеропрививки – CS/101–14, CS/SO4, CS/110R; одна самопрививка – CS/CS), с собственными корнями без прививки *Crimson Seedless* (CS) в качестве контроля выявило существенные транскриптомные и метаболомные особенности. Транскриптомный анализ показал, что гены, связанные с биосинтезом антоцианов, от восходящего (фенилаланин-аммиак-лиаза) до нисходящего (антоцианидин-3-О-глюкозилтрансфераза и антоцианидинсинтаза), активировались при накоплении антоцианов в гетеротрансплантированных растениях. Эти гены также были высокоэкспрессированными, и в самопривитых CS/CS образцах накапливалось больше антоцианов по сравнению с образцами CS без прививки. Ягоды гетеропривитых растений имели более крупные размеры, а в варианте самопрививки CS/CS наблюдалась самая интенсивная окраска ягод. Более раннее накопление антоциана в ягодах наблюдалось на подвое 101–14 [37].

Важным компонентом антиоксидантных систем являются каротиноиды. Их содержание во многом определяет пищевую ценность сочных плодов. β -каротин в избытке содержится в бледно-желтой мякоти киви, тогда как β -криптоксантином и зеаксантином богаты киви с ярко-желтой мякотью [36]. В настоящее время хорошо изучены метаболические пути биосинтеза и распада каротиноидов, их генетическая регуляция. Выявлена роль глюкозы как индуктора многоступенчатой конверсии и источника углерода для 20 углеродных предшественников каротиноидов. Изучение 18 образцов сортов и линий томата *Solanum lycopersicum* L. показало зависимость окраски плодов от состава и содержания каротиноидов, а также от наличия хлорофилла [2]. При созревании плодов наблюдается наибольший уровень экспрессии гена *CRTISO*. Однако не наблюдается корреляция между уровнем экспрессии и накоплением каротиноидов, что может быть связано с содержанием предшественников проликопина – субстрата для дальнейшего синтеза каротинов и ксантофиллов.

Оценка сохранения коммерческих качеств при холодовом хранении сортов нектарина с желтой (*Zijinhong*) и белой (*Ruiguang*) мякотью [35] показала, что плоды с желтой мякотью продемонстрировали более высокую лежкость в течение 35 дней за счет более высокого содержания растворимых сухих веществ и медленного снижения плотности плодов. Кроме того, на холоду усиливалась интенсивность окраски эпикарпа на фоне также увеличивающейся окраски мезокарпа у сорта *Zijinhong* и снижения у сорта *Ruiguang*. Наблюдалась положительная корреляция (0,9825) между общим содержанием каротиноидов и глюкозы.

У современных сортов овощного перца (*Capsicum annuum*) наблюдается широкая вариация окраски экзокарпа плодов. В биологической зрелости они обычно желтые, оранжевые и красные, а в технической – от светло-зеленой до фиолетовой, коричневой и почти черной. Это достигается комбинацией трех групп пигментов: хлорофиллов, каротиноидов (виолоксантин, лютеин, капсантин, капсорубин) и антоцианидов (производных дельфидина). Капсантин и капсорубин, придающие красный цвет плодам, являются специфичными для рода *Capsicum*.

Проведено исследование динамики накопления основных групп пигментов и паттернов их формирования в коже и мякоти плодов четырех сортов перца, различающихся по окраске [8]. Установлено, что визуально наблюдаемые изменения окраски плодов перца в процессе созревания положительно коррелируют с уровнем экспрессии структурных генов биосинтеза каротиноидов (*PSYI*, *LCYb* и *CCS*) и антоцианов (*CHS*, *F3'5'H*, *DFR*, *ANS* и *UFGT*). При этом динамические паттерны пигментации кожицы и мякоти плодов регулируются независимо.

Летучие вещества. Летучие метаболиты, синтезируемые во время созревания плодов, отвечают за вкус и аромат фруктов. В сочных плодах обнаружено более 400 летучих веществ, но меньший набор из 15–20 содержится в количествах, достаточных для воздействия на человеческое восприятие [10]. Эти летучие соединения обычно получают из различных предшественников включая жирные кислоты, каротиноиды и аминокислоты. Современные коммерческие сорта содержат значительно меньшее количество многих важных ароматических химических веществ, чем более старые сорта, поскольку они не были в центре внимания программ селекции. Современные исследования выявили сложную и четкую регуляцию метаболитов, продемонстрировав, что существуют широкие генетические возможности для улучшения летучего состава коммерческих сортов.

Летучие вещества можно подразделить на две категории: фенольные соединения и соединения с разветвленной цепью. Фенольные летучие вещества включают в себя различные соединения, полученные из аминокислоты фенилаланина, в то время как летучие соединения с разветвленной цепью имеют особенно низкую молекулярную массу и высокую летучесть. Дополнительными классами являются летучие эфиры и терпеноиды: монотерпеноиды (C10) и сесквитерпеноиды (C15), которые биосинтезируются из пятиуглеродных предшественников изопентенилдифосфата и диметилаллилдифосфата. Летучие соединения сначала накапливаются в конъюгированной нелетучей форме – такой, как гликозид, а затем высвобождаются в процессе созревания [28]. Накопление соответствующих гликозидаз в отдельном субклеточном месте должно обеспечить немедленное высвобождение больших количеств агликона, когда фермент и конъюгированная гликозилированная форма вступают в контакт друг с другом.

Механические свойства плодов. Качество плодов наряду с биохимическими показателями во многом определяется механическими характеристиками. Макроскопическая модель биомеханики растительной ткани включает в себя свойства клеточных стенок, тургорные явления, межклеточные взаимодействия.

Тонкий внешний слой мясистых плодов – экзокарпий (кожица) – состоит из сложной кутикулы, эпидермиса и гиподермы. Кутикула имеет особое значение для всех надземных частей растений, поскольку ее гидрофобная матрица защищает клетки от излишней потери воды, от абиотических и биотических стрессоров. Матрица представляет собой сеть кутина с пластинками воска, которые придают структуре прочность. Кутикула секретируется эпидермальными клетками и считается продолжением наружных стенок этих клеток.

Клеточные стенки на 90% состоят из полисахаридов. Целлюлозно-гемицеллюлозная сеть действует как каркас, а пектиновые вещества – как матричный пластификатор и адгезивный компонент срединной пластинки. Именно пектиновые вещества – относительно богатые уроновой кислотой полимеры – являются наиболее структурно сложными полисахаридами в первичных клеточных стенках растений и играют особую роль во время развития и созревания плодов. Во время созревания белки, модифицирующие клеточную стенку, в том числе полигалактуроназы (PG) и экспансины (EXP), совместно разбирают полисахаридные сети стенок и тем самым способствуют размягчению плодов.

В последние годы внимание исследователей привлечено к участию арабиногалактионовых белков (AGP) в метаболизме клеточных стенок развивающихся плодов. AGP представляют собой сильно гликолизированные гликопротеины, богатые гидроксипролином (HRGP). Белковый остов имеет ковалентно присоединенный арабиногалактан II типа (AG) к полисахаридам, состоящим из β -(1,3)-галактановых остовов с α -арабинозой, β -(1,6)-галактозой, β -глюкуроновой кислотой, α -рамнозой

и α -фукозой. Углеводная часть характеризуется полидисперсностью ввиду различного количества повторяющихся АГ-субъединиц. Белковая часть характеризуется наличием пептидных повторов Ala-Pro, Pro-Ala, Thr-Pro, Ser-Pro, Val-Pro и Gly-Pro. Ввиду существования гликозилфосфатидилинозитолового (GPI) якоря на их С-конце АGRP описываются как GPI-заякоренные белки, которые связаны с внешним листком плазматической мембраны. Наличие специфических фосфолипаз позволяет им высвободиться в клеточную стенку и играть роль внеклеточных биосенсоров. Гликозилирование АGRP происходит как в эндоплазматическом ретикулуме, так и в аппарате Гольджи.

На сегодняшний день известно 17 различных генов, участвующих в синтезе сахарных доменов, из семейства генов *GT31*, *GT14*, *GT37*, *GT29* и *GT37*. Все эти гены кодируют 7 различных гликозилтрансфераз, соответствующих определенным сахарным остаткам АGRP. Предполагается, что АGRPs являются важными компонентами внеклеточного матрикса, которые хелатируют Ca^{2+} глюкуроновыми карбоксильными группами в качестве предполагаемых внутримолекулярных центров связывания Ca^{2+} . Адгезивные свойства АGRP также важны для установления соединения плазматической мембраны с клеточной стенкой. Изменения в содержании и в структуре АGRP могут изменить их связь с пектином и влиять на его доступность для пектинметилэстераз и полигалактуроназ, влияющих на растворение клеточной стенки плодов и последующее их размягчение. Это тесно связано с состоянием тканей яблока в процессе созревания и старения от появления на периферии клеточной стенки и образования континуума с плазматической мембраной до распространения по всей поверхности внеклеточного матрикса через 3 месяца послеуборочного хранения. Полагают, что текстурные свойства плодов являются следствием возникновения динамической матрицы, связывающей полисахариды и протеогликаны, и синергического действия этих компонентов в процессе созревания [19].

Активные формы кислорода (АФК) укрепляют клеточные стенки за счет образования поперечных связей между полисахаридами, белками и фенолами. В составе полисахаридов клеточных стенок экзокарпия преобладает гемицеллюлоза с арабинозными боковыми цепями, увеличивающими прочность конфигурации полимеров клеточной стенки. В дополнение к защитной роли кожица ограничивает рост плодов. Клетки кожицы мельче и имеют более толстые клеточные стенки, чем клетки мякоти. Все это обеспечивает ограничение расширения клеток во время созревания. Однако продолжающийся экспансивный рост может поставить под угрозу целостность покровов. Микротрещины кутикулы могут распространиться и на эпидермис, и на мезодерму. В таком случае наблюдается растрескивание плодов. Различия в структуре клеточных стенок кожицы, динамики ее изменения в процессе созревания между видами и сортами могут быть важным фактором склонности к растрескиванию плодов. Растрескивание повышает восприимчивость к заражению патогенами, портит внешний вид, таким образом снижая товарные качества. Решению этой проблемы в последнее время уделяется особое внимание.

Проведено исследование механических свойств кутикулы и клеточных стенок эпидермиса созревающих ягод винограда в связи с динамикой их растрескивания [11]. Кутикулярный воск был частично удален, а клеточные стенки кожицы обработаны для придания жесткости или разрыхления. Установлено, что более чем двухкратная разница в толщине кутикулы у сортов винограда не объясняет их различия в устойчивости к механическому повреждению. Ягоды сорта Конкорд, несмотря на более толстую кутикулу и увеличение ее толщины во время созревания, были более восприимчивы к растрескиванию, чем ягоды сорта Мерло, у которых более тонкая кутикула не изменялась во время созревания.

Управление прочностью клеточных стенок кожицы с использованием реакций, связанных с АФК и изменением рН, показало, что разрыхление клеточных стенок увеличивает вероятность и ускоряет растрескивание ягод. Покадровая фотосъемка ягод, погруженных в воду, выявила зарождение кутикулярных микротрещин вблизи цветоложа и (или) на опробковевших рубцах, где калиптра прикреплялась до цветения. Микротрещины сначала медленно развиваются в трещины кожицы (время – от 25 до 227 мин), а затем в течение 1 мин удлиняются с разрывом мякоти. Объединение биохимических исследований и анатомо-морфологических наблюдений с теорией тонкой оболочки и механики разрушения позволило авторам сделать заключение о том, что существующие модели растрескивания ягод: критического тургора и застежки-молнии – следует рассматривать как дополняющие друг друга.

Детально изучены физиолого-биохимические процессы в созревающих плодах томата, связанные со склонностью к растрескиванию экзокарпия [17]. Для выявления роли белков полигалактуроназы (SIPG), экспансина (SIEXP1) и фактора транскрипции SIGLK2 плоды дикого типа Ailsa Craig (WT) сравнивали с плодами с подавленной экспрессией *SIPG* и *SIEXP1* (pg/exp) или с экспрессией усеченного нефункционального *Slglk2* (мутант *glk2*). Чтобы повысить склонность плодов к растрескиванию, проводили обработку растений абсцизовой кислотой, усиливающей ксилемный поток к плодам. При опрыскивании водой существенные различия по размеру плода у генотипов не отмечены. Через 26 дней после обработки АБК плоды pg/exp имели в среднем 50,1 мм в диаметре, а диаметры плодов WT (44,4 мм) и *glk2* (42, 2 мм) были явно меньше. Скорость роста pg/exp была самой высокой среди трех генотипов. Устьичная проводимость мутантов pg/exp и *glk2* составляла 171,4 и 183,3 ммоль м⁻² с⁻¹ соответственно у растений, обработанных водой, а проводимость снизилась до 53,9 и 31,4 ммоль м⁻² с⁻¹ у растений, обработанных АБК.

Частота растрескивания, о которой судили по трещинам в эпидермисе, увеличивалась по мере созревания плодов. Обработка АБК увеличивала частоту растрескивания плодов WT и *glk2*. Плотность плодов снижалась по мере созревания. Плотность обработанных АБК томатов pg/exp была в 1,10 раза выше, чем у мутанта *glk2*, и в 1,20 раза выше, чем у плодов WT. У плодов всех генотипов содержание растворимых сухих веществ увеличивалось по мере созревания. При этом плоды pg/exp имели постоянно более высокий уровень сухих веществ. Обработка АБК у всех генотипов снижала содержание сухих веществ и титруемую кислотность. Увеличение растрескивания в ответ на обработку АБК не было отмечено у зрелых плодов pg/exp, но наблюдалось у плодов WT и *glk2*. При обработке АБК плоды генотипа pg/exp имели клеточные стенки с менее водорастворимыми и более ионно- и ковалентно связанными пектинами, чем плоды других линий, подтверждая, что ферментативная разборка полисахаридной клеточной стенки, связанная с созреванием, влияет на растрескивание. Подавление фактора транскрипции SIGLK2, который регулирует развитие хлоропластов незрелых плодов и приводит к повышенному содержанию растворимых веществ и каротиноидов в зрелых плодах, не влияет на растрескивание плодов. Частота растрескивания плодов также не зависела от содержания ионов кальция в клеточных стенках.

Выводы

В решении проблемы круглогодичного обеспечения населения продукцией садоводства важную роль играет снижение потерь при ее доставке и хранении. Перед селекцией стоит задача выведения новых сортов и гибридов с улучшенными характеристиками лежкости. Новые инструменты редактирования генов открывают такие

возможности. Однако качество продукции имеет сложную мультигенную природу и характеризуется высоким эффектом взаимодействия генотипа и среды.

Существенный вклад в реализацию генетической информации при созревании и старении плодов вносят эпигенетические модификации, заключающиеся в метилировании и деметилировании ДНК. Поэтому одни лишь манипуляции с генами не могут решить проблему качества продукции – требуется интеграция молекулярной биологии и физиологических исследований характера наследования признаков [5]. Наглядным примером успеха на этом пути является повышение лежкости плодов томата [32].

Наглядным примером успеха на этом пути является повышение лежкости плодов томата [32]. Накопление данных по молекулярной биологии созревания плодов томатов дает возможность использовать гетерозиготное состояние *rip*-мутанта для увеличения сроков хранения за счет подавления синтеза этилена. Однако у этих плодов нарушен синтез каротиноидов и ароматических соединений, что снижает их питательную и вкусовую ценность. Полученная серия аллельных мутаций локуса *RIN* предоставила широкий спектр созревающих фенотипов. Аллель *ripG2* имеет не только более длительный срок хранения, но и повышенное накопление ликопина, обеспечивающего ярко-оранжевую окраску плодов.

Дальнейшее изучение биологических путей формирования качества урожая и послеуборочной физиологии садовых культур, их гормональной и генетической регуляции, несомненно, окажет заметное влияние на сокращение послеуборочных потерь и отходов. При этом немаловажное значение имеют социокультурные проекты программы «Циклическая экономика».

Библиографический список

1. Воронков А.С., Иванова Т.В., Кузнецова Э.И., Кумахова Т.Х. Адаптивные возможности плода *Malus domestica* Borkh. (*Rosaceae*) в условиях высотной поясности // Физиология растений. – 2019. – Т. 66, № 6. – С. 441–451.
2. Ефремов Г.И., Джос Е.А., Ашихмин А.А., Кочиева Е.З., Щенникова А.В. Влияние содержания каротиноидов и активности гена каротиноид-цис-транс-изомеразы *CRTISO* на окраску плода томата // Физиология растений. – 2022. – Т. 69, № 4. – С. 352–362.
3. Слугина М.А. Транскрипционный фактор *RIPENING INHIBITOR* и его гомологи в регуляции созревания сочного плода различных видов растений // Физиология растений. – 2021. – Т. 68, № 5. – С. 451–468.
4. Слугина М.А., Джос Е.А., Щенникова А.В., Кочиева Е.З. Содержание сахаров в зрелом томате коррелирует с уровнем репрессии изоформы *RIN2i* гена *Ripening inhibitor* // Физиология растений. – 2021. – Т. 68, № 6. – С. 589–599.
5. Кошкин Е.И., Панфилова О.Ф. Физиологические основы селекции растений: Учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. – 228 с.
6. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Старение органов растения как реализация генетической программы развития // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017. – № 61. – С. 174–180.
7. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Развитие цветка и сохранение декоративных качеств цветов лилии (*Lilium* L.) азиатских гибридов // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2018. – № 65. – С. 74–78.
8. Филюшин М.А., Джос Е.А., Щенникова А.В., Кочиева Е.З. Зависимость окраски плодов перца от соотношения основных пигментов и профиля экспрессии генов биосинтеза каротиноидов и антоцианов // Физиология растений. – 2020. – Т. 67, № 6. – С. 644–653.

9. *Alexander L., Grierson D.* Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening // *J. Exp. Bot.* – 2002. – V. 53. – P. 2039.
10. *Baldwin E.A., Scott J.W., Shewmaker C.K., Schuch W.* Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components // *Hort Science.* – 2000. – V. 35. – Pp. 1013–1022.
11. *Chang B.-M., Keller M.* Cuticle and skin cell walls have common and unique roles in grape berry splitting // *Horticulture Research.* – 2021. – Vol. 8. – Article number: 168.
12. *Gambhir P., Singh V., Parida A., Raghuvanshi U., Kumar R., Sharma A.K.* Ethylene response factor ERF.D7 activates auxin response factor 2 paralogs to regulate tomato fruit ripening // *Plant Physiology.* – 2022. – V. 190. – Iss. 4. – Pp. 2775–2796.
13. *Gan L., Song M., Wang X., Yang N., Li H., Liu X., Li Y.* Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhab 041.
14. *Godoy F., Kühn N., Muñoz M., Marchandon G., Gouthu S., Deluc L., Delrot S., Lauvergeat V., Arce-Johnson P.* The role of auxin during early berry development in grapevine as revealed by transcript profiling from pollination to fruit set // *Horticulture Research.* – 2021. – V. 8. – P. 140.
15. *He H., Yamamuro Ch.* Interplays between auxin and GA signaling coordinate early fruit development // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhab 078.
16. *Huang X. – Yu., Wang Ch. – K., Zhao Yu-W., Sun C. – H., Hu D. – G.* Mechanisms and regulation of organic acid accumulation in plant vacuoles // *Horticulture Research.* – 2021. – V. 8. – P. 227.
17. *Jiang F., Lopez A., Jeon Sh., Tonetto de Freitas S., Yu Q., Wu Z., Labavitch J.M., Tian Sh., Powell A.L.T.* Disassembly of the fruit cell wall by the ripening-associated polygalacturonase and expansin influences tomato cracking // *Horticulture Research.* – 2019. – V. 6. – Article number: 17.
18. *Kokalj D., Zlatić E., Kobav B., Vidrih R.* Postharvest flavonol and anthocyanin accumulation in three apple cultivars in response to blue-light-emitting diode light // *Scientia Horticulturae.* – 2019. – V. 257. – 108711.
19. *Leszczuk A., Kalaitzis P., Blazakis K.N., Zdunek A.* The role of arabinogalactan proteins (AGPs) in fruit ripening – a review // *Horticulture Research.* – 2020. – V. 7. – Article number: 176.
20. *Li B. – J., Grierson D., Shi Y., Chen K. – S.* Roles of abscisic acid in regulating ripening and quality of strawberry, a model non-climacteric fruit // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhab 089.
21. *Li M., Galimba K.D., Xiao Y., Dardick Ch., Mount S.M., Callahan A., Lui Z.* Comparative transcriptomic analysis of apple and peach fruits: insights into fruit type specification // *The Plant Journal.* – 2021. – V. 109. – Iss. 6. – Pp. 1614–1629.
22. *Li T., Dai Z., Zeng B., Li J., Ouyang J., Kang L., Wang W., Jia W.* Autocatalytic biosynthesis of abscisic acid and its synergistic action with auxin to regulate strawberry fruit ripening // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhab 076.
23. *Li X., Wang X., Zhang Y., Zhang A., You Ch. – X.* Regulation of fleshy fruit ripening: from transcription factors to epigenetic modifications // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhab 013.
24. *Menzel Ch.M.* A review of fruit development in strawberry: high temperatures accelerate flower development and decrease the size of the flowers and fruit // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* – 2023. – 5 Feb.
25. *Ntagkas N., Woltering E., Nicole C., Labrie C., Marcelis L.F.M.* Light regulation of vitamin C in tomato fruit is mediated through photosynthesis // *Environ. Exp. Bot.* – 158. – Pp. 180–188.

26. *Pesaresi P., Mizzotti C., Colombo M., Masiero S.* Genetic regulation and structural changes during tomato fruit development and ripening // *Front. Plant Sci.* – 2014. – № 5. – P. 124.
27. *Quinet M., Angosto T., Yuste-Lisbona F.J., Blanchard-Gros R., Bigot S., Martinez J.P., Lutts S.* Tomato Fruit Development and Metabolism // *Front. Plant Sci.* – 2019. – V. 10. – P. 1554.
28. *Rambla J.L., Tikunov Y.M., Monforte A.J., Bovy A.G., Granell A.* The expanded tomato fruit volatile landscape // *J. Exp. Bot.* – 2014. – V. 65. – Pp. 4613–4623.
29. *Rossi F., Manfrini L., Venturi M., Grappadelli L.C., Morandi B.* Fruit transpiration drives interspecific variability in fruit growth strategies // *Horticulture Research.* – V. 9. – 2022. – Uhc 036.
30. *Shipman E.N., Yu J., Zhou J., Albornoz K., Beckles D.M.* Can gene editing reduce postharvest waste and loss of fruit, vegetables, and ornamentals? // *Horticulture Research.* – 2019. – V. 8. – P. 1.
31. *Tian Z.* Anatomical and Transcriptomic Comparison Between Small and Large Fruit Size During Fruit Development in Apple // *The 9th International Horticulture Research Conference.* – 2022. – Wuhan, China. – DOI: 10.48130/IHRC2022-pst-0405.
32. *Vrebalov J., Ruezinsky D., Padmanabhan V., White R., Medrano D., Drake R.* A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (*rin*) locus // *Science.* – 2002. – V. 296. – Pp. 343–346.
33. *Wada H., Nakata K., Nonami H., Erra-Balsells R., Tatsuki M., Hatakeyama Y., Tanaka F.* Direct evidence for dynamics of cell heterogeneity in watercored apples: turgor-associated metabolic modifications and within-fruit water potential gradient unveiled by single-cell analyses // *Horticulture Research.* – 2021. – V. 8. – P. 187.
34. *Wang Sh., Li L. – X., Zhang Z., Fang Y., Li D., Chen X. – S., Feng Sh. – Q.* Ethylene precisely regulates anthocyanin synthesis in apple via a module comprising *MdEIL1*, *MdMYB1* and *MdMYB17* // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhc 34.
35. *Wang Y., Hao Y., Zhou D., Pan L., Tu K.* Differences in commercial quality and carotenoids profile of yellow-and white-fleshed nectarine fruit during low temperature storage and the regulation of carotenoids by sugar // *Postharvest Biology and Technology.* – 2023. – V. 197. – 112206.
36. *Xia H., Wang X., Su W., Jiang L., Lin L., Deng Q., Wang J., Deng H., Hu R., Liao M., Liang D.* Changes in the carotenoids profile of two yellow-fleshed kiwifruit cultivars during storage // *Postharvest Biology and Technology.* – 2020. – V. 164. – 111162.
37. *Zhong H., Liu Z., Zhang F., Zhou X., Sun X., Li Y., Liu W., Xiao H., Wang N., Lu H.* Metabolomic and transcriptomic analyses reveal the effects of self- and hetero-grafting on anthocyanin biosynthesis in grapevine // *Horticulture Research.* – 2022. – V. 9. – Uhc103.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF RIPENING AND EXTENDING THE SHELF LIFE OF FLESHY FRUITS

O.F. PANFILOVA, N.V. PIL'SHCHIKOVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

This review discusses the physiological aspects of the ripening of juicy fruits in relation to the problem of extending the shelf life of horticultural products. The achievements of molecular biology in the field of genetic regulation of plant quality formation processes are used. Particular attention is paid to the hormonal regulation of the accumulation of nutrients and biologically active substances in fruits. The role of ARF/IAA and DELLA receptor proteins in the interaction of auxin

and GA signalling pathways during the growth of tomato, strawberry, and grape fruits is demonstrated. The involvement of DELLA proteins in integrating the function of other phytohormones – cytokinin, ethylene, abscisic acid, brassinosteroids and jasmonic acid – is noted. Evidence is presented for the interaction of cytokinin with auxin and GA in the regulation of early development and fruit size. The combination of transcription factors and epigenetic modifications during fruit development and senescence is considered. The involvement of mechanisms of senescence and loss of fruit shelf life in the absence of external signs is shown. The ripening characteristics of climacteric and non-climacteric fruits are considered. One of the key regulators of the ripening process in both climacteric and non-climacteric fruits is the MADS domain transcription factor RIPENING INHIBITOR (RIN). The regulation of non-climacteric fruit ripening is reviewed using grape and strawberry as examples. Special attention is paid to growth processes, water exchange, photosynthesis, primary and secondary metabolism of developing and ripening fruits. The formation of integuments and cell walls as a structural basis for the physical properties of products is considered. Promising methods of using regulators of vital processes in the post-harvest period to slow down the fruit senescence are given. Increased knowledge of genetic, hormonal and metabolic networks opens up broad prospects for improving and maintaining the quality of fleshy horticultural products.

Key words: genetic regulation, hormonal regulation, primary metabolism, secondary metabolism, formation of fleshy fruits, ripening, senescence.

References

1. Voronkov A.S., Ivanova T.V., Kuznecova E.I., Kumahova T.H. Adaptive capabilities of *Malus domestica* Borkh. (*Rosaceae*) fruit under altitudinal belt conditions. Russian Journal of Plant Physiology. 2019; 66; 6: 441–451. (In Rus.)
2. Efremov G.I., Dzhos E.A., Ashihmin A.A., Kochieva E.Z., Shchennikova A.V. Effect of carotenoid content and carotenoid-cis-trans isomerase *CRTISO* gene activity on tomato fruit colouration. Russian Journal of Plant Physiology. 2022; 69; 4: 352–362. (In Rus.)
3. Slugina M.A. Transcription factor RIPENING INHIBITOR and its homologues in the regulation of juicy fruit ripening in different plant species. Russian Journal of Plant Physiology. 2021; 68; 5: 451–468. (In Rus.)
4. Slugina M.A., Dzhos E.A., Shchennikova A.V., Kochieva E.Z. Sugar content in mature tomato correlates with the level of repression of the *RIN2i* isoform of the *Ripening inhibitor* gene. Russian Journal of Plant Physiology. 2021; 68; 6: 589–599. (In Rus.)
5. Koshkin E.I., Panfilova O.F. Physiological basis of plant breeding. M: RGAU-MSKhA, 2014. (In Rus.)
6. Panfilova O.F., Pil'shchikova N.V. Senescence of plant organs as implementation of the genetic programme of development. Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. 2017; 61: 174–180. (In Rus.)
7. Panfilova O.F., Pil'shchikova N.V. Flower development and preservation of decorative qualities of lily (*Lilium* L.) flowers of Asian hybrids. Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. 2018; 65: 74–78. (In Rus.)
8. Filyushin M.A., Dzhos E.A., Shchennikova A.V., Kochieva E.Z. Dependence of pepper fruit colouration on the ratio of basic pigments and the expression profile of carotenoid and anthocyanin biosynthesis genes. Russian Journal of Plant Physiology. 2020; 67; 6: 644–653. (In Rus.)
9. Alexander L., Grierson D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. J. Exp. Bot. 2002; 53: 2039.
10. Baldwin E.A., Scott J.W., Shewmaker C.K., Schuch W. Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. Hort Science. 2000; 35: 1013–1022.

11. *Chang B-M., Keller M.* Cuticle and skin cell walls have common and unique roles in grape berry splitting. *orticulture Research*. 2021; 8; 8: 168.
12. *Gambhir P., Singh V., Parida A., Raghuvanshi U., Kumar R., Sharma A.K.* Ethylene response factor ERF.D7 activates auxin response factor 2 paralogs to regulate tomato fruit ripening. *Plant Physiology*. 2022; 190; 4: 2775–2796.
13. *Gan L, Song M., Wang X., Yang N., Li H., Liu X., Li Y.* Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhab 041.
14. *Godoy F., Kühn N., Muñoz M., Marchandon G., Gouthu S., Deluc L., Delrot S., Lauvergeat V., Arce-Johnson P.* The role of auxin during early berry development in grapevine as revealed by transcript profiling from pollination to fruit set. *Horticulture Research*. 2021; 8: 140.
15. *He H., Yamamuro Ch.* Interplays between auxin and GA signaling coordinate early fruit development. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhab 078.
16. *Huang X. – Yu, Wang Ch. – K., Zhao Yu-W., Sun C. – H., Hu D. – G.* Mechanisms and regulation of organic acid accumulation in plant vacuoles. *Horticulture Research*. 2021; 8: 227.
17. *Jiang F., Lopez A., Jeon Sh., Tonetto de Freitas S., Yu Q., Wu Z., Labavitch J.M., Tian Sh., Powell A.L.T.* Disassembly of the fruit cell wall by the ripening-associated polygalacturonase and expansin influences tomato cracking. *Horticulture Research*. 2019; 6: 17.
18. *Kokalj D., Zlatić E., Kobav B., Vidrih R.* Postharvest flavonol and anthocyanin accumulation in three apple cultivars in response to blue-light-emitting diode light. *Scientia Horticulturae*. 2019; 257: 108711.
19. *Leszczuk A., Kalaitzis P., Blazakis K.N., Zdunek A.* The role of arabinogalactan proteins (AGPs) in fruit ripening – a review. *Horticulture Research*. 2020; 7: 176.
20. *Li B. – J., Grierson D., Shi Y., Chen K. – S.* Roles of abscisic acid in regulating ripening and quality of strawberry, a model non-climacteric fruit. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhac 089.
21. *Li M., Galimba K.D., Xiao Y., Dardick Ch., Mount S.M., Callahan A., Lui Z.* Comparative transcriptomic analysis of apple and peach fruits: insights into fruit type specification. *The Plant Journal*. 2021; 109; 6: 1614–1629.
22. *Li T., Dai Z., Zeng B., Li J., Ouyang J., Kang L., Wang W., Jia W.* Autocatalytic biosynthesis of abscisic acid and its synergistic action with auxin to regulate strawberry fruit ripening. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhab 076.
23. *Li X., Wang X., Zhang Y., Zhang A., You Ch. – X.* Regulation of fleshy fruit ripening: from transcription factors to epigenetic modifications. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhac 013.
24. *Menzel Ch.M.* A review of fruit development in strawberry: high temperatures accelerate flower development and decrease the size of the flowers and fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2023. Published online: 05 Feb 2023.
25. *Ntagkas N., Woltering E., Nicole C., Labrie C., Marcelis L.F.M.* Light regulation of vitamin C in tomato fruit is mediated through photosynthesis. *Environ. Exp. Bot.*; 158: 180–188.
26. *Pesaresi P., Mizzotti C., Colombo M., Masiero S.* Genetic regulation and structural changes during tomato fruit development and ripening. *Front. Plant Sci.* 2014; 5: 124.
27. *Quinet M., Angosto T., Yuste-Lisbona F.J., Blanchard- Gros R., Bigot S., Martinez J.P., Lutts S.* Tomato Fruit Development and Metabolism. *Front. Plant Sci.* 2019; 10: 1554.
28. *Rambla J.L., Tikunov Y.M., Monforte A.J., Bovy A.G., Granell A.* The expanded tomato fruit volatile landscape. *J. Exp. Bot.* 2014; 65: 4613–4623.

29. Rossi F., Manfrini L., Venturi M., Grappadelli L.C., Morandi B. Fruit transpiration drives interspecific variability in fruit growth strategies. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhac 036.
30. Shipman E.N., Yu J., Zhou J., Alborno K., Beckles D.M. Can gene editing reduce postharvest waste and loss of fruit, vegetables, and ornamentals? *Horticulture Research*. 2019; 8: 1.
31. Tian Z. Anatomical and Transcriptomic Comparison Between Small and Large Fruit Size During Fruit Development in Apple. The 9th International Horticulture Research Conference. 2022. Wuhan, China. doi:10.48130/IHRC2022-pst-0405
32. Vrebalov J., Ruezinsky D., Padmanabhan V., White R., Medrano D., Drake R. A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (rin) locus. *Science*. 2002; 296: 343–346.
33. Wada H., Nakata K., Nonami H., Erra-Balsells R., Tatsuki M., Hatakeyama Y., Tanaka F. Direct evidence for dynamics of cell heterogeneity in watercored apples: turgor-associated metabolic modifications and within-fruit water potential gradient unveiled by single-cell analyses. *Horticulture Research*. 2021; 8: 187.
34. Wang Sh., Li L. –X., Zhang Z., Fang Y., Li D., Chen X. –S., Feng Sh. –Q. Ethylene precisely regulates anthocyanin synthesis in apple via a module comprising MdeIL1, MdMYB1 and MdMYB17. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhac 34.
35. Wang Y., Hao Y., Zhou D., Pan L., Tu K. Differences in commercial quality and carotenoids profile of yellow-and white-fleshed nectarine fruit during low temperature storage and the regulation of carotenoids by sugar. *Postharvest Biology and Technology*. 2023; 197: 112206.
36. Xia H., Wang X., Su W., Jiang L., Lin L., Deng Q., Wang J., Deng H., Hu R., Liao M., Liang D. Changes in the carotenoids profile of two yellow-fleshed kiwifruit cultivars during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2020; 164: 111162.
37. Zhong H., Liu Z., Zhang F., Zhou X., Sun X., Li Y., Liu W., Xiao H. Wang N., Lu H. Metabolomic and transcriptomic analyses reveal the effects of self- and hetero-grafting on anthocyanin biosynthesis in grapevine. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhac103.

Панфилова Ольга Федоровна, канд. с.-х. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: panfilova.of@yandex.ru; тел.: (910) 412–04–13

Пильщикова Наталия Владимировна, канд. биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434; Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: panfilova.of@yandex.ru; sad200805@mail.ru; тел.: (915) 468–86–22

Olga F. Panfilova, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (910) 412–04–13; E-mail: panfilova.of@yandex.ru)

Natalia V. Pil'shchikova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (915) 468–86–22; E-mail: sad200805@mail.ru)

КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЗАМОРОЖЕННО-ОТТАЯННОГО СЕМЕНИ (ОБЫЧНОЕ И РАЗДЕЛЕННОЕ
ПО ПОЛУ) У БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ГОЛШТИНСКОЙ
ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ И ВОЗРАСТ ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ
ПОЛУЧЕННЫХ ОТ НИХ ТЕЛОЧЕК

А.И. АБИЛОВ, П.Л. КОЗМЕНКОВ, Б.С. ИОЛЧИЕВ, А.В. УСТИМЕНКО

(Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный
исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»)

Проведено исследование по оценке качества замороженно-оттаянного семени с применением метода разделения по полу и традиционным способом в сравнительном аспекте. Считаем, что работа вызовет определенный интерес у специалистов зоотехнического и биологического направления, а также у ветеринарных специалистов. Работа выполнена в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста и на базе ООО «Агрофирма Заря» Богородского района Нижегородской области в период с 2017 по 2022 гг. с использованием семени от 8 быков-производителей. Для оценки качества семени определяли индекс фрагментации ядерной ДНК (яДНК) в хроматине, активность сперматозоидов оценивали глазомерно и с использованием спермоанализатора Биола АФС-500 (ЗАО «Биола», г. Москва). На основе проведенных исследований установлено, что морфология сперматозоидов зависит от индивидуальных особенностей быков, содержание аномальных сперматозоидов, заготовленных традиционным методом, варьирует от 2 до 8%, а заготовленных методом сексирования – от 4,10 до 15%. Существенная разница между быками наблюдается по индексу фрагментации яДНК – этот показатель варьирует от 2,66 до 8,62% и 8,50 и 28,57% соответственно. Разделение сперматозоидов по полу прямо влияет на качественные показатели, и это приводит к снижению их активности. Данный показатель в семени, заготовленном традиционным методом, на 11,2% выше, чем показатель семени, заготовленном по альтернативной технологии. Число аномальных клеток в семени, разделенном по полу, на 2,2%, больше, чем в заготовленных традиционным методом, доля сперматозоидов с фрагментированной яДНК – больше на 7%. Скорость сперматозоидов в изученных нами дозах семени, заготовленных с использованием технологии разделения по полу сразу после оттаивания, составляла 96–113 мкм/сек., а через 5 ч после инкубации при +38°C в термостате этот показатель снижался до уровня 20–34 мкм/сек. Половое созревание по возрасту телят, полученных от сексированного семени, от рождения до плодотворного осеменения составляет 490 сут., что на 16 сут. больше, чем в I группе, где телочки были получены от семени, замороженного традиционным способом (ТС). Срок плодоношения у телок, рожденных от использования сексированного семени (СС), составил 273 сут., от использования традиционно замороженного семени (ТС) – 275 сут. (на 2 дня больше). Возраст телочек от рождения до первого отела в группе СС составил 762 дня и был на 14,4 сут. больше, чем в группе ТС, который составил 748 сут.

Ключевые слова: сперматозоиды, активность сперматозоидов, скорость движения, индекс фрагментации ДНК в хроматине, сексированное семя, возраст плодотворного осеменения, возраст первого отела, возраст полового созревания.

Введение

Одними из приоритетов интенсификации промышленного животноводства с эффективным ведением племенной работы в настоящее время являются наиболее рациональное применение и реализация генетических ресурсов с использованием классической биотехнологии (искусственное осеменение). Известно, что при искусственном осеменении эякулят разбавляется средой, и его разделяют на дозы. До яйцеклетки доходит небольшое количество сперматозоидов, и это требует всесторонней оценки генетического материала и его рационального использования [2, 17, 25]. Также известно, что на протяжении десятилетий ученые прилагали все усилия, чтобы разработать такие методы оценки качества семени, которые позволили бы более точно определить оплодотворяющую способность и вместе с тем сделать анализ объективным [13, 21, 23, 35].

Интенсификация отрасли животноводства предусматривает максимальное использование биологических возможностей высокоценных быков-производителей [1].

Изучение качественных показателей спермы и их взаимосвязь с оплодотворяющей способностью млекопитающих являются востребованными направлениями современности в искусственном осеменении животных.

Для определения качества семени предложены многочисленные методы анализов, например: оценка качества семени по целостности их мембран и митохондриальной активности [14, 38]; с ультразвуком [4]; по скорости оседания сперматозоидов [8]; по стимуляции дыхания сперматозоидов; по реакции восстановления реазурина (RRT) [26] и спектрофотометрической оценкой RRT [30] по скорости движения сперматозоидов [16, 31, 32]; по определению концентрации и подвижности сперматозоидов лазерным фотометрическим методом с обработкой визуальных изображений [19].

По данным Е.Е. Брагина и др., необходимо разработать новые, более современные методы, точно и объективно показывающие функциональную полноценность сперматозоидов, являющиеся весьма важными для повышения эффективности исследований с целью создания банков семени [7].

И.И. Соколовская, Р.Н. Ойвадис, А.И. Абилов (1981) предлагали акроскопический метод оценки качества семени, который позволяет оценивать интактно полноценные акросомы в сперматозоидах. Метод основан на использовании темнопольного конденсора ОИ-10 вместо фазово-контрастного с использованием 10%-ного медицинского желатина [20].

Большое количество работ посвящено изучению акросомы сперматозоидов и ее значению для успешного оплодотворения [18, 28].

В настоящее время оценка качества и количества семени в основном производится с использованием компьютерной технологии (Computer-assisted sperm analysis, CASA), которая дает обширную информацию о кинетических особенностях эякулята на основе измерения индивидуальных траекторий сперматозоидов [15].

Необходимость более точного и корректного определения качественных показателей активности и количественных показателей концентрации сперматозоидов в нативной, и особенно в замороженно-оттаянной сперме, обусловлена высокой технологичностью процесса криоконсервации, удорожанием генетического материала, применением спермы, разделенной по полу X или Y-хромосомой, и в связи с этим – переходом на однократное осеменение.

Е.Е. Брагина и Е.Н. Бочарова считают, что изучение морфофункционального состояния сперматозоидов раскрывает понимание морфологии самого сперматозоида и является показателем полноценности сперматозоидов в процессе не только оплодотворения, но и эмбриогенеза [6].

В последние десятилетия интенсивно проводятся научно-исследовательские работы по изучению фрагментации яДНК сперматозоидов в хроматине. Хроматин – структурная единица клеточного ядра, составляющая основу хромосом. Базовыми компонентами хроматина клетки служат 30–40% ДНК, 30–50% – гистоны, от 4 до 33% – негистоновые белки.

Исследования показывают, что около 50% возможностей дальнейшего развития эмбриона после оплодотворения зависят от состояния хроматина сперматозоида, который обеспечивает сохранение биологической полноценности сперматозоидов и содержащейся в нем яДНК и регулирует функциональную активность генома [3, 5].

Исследования также показывают, что фрагментация яДНК в сперматозоидах человека может стать причиной эмбриональной смертности [29]. Установлено, что имеется взаимосвязь между состоянием хроматина в мужских половых клетках и их оплодотворяющей способностью [33]. Отрицательная корреляция между степенью фрагментации яДНК хроматина и фертильностью имеется не только у человека, но и у животных.

По данным Б.С. Иолчиева и др., у быков-производителей доля сперматозоидов с нарушениями целостности ДНК в хроматине в среднем составляет $11,90 \pm 1,97\%$ и в зависимости от индивидуальной особенности варьирует от 0,96 до 80% [12].

В.А. Багиров и др. предлагают разработать новый тест, позволяющий оценить фертильность быков-производителей на уровне молекулярной структуры хроматина в сперматозоидах, в технологии искусственного осеменения крупного рогатого скота [3].

Кроме того, известно, что прогресс в животноводстве невозможен без грамотной и научно обоснованной организации по воспроизводству сельскохозяйственных животных [1]. В то же время эффективное ведение племенной работы на современном этапе невозможно без применения новых прогрессивных методов. Так, как в последнее десятилетие отмечается негативная тенденция по сокращению маточного поголовья во всех регионах РФ с увеличением продуктивности маточного поголовья, что и привело к снижению воспроизводительной функции коров и первотелок. В результате проявилась ощутимая нехватка ремонтного молодняка.

Кроме того, появились данные о том, что в последнее время рождаемость бычков от семени, замороженного традиционным способом, значительно увеличилась в процентном соотношении по сравнению с рождаемостью телочек [24]. В этом плане в последние десятилетия стало актуальным управление полом в потомстве у сельскохозяйственных животных. По мнению многих отечественных и зарубежных авторов, применение данного метода может позволить животноводам получать особей разного пола в зависимости от цели селекции, ускорять генетический прогресс, увеличивать поголовье телок для ремонта стада на молочных фермах [9, 10]. По мнению авторов, это может стать альтернативным направлением для решения проблемы сокращения маточного поголовья в общественном секторе [34, 37].

Дополнительные преимущества могут включать в себя отвлечение ресурсов от необходимости производить замену телок на более прибыльные предприятия, повышение способности управлять замкнутым и закрытым стадом, что повысит биобезопасность стада и улучшит его благосостояние за счет снижения частоты дистосии [22, 27]. В таком контексте с учетом того, что сексированное семя и методы его получения имеют ряд недостатков по технологическим аспектам, назрела необходимость изучить качественные показатели сексированного семени и его взаимосвязь с воспроизводством в целом.

Таким образом, вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости проведения комплексной оценки качества семени у самцов на основе современных и более точных методов исследования.

Актуальность данного исследования заключается в том, что в современном высокопродуктивном молочном животноводстве на промышленной основе часто наблюдается значительное снижение воспроизводительной способности коров. Это определяет остроту проблемы получения большого количества телочек и обеспечения стада высококачественным ремонтным молодняком. Применение сексированного семени может обеспечить хозяйство собственным маточным поголовьем и позволить, помимо этого, продажу высокоценных племенных телок и нетелей.

Кроме того, использование сексированного семени на должном уровне с помощью высококвалифицированных специалистов может способствовать формированию в хозяйствах защитных и закрытых стад маточного поголовья. В свою очередь, это повысит биобезопасность стада и улучшит его благосостояние за счет снижения микробной и бактериальной обсемененности, которая часто возникает при покупке телок и нетелей из разных регионов, стран, континентов для обеспечения ремонтным молодняком.

Цель исследований: оценка качества замороженно-оттаянного семени быков-производителей голштинской черно-пестрой породы, заготовленного разными способами, в сравнительном аспекте, с использованием современных методов оценки, и возраста полового созревания полученных от них телочек.

Материал и методы исследований

Работа выполнена в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста и на базе ООО «Агрофирма Заря» Богородского района Нижегородской области. Для исследований использованы образцы замороженного семени от 8 быков-производителей. Образцы исследованы трехкратно, от каждого быка по 3 дозы семени, заготовленных традиционным способом (ТС), и по 3 дозы, разделенных по полу (СС). Всего было изучено 39 образцов семени (15 доз, заготовленных традиционным способом, и 24 дозы, разделенных по полу семени).

Для прогнозирования фертильности сперматозоидов у быков-производителей изучали качественные характеристики по ГОСТу, а также определяли индекс фрагментации яДНК, скорость движения сперматозоидов сразу после оттаивания и через 5 ч после инкубации при +38°C в термостате. Состояние яДНК в хроматине изучали методом акридин-оранжевого теста (АО-тест) с использованием флуоресцентного микроскопа, оснащенного кубом флуоресцентных фильтров GFP-LEX 460–500 DM 505 BA 510, с окуляром 15х объективом 20х; 40х; 100х [36].

Сперматозоиды отмывали в фосфатно-солевом буфере (PBS) и готовили мазки на предварительно обезжиренных стеклах. Мазки высушивали в течение 10–15 мин при комнатной температуре. Окрашенные образцы исследовали с использованием люминесцентного микроскопа Люмам-ИЗ («Ломо», Россия).

Для регистрации изображений использовали цветную видеокамеру. Индекс фрагментации определяли как отношение числа сперматозоидов с поврежденной яДНК (клетки флуоресцируют в красной области спектра) к общему числу сперматозоидов.

Активность сперматозоидов изучали глазомерно и с помощью спермоанализатора Биола АФС-500 отечественного производства (ООО «Биола», г. Москва). Данный прибор также использовали для определения скорости движения сперматозоидов (мкм/сек.). Метод позволяет быстро и точно выявить все дискриминационные параметры, их патологию и живучесть сперматозоидов с помощью встроенной программы для ветеринарии. Анализатор позволяет автоматически произвести измерения общей концентрации сперматозоидов, подвижность, среднюю скорость сперматозоидов с последовательной подвижностью. Кроме того, прибор позволяет архивировать материалы по исследованию с сохранением даты и времени, с сопровождением работы под управлением компьютера [13].

На следующем этапе изучали телочек, полученных от традиционно замороженного семени и от семени, разделенного по полу, а точнее – возраст их полового созревания. После созревания этих телок осеменяли ректоцервикальным способом – семенем, заготовленным традиционным методом. Изучали срок плодношения, возраст первого отела и живую массу рожденных телят в зависимости от пола и в среднем по группе.

Полученные данные были статистически обработаны с использованием пакета прикладных компьютерных программ Microsoft Office (Microsoft Excel) с учетом средних (M) и стандартных ошибок (m), а также вариабельности амплитуды показателей (min-max).

Результаты и их обсуждение

Анализ качества заготовленного семени проводили в зависимости от индивидуальной особенности быков-производителя и с учетом способов заготовки спермопродукции.

Были использованы образцы от 8 быков-производителей. От каждого быка было исследовано по 3 дозы семени с трехкратным повторением, от каждого образца подсчитано по 300 сперматозоидов. Семя от 5 быков было параллельно изучено в зависимости от способов заготовки. Дополнительно исследовано семя еще от 3 быков, образцы которых были заготовлены только методом сексирования. Данные исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Индивидуальные качественные показатели замороженно-оттаянного семени, заготовленного разными способами (300 сперматозоидов в каждой дозе семени)

Кличка быка	Способ заготовки	Активность сперматозоидов по методу CASA, %	Морфофункциональная оценка сперматозоидов (анормальные клетки, %)	Индекс фрагментации (DFI), %
Sully Alta Mero	TC	48,28	6,0	5,35
	CC	30,00	-	14,4
Bonaz A. Roboto	TC	37,50	8,0	2,66
	CC	38,10	10,0	8,62
Кр. Аск. А. Legal	TC	45,00	7,0	8,50
	CC	28,57	15,0	3,03
Bush. Bros. A. Cood	TC	33,30	6,0	8,62
	CC	21,1	11,0	9,09
Peak A. TooHot	TC	48,94	2,0	1,28
	CC	28,57	12,0	16,00
A. Buggu	CC	34,14	6,56	6,32
A. Entrust ET	CC	27,30	5,13	11,86
A. Emirates ET	CC	43,70	4,10	28,57

Анализ данных таблицы показывает, что качественные показатели семени тесно связаны с индивидуальными особенностями быков-производителей. Подвижность сперматозоидов после замораживания-оттаивания варьирует от 33,3 до 48,94% в зависимости от быка-производителя. Содержание аномальных сперматозоидов в изученных дозах составило от 2 до 8% с индексом фрагментации я-ДНК в сперматозоидах от 1,3 до 8,6%. Все эти показатели были зафиксированы в семени, криоконсервированном традиционным способом.

Семя, заготовленное с применением сексирования, имело иную картину, то есть качественные показатели были несколько ниже, и это отклонение составило от 12,2 до 20,4% в зависимости от индивидуальности быка-производителя, варьируясь между 21,1 и 43,7%.

Процент аномальных сперматозоидов в изученном нами семени, замороженном после разделения по полу, варьировался между 4,1 и 15% в зависимости от индивидуальных особенностей быка. Это ниже от 2 до 10% по сравнению с показателями семени, заготовленного традиционным способом.

Индекс фрагментации яДНК в сперматозоидах в замороженно-оттаянном семени, заготовленном с применением сексирования, был намного больше, чем у семени, замороженного традиционным способом.

Вариабельность индекса фрагментации яДНК сперматозоидов в сексированном семени, в зависимости от индивидуальных способностей отдельных быков-производителей, варьировалась между 3,03 и 28,6%. Расхождения показателей по индексу фрагментации яДНК в дозах семени у быков-производителей, замороженного традиционным способом и разделенном по полу, были повышены на 6–15%: у быка Sulli A. Mercı эти расхождения составили более чем 9% (14,4 против 5,4% в ТС); у быка Peak A. TooHot – больше, чем на 14,7% (16 против 1,3% в ТС).

Таким образом, выявлено, что активность сперматозоидов в процессе разделения по полу снижается в среднем на 12–20%. В то же время увеличивается процент аномальных сперматозоидов (в изученных нами дозах семени) от 2 до 10%, а также увеличивается процент индекса фрагментации на 6–15%.

Среднестатистические показатели (M+m) семени в зависимости от их подготовки к замораживанию (ТС, n = 5; СС, n = 8) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели качества семени быков-производителей голштинской черно-пестрой породы в зависимости от их заготовки

Группы	Подготовка семени к замораживанию	Кол-во изученных быков-производителей, n	Подвижность по CASA, %	Из них аномальные сперматозоиды, %	Индекс фрагментации, %
I	СС	8	31,43±7,01	7,97±4,89	12,31±7,87
II	ТС	5	42,61±6,89	5,80±2,28	5,28±3,33
Разница	-	-	-11,18	+2,17	+7,03
В среднем	-	-	35,73±8,75	7,14±4,11	9,61±7,24

Из данных таблицы следует, что активность сперматозоидов после замораживания-оттаивания находится в среднем на уровне 36%. Образцы семени, заготовленного с помощью сексирования, имели подвижность меньше, чем на 11,2%,

и составили $31,43 \pm 7,01\%$ в отношении семени, заготовленного традиционным способом, у которого подвижность составила в среднем $42,6 \pm 6,9\%$.

Содержание аномальных сперматозоидов в среднем составило $7,14\%$. Семя, заготовленное с помощью сексирования, имело больше аномальных сперматозоидов, что составило около 8% . В то же время семя, заготовленное традиционным способом, имело в образцах на $2,2\%$ меньше аномальных сперматозоидов и составило $5,8\%$.

По индексу фрагментации яДНК в хроматине сперматозоиды, разделенные по полу, имели больший процент фрагментации, и он составил в среднем $12,3 \pm 7,9\%$, что на 7% больше, чем в образцах, заготовленных традиционным способом, у которых данный показатель в среднем составил $5,3 \pm 3,3\%$.

На следующем этапе исследований был проведен анализ качества семени 3 быков-производителей, замороженного после разделения сперматозоидов по полу. Качество семени было изучено с помощью глазомерной оценки под микроскопом и с использованием спермоанализатора отечественного производства (Биола АФС-500, ООО «Биола», г. Москва). Активность определяли сразу же после оттаивания и через 5 ч после инкубации при $+38^\circ\text{C}$ в термостате. Данные исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

Качественные показатели семени, замороженного с помощью сексирования, у быков-производителей голштинской черно-пестрой породы (трехкратные повторения)

Кличка быка	Показатели семени			
	Глазомерная оценка подвижности, %	Общее число сперматозоидов, млн/мл	Скорость движения оттаянных сперматозоидов с помощью Биолы АФС-500, мкм/сек.	
			сразу после оттаивания	через 5 ч после инкубации при $+38^\circ\text{C}$ в термостате
Бык А. Entrust	$35,0 \pm 3,42$	$5,92 \pm 0,45$	$106,0 \pm 12,51$	$31,9 \pm 3,64$
Бык А. Buggy ET	$28,8 \pm 3,15$	$6,51 \pm 0,87$	$95,6 \pm 36,40$	$34,1 \pm 2,50$
Бык А. Emirates	$41,67 \pm 3,07$	$8,37 \pm 1,1$	$113,13 \pm 34,14$	$19,83 \pm 2,03$

Из данных таблицы следует, что число сперматозоидов в 1 мл составляет 6–8 млн со скоростью их движения на уровне 96–113 мкм/сек. сразу после оттаивания.

Необходимо отметить, что все качественные признаки показали зависимость от индивидуальных особенностей быка-производителя. Однако у всех быков через 5 ч после оттаивания при инкубации с температурой $+38^\circ\text{C}$ в термостате скорость движения существенно снижалась. Это снижение составило от 64 до 82% в зависимости от быка-производителя.

На следующем этапе изучали некоторые показатели воспроизводительной способности телочек в зависимости от способа заготовки семени.

Телочек, полученных от сексированного и традиционного семени, после полового и физиологического созревания осеменяли семенем, замороженным традиционным способом, ректоцервикально. Учитывали возраст плодотворного осеменения (сут.) и возраст первого отела. Далее изучали живую массу телят, полученных от телок, которые родились от сексированного семени, и от телок, рожденных от семени, замороженного традиционным методом. Определяли число родившихся самок и самцов в процентах, а также живую массу в зависимости от пола (табл. 4).

Таблица 4

**Возраст полового созревания телок, рожденных от разделенной по полу
и обычной спермы (после замораживания и оттаивания)
в условиях Нижегородской области, и живая масса телят, полученных от них**

Показатели		Исследуемые параметры	Группы		Разница, ±
			СС	ТС	
Количество телок		n	14	46	—
Возраст плодотворного осеменения, сут.		M+m	489,54±21,48	473,33±8,84	+16,21
		Min-max	426–681	426–681	—
Срок плодоношения, сут.		M+m	273,1±2,15	274,7±0,77	-1,7
		Min-max	266–281	259–284	—
Возраст первого отела, сут.		M+m	762,4±21,45	748,0±8,84	+14,4
		Min-max	694–959	695–957	—
Количество полученных телят		n	14	46	
Живая масса телят при рождении в среднем, кг		M+m	35,23±1,75	34,19±0,77	+1,04
		Min-max	24–50	22–43	—
Из них:	самок	n –%	8–57,14	32–69,60	-12,46
	самцов	n –%	5–35,71	11–30,43	+5,28
	м/р	n –%	1–7,14	3–6,52	+0,49
Живая масса самцов при рождении		M+m	39,6±2,74	36,91±1,56	+2,7
		Min-max	34–50	27–43	—
Живая масса самок при рождении		M+m	32,5±1,74	33,25±0,81	-0,75
		Min-max	24–40	22–42	—

Из таблицы 4 следует, что телята, рожденные от сексированного семени, достигали возраста плодотворного осеменения на 16,21 сут. позже в отличие от телочек, которые родились от осеменений традиционным семенем (489,54 и 473,33 сут. соответственно). По вариабельности данного показателя разница не зафиксирована. Срок плодоношения был почти одинаковым, с 1,7 сут. разницы в сторону увеличения у телок, рожденных от традиционного семени (273 и 274,7 сут. соответственно).

Возраст первого отела в группе СС составил на 14,4 сут. больше в сравнении с группой ТС (762, 4 и 748,0 соответственно).

В среднем вес телят, рожденных от телок, полученных от СС и ТС, составил 35,2 и 34,2 кг соответственно. Из них самцов в группе СС – 35,7%, в группе ТС – 30,43%; самок – 57,14 и 69,6% соответственно, то есть телки, осемененные обычным семенем,

после полового созревания в группе СС родили на 12,5% меньше самок по сравнению с группой ТС с живой массой при рождении 32,5 и 33,25 кг соответственно. Живая масса самцов при рождении в этих группах имела следующие показатели: в группе СС – 39,6 кг; в группе ТС – 36,9 кг; в группе СС – на 2,7 кг больше, чем в группе ТС.

Выводы

Таким образом, установлено снижение некоторых качественных показателей – таких, как морфология сперматозоидов, увеличение индекса фрагментации яДНК в хроматине, снижение активности и скорости сперматозоидов в семени, заготовленном СС. Однако все эти показатели не имеют достоверной разницы. Поэтому необходимым является продолжение исследований в области разделения спермы по полу с целью усовершенствования данной технологии.

Считаем, что полученные данные можно учитывать при работе с СС и при прогнозировании дальнейшей селекционной программы.

На наш взгляд, полученные по рождаемости телят и их живой массе данные несут констатирующий характер и не могут быть интерпретированы для всеобъемлющего вывода, так как для этой цели необходимо провести более глубокие исследования, а также использовать большее количество животных.

Библиографический список

1. Абилов А.И., Племяшов К.В., Комбарова Н.А., Пыжова Е.А., Решетникова Н.М. Некоторые аспекты воспроизводства крупного рогатого скота. – СПб.: Проспект Науки, 2019. – 304 с.
2. Амерханов Х.А., Янчуков Н., Ермилов А., Харитонов С. Особенности селекции крупного рогатого скота молочного направления продуктивности в Российской Федерации // Молочное и мясное скотоводство: Спецвыпуск. – 2012. – С. 15–17.
3. Багиров В.А., Кононов В.П., Иолчиев Б.С., Кленовицкий П.М., Эрнст Л.К. Биологическая полноценность сперматозоидов и состояние хроматина: методы контроля // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 2. – С. 3–15.
4. Бондарев Г.Ф. Определение оплодотворяющей способности спермы быков-производителей с помощью ультразвука // Доклады советских ученых к VI Международному конгрессу по размножению и искусственному осеменению животных. – М., 1968. – С. 11–13.
5. Борунова С.М., Иолчиев Б.С., Абрамов П.Н., Бадмаев О.Э., Таджиева А.В., Рибченко А.С. Эффективный метод определения целостности акросомы сперматозоида у быков-производителей // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2017. – № 4. – С. 29–34.
6. Брагина Е.Е., Бочарова Е.Н. Количественное электронно-микроскопическое исследование сперматозоидов при диагностике мужского бесплодия // Андрология и генитальная хирургия. – 2014. – № 1. – С. 54–63.
7. Брагина Е.Е., Рудиева Е.А., Сорокина Т.М. Фрагментация ДНК в сперматозоидах и ее взаимосвязь с нарушением сперматогенеза // Андрология и генитальная хирургия. – 2014. – № 4. – С. 26–33.
8. Вагентлейтер А.В. Скорость оседания сперматозоидов как показатель оплодотворяющей способности спермы быков // Бюллетень ВНИИ разведения и генетики с.-х. животных. – 1978. – Вып. 33. – С. 15–17.
9. Головань В.Т., Юрин Д.А., Кучерявенко А.В., Авдалова А.Т. Сравнение роста и развития телят, полученных от сексированной и обычной спермы // Проблемы

и перспективы развития современной репродуктивной технологии, криобиологии и их роль в интенсификации животноводства: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Открытия № 103 и памяти Л.К. Эрнста. – Дубровицы: ВИЖ, 2017. – С. 299–305.

10. *Донченко А.С., Солощенко В.А., Клименок И.И.* Использование сексированного семени в молочном скотоводстве // Аграрная наука – сельскохозяйственное производство Сибири, Казахстана, Монголии, Белоруссии и Болгарии: Материалы XX Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: ООО «Печатное издательство Агро-Сибирь», 2017. – С. 149–150.

11. *Жаворонкова Н.В.* Модернизация метода оценки качества спермы и определение степени влияния продолжительности высокотемпературной атмосферной аномалии на спермопродукцию быков-производителей: Автореф. ... дис. канд. с.-х. наук. – Дубровицы, 2014. – 22 с.

12. *Иолчиев Б.С., Багиров В.А., Кленовицкий П.М., Кононов В.П., Таджиева А.В.* Индекс фрагментации ДНК хроматина в сперматозоидах при оценке качества семени у быков-производителей // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 4. – С. 31–35.

13. *Комбарова Н.А., Абилов А.И., Корнеенко-Жилиев Ю.А., Катерская Н.В., Таганкина А.А.* Компьютерный анализ спермы с использованием SFA-500 (импортозамещение) // Проблемы и перспективы развития современной репродуктивной технологии, криобиологии и их роль в интенсификации животноводства: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Открытия № 103 и памяти Л.К. Эрнста. – Дубровицы: ВИЖ, 2017. – С. 134–144.

14. *Кононов В.П., Мамбеталиев М.С.* Морфофункциональная целостность плазматических мембран сперматозоидов как показатель их биологической полноценности // Актуальные проблемы биологии воспроизводства животных: Материалы Международной научно-практической конференции. – Дубровицы-Быково: ВИЖ, 2007. – С. 151–157.

15. *Корнеенко-Жилиев Ю.А., Солер К.* Современный подход к анализу качества и расходу доз семени // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2011. – № 54. – С. 57–59.

16. *Малиновский А.М.* Прогнозирование оплодотворяющей способности спермы барана: Автореф. ... дис. канд. с.-х. наук. – Лесные Поляны, 1994. – 19 с.

17. *Милованов В.К.* Биология воспроизведения и искусственного осеменения с.-х. животных. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1962. – 696 с.

18. *Никиткина Е.В., Шапиев И.Ш., Олексиевич Е.А.* Использование методов фазовоконтрастной и флуоресцентной микроскопии при оценке качества спермы быков // Роль и значение метода искусственного осеменения сельскохозяйственных животных в прогрессе животноводства XX и XXI: Материалы Международной научно-практической конференции. – Дубровицы: ВИЖ, 2004. – С. 95–97.

19. *Пырикова С.И.* Разработка способа лазерной экспресс-диагностики и криоконсервации семенной жидкости: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Москва, 2002. – 16 с.

20. *Соколовская И.И., Ойвадис Р.Н., Абилов А.И., Туре У.В., Таг Т.А.* О значении акросомы в оценке семени самцов // Животноводство. – 1981. – № 9. – С. 46–47.

21. *Солер К., Валверде А., Бомпарт Д., Ферейдонфар С., Санчо М., Яниз Х.Л., Гарсия-Молина А., Корнеенко-Жилиев Ю.А.* Новые методы анализа спермы с использованием системы CASA // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 2. – С. 232–241.

22. *Спанов А.А., Бекенов Д.М.* Интенсификация воспроизводства КРС молочного направления продуктивности на основе применения сексированного семени // Проблемы и перспективы развития современной репродуктивной технологии,

криобиологии и их роль в интенсификации животноводства: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Открытия № 103 и памяти Л.К. Эрнста. – Дубровицы: ВИЖ, 2017. – С. 459–460.

23. Шапиев И.Ш., Мороз Л.Г., Прокопцев В.М. Методы оценки качества спермы животных и прогнозирование ее оплодотворяющей способности // Сельскохозяйственная биология. – 1994. – № 4. – С. 114–122.

24. Шендаков А.И. Влияние быков-производителей и типов их подбора на воспроизводительные качества черно-пестрого и симментальского скота // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2011. – № S4. – С. 159–161.

25. Эрнст Л.К., Субботин А.Д. Искусственное осеменение – главный фактор генетического прогресса и роста продуктивности животноводства. К 100-летию со дня рождения основоположника биологии воспроизведения и технологии искусственного осеменения академика ВАСХНИЛ В.К. Милованова // Материалы Международной научно-практической конференции. – Дубровицы: ВИЖ, 2004. – С. 10–29.

26. Dart M.G., Mesta J., Crenshaw C., Ericsson S.A. Modified resazurin reduction test for determining the fertility potential of bovine spermatozoa // Aich. Audrol. – 1994. – № 33. – P. 71.

27. De Vries A., Overton M., Fetrow J., Leslie K., Eicker S., Rogers G. Exploring the impact of sexed semen on the structure of the dairy industry // J. Dairy Sci. – 2008. – V. 91, № 2. – Pp. 847–856.

28. Druet T., Fritz S., Sellem S., Basso B., Gerard O., Salas-Cortes L., Humblot P., Druart X., Eggen A. Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls // J. Animal Breed. Genet. – 2009 – V. 126, № 4. – Pp. 269–277.

29. Evenson D.P., Jost L.K., Corzett M., Balhorn R. Characteristics of human sperm chromatin structure following an episode of influenza and high fever: a case study // J. Androl. – 2000. – V. 21. – Pp. 739–746.

30. Foote R.H. Resazurin reduction and other tests of semen quality and fertility of bulls // Asian J. Androl. – 1999. – № 1. – P. 109.

31. Gillan L., Kroetsch T., Makwell W.M., Evans G. Assessment of vitro sperm characteristics in relation to fertility in dairy bulls // Animal Reproduction Science. – 2008. – V. 103, № 3–4. – Pp. 201–214.

32. Kathiravan P., Kalatharan J., Karthikeya G., Rengarajan K., Kadirvel G. Objective sperm motion analysis to assess dairy bull fertility using computer-aided system: a review // Reprod. Domestic Animals. – 2011. – V. 46, № 1. – Pp. 165–172.

33. Liu Y., Baker H.W.G. Sperm nuclear chromatin normality: relationship with sperm morphology, sperm-zona pellucida binding, and fertilization rates in vitro // Fertil. Steris. – 1992. – V. 58, № 6. – Pp. 1178–1184.

34. Noonan E.J., Kelly J.C., Beggs D.S. Factors associated with fertility of nulliparous dairy heifers following a 10-day fixed time artificial insemination program with sex-sorted and conventional semen // Aust. Vet. J. – 2016. – V. 94, № 5. – Pp. 145–148.

35. Singh A., Teotia U.V.S., Singh S. Semen evaluation in farm animals // DHR International Journal of Biochemical and Life Sciences (DNR-IYBLS). – 2012. – Vol. 2, № 1. – Pp. 35–42.

36. Tejada R.J., Mitchell J.C., Norman A. Marik J.J., Friedma S. A test for the practical evaluation of male fertility by acridine orange (AO) fluorescence // Fertil. Steril. – 1984. – Vol. 42, № 1. – Pp. 87–91.

37. Walsh D.P., Fahey A.G., Mulligan F.J., Wallace M. Effects of herd fertility on the economics of sexed semen in a high-producing pasture based dairy production system // Journal of Dairy Science. – 2021. – V. 104, № 3. – Pp. 3181–3196.

38. Zuge R.M., Bertolla R.P., Nichi T.B.S., Cortada C.N.M., Bols P.E.J., Barnabe V.H. Correlation between bovine sperm membrane integrity and mitochondrial activity in *Bos taurus* bulls // Proc. 16-th International Congress on Animal Reproduction. – Budapest: Hungary, 2008. – P. 172.

QUALITATIVE CHARACTERISTICS
OF FROZEN-THAWED SEMEN (NORMAL AND SEXED) FROM SIRE
OF THE HOLSTEIN BLACK-AND-WHITE BREED AND THE AGE
OF PUBERTY OF THE HEIFERS BORN FROM THEM

A.I. ABILOV, P.L. KOZMENKOV, B.S. IOLCHIEV, A.V. USTIMENKO

(Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst)

A study was carried out to assess the quality of frozen-thawed semen using the sex separation method and the traditional method in a comparative aspect, and the authors believe that the work will be of some interest to specialists in zootechnical and biological fields, as well as to veterinary specialists. The work was carried out at the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst and on the basis of LLC "Agrofirma Zarya", Bogorodsky district, Nizhny Novgorod region in the period from 2017 to 2022. using the semen of eight sires. To assess the quality of the semen, the index of nuclear DNA fragmentation (nDNA) in chromatin was determined, and the activity of spermatozoa was assessed visually and using the Biola AFS-500 sperm analyser (ZAO Biola, Moscow). On the basis of the studies conducted, it was found that the morphology of the spermatozoa depends on the individual characteristics of the sires; the content of abnormal spermatozoa varies from 2 to 8% when collected by the traditional method and from 4.10 to 15% when collected by the sexing method. A significant difference between the sires is observed in the iDNA fragmentation index – this indicator varies from 2.66 to 8.62% and from 8.50 to 28.57%, respectively. The division of spermatozoa by sex has a direct effect on the quality indicators, leading to a decrease in their activity. This indicator is 11.2% higher in semen obtained by the traditional method than by the alternative technique. The number of abnormal cells in the semen divided by sex is 2.2% higher than in the semen collected by the traditional method, and the proportion of spermatozoa with fragmented iDNA is 7% higher. The velocity of spermatozoa in the studied doses of semen collected using the technique of sex separation was 96–113 $\mu\text{m/s}$ immediately after thawing, and five hours after incubation at +38°C in a thermostat this indicator decreased to the level of 20–34 $\mu\text{m/s}$. The age of puberty of their calves obtained from the sexed semen from birth to fruitful insemination is 490 days, which is 16 days more than in group I, where heifers were obtained from the semen frozen in the traditional way (TS). The term of fruiting in heifers born from the use of the sexed semen (SS) was 273 days, while that of heifers born from the use of traditionally frozen semen (TS) was 275 days (2 days more). The age of heifers from birth to first calving in the SS group was 762 days and was 14.4 days more than in the TS group, which was 748 days.

Key words: spermatozoa, spermatozoa activity, spermatozoa velocity, DNA fragmentation index in chromatin, sexed semen, age of fruitful insemination, age of first calving, age of puberty.

References

1. Abilov A.I., Plemyashov K.V., Kombarova N.A., Pyzhova E.A., Reshetnikova N.M. Some aspects of cattle reproduction. St. Petersburg: Prospect Nauki, 2019: 304. (In Rus.)
2. Amerkhanov H.A. Yanchukov N., Ermilov A., Kharitonov S. Features of cattle breeding of dairy productivity in the Russian Federation. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2012; special issue: 15–17. (In Rus.)

3. *Bagirov V.A., Kononov V.P., Iolchiev B.S., Klenovitskiy P.M., Ernst L.K.* Biological usefulness of spermatozoa and the state of chromatin: control methods. *Agricultural Biology*. 2012; 2: 3–15. (In Rus.)
4. *Bondarev G.F.* Determination of the fertilizing ability of the sperm of breeding bulls using ultrasound. *Doklady sovetskikh uchenykh k VI mezhdunarodnomu kongressu po razmnozheniyu i iskusstvennomu osemeneniyu zhivotnykh*. Moscow, 1968: 11–13. (In Rus.)
5. *Borunova C.M., Iolchiev B.S., Abramov P.N., Badmaev O.E., Tadzhiyeva A.V., Ribchenko A.S.* An effective method for determining the integrity of the sperm acrosome in breeding bulls. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2017; 4: 29–34. (In Rus.)
6. *Bragina E.E., Bocharova E.N.* Quantitative electron microscopic examination of spermatozoa in the diagnosis of male infertility. *Andrology and Genital Surgery*. 2014; 1: 54–63. (In Rus.)
7. *Bragina E.E., Rudieva E.A., Sorokina T.M.* DNA fragmentation in spermatozoa and its relationship with the violation of spermatogenesis. *Andrology and Genital Surgery*. 2014; 4: 26–33. (In Rus.)
8. *Vagentleiter A.B.* The rate of settling of spermatozoa as an indicator of the fertilizing ability of sperm of bulls. *Byulleten' VNII razvedeniya i genetiki s.-kh. zhivotnykh*. 1978; 33: 15–17. (In Rus.)
9. *Golovan' V.T., Yurin D.A., Kucheryavenko A.V., Avdalova A.T.* Comparison of growth and development of calves obtained from sexed and ordinary sperm. *Problemy i perspektivy razvitiya sovremennoy reproduktivnoy tekhnologii, kriobiologii i ikh rol' v intensivatsii zhivotnovodstva: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashch. 70-Letiyu otkrytiya No.103 i pamyati L.K. Ernsta*. Dubrovitsy: VIZh, 2017: 299–305. (In Rus.)
10. *Donchenko A.S., Soloshchenko V.A., Klimenok I.I.* The use of sexed seed in dairy cattle breeding. *Agrarnaya nauka – sel'skokhozyaystvennoe proizvodstvo Sibiri, Kazakhstana, Mongolii, Belorussii i Bolgarii: Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Novosibirsk: OOO "Pechatnoe izdatel'stvo Agro-Sibir", 2017: 149–150. (In Rus.)
11. *Zhavoronkova N.V.* Modernization of the method of assessing the quality of sperm determination of the degree of influence of the duration of high-temperature atmospheric anomaly on the sperm production of bulls-producers: CSc (Ag) thesis: 03.03.01. Dubrovitsy, Moscow region, 2014: 22. (In Rus.)
12. *Iolchiev B.S., Bagirov V.A., Klenovitskiy P.M., Kononov V.P., Tajieva A.V.* Index of chromatin DNA fragmentation in spermatozoa when assessing seed quality in breeding bulls. *Agricultural Biology*. 2012; 4: 31–35. (In Rus.)
13. *Kombarova N.A., Abilov A.I., Korneenko-Zhilyaev Yu.A., Katerskaya N.V., Tangankina A.A.* Computer analysis of sperm using SFA-500 (import substitution). *Problemy i perspektivy razvitiya sovremennoy reproduktivnoy tekhnologii, kriobiologii i ikh rol' v intensivatsii zhivotnovodstva: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashch. 70-Letiyu otkrytiya No.103 i pamyati L.K. Ernsta*. Dubrovitsy: VIZh, 2017: 134–144. (In Rus.)
14. *Kononov V.P., Mambetaliev M.S.* Morphofunctional integrity of plasma membranes of spermatozoa as an indicator of their biological usefulness. *Aktual'nye problemy biologii vosproizvodstva zhivotnykh: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Dubrovitsy-Bykovo: VIZ, 2007: 151–157. (In Rus.)
15. *Korneenko-Zhilyaev Yu.A., Soler K.* A modern approach to the analysis of the quality and consumption of seed doses. *Problems of Productive Animal Biology*. 2011; S4: 57–59. (In Rus.)
16. *Malinovsky A.M.* Prediction of the fertilizing ability of sheep sperm. CSc (Ag) thesis: 06.02.01. Lesnye Polyany, 1994: 19. (In Rus.)

17. *Milovanov V.K.* Biology of reproduction and artificial insemination of agricultural animals. M.: Izd-vo s.-kh. literatury, zhurnalov i plakatov, 1962: 696. (In Rus.)
18. *Nikitkina E.V., Shapiev I.Sh., Oleksievich E.A.* The use of phase contrast and fluorescence microscopy methods in assessing the quality of sperm of bulls. Rol' i znachenie metoda iskusstvennogo osemneniya s.-kh. zhivotnykh v progresse zhivotnovodstva XX i XXI: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Dubrovitsy: VIZh, 2004: 95–97. (In Rus.)
19. *Pyrikova S.I.* Development of a method for laser express diagnostics and cryopreservation of seminal fluid. CSc (Eng) thesis: 05.11.17. Moscow, 2002: 16. (In Rus.)
20. *Sokolovskaya I.I., Oyvadis R.N., Abilov A.I., Ture U.V., Tag T.A.* On the importance of the acrosome in the evaluation of the male seed. Zhivotnovodstvo. 1981; 9: 46–47. (In Rus.)
21. *Soler K., Valverde A., Bompard D., Fereidonfar S., Sancho M., Yaniz H.L., Garcia-Molina A., Korneenko-Zhilyaev Yu.A.* New methods of sperm analysis using the CASA system. Agricultural Biology. 2017; 52; 2: 232–241. (In Rus.)
22. *Spanov A.A., Bekenov D.M.* Intensification of reproduction of dairy cattle of productivity based on the use of sexed seed. Problemy i perspektivy razvitiya sovremennoy reproduktivnoy tekhnologii, kriobiologii i ikh rol' v intensivatsii zhivotnovodstva: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashch. 70-Letiyu otkrytiya No.103 i pamyati L.K. Ernsta. Dubrovitsy: VIZh, 2017: 459–460. (In Rus.)
23. *Shapiev I.Sh., Moroz L.G., Prokoptsev V.M.* Methods of assessing the quality of animal sperm and predicting its fertilizing ability. Agricultural Biology. 1994; 4: 114–122. (In Rus.)
24. *Shendakov A.I.* The influence of bulls-producers and types of their selection on the reproductive qualities of black-and-white and simmental cattle. Problems of Productive Animal Biology. 2011; S4: 159–161. (In Rus.)
25. *Ernst L.K., Subbotin A.D.* Artificial insemination is the main factor of genetic progress and growth of livestock productivity. K 100-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika biologii vosproizvedeniya i tekhnologii iskusstvennogo osemneniya akademika VASKhNIL B.K. Milovanova. Materialy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii. Dubrovitsy: VIZh, 2004: 10–29. (In Rus.)
26. *Dart M.G., Mesta J., Crenshaw C., Ericsson S.A.* Modified resazurin reduction test for determining the fertility potential of bovine spermatozoa. Aich. Audrol. 1994; 33: 71.
27. *De Vries A., Overton M., Fetrow J., Leslie K., Eicker S., Rogers G.* Exploring the impact of sexed semen on the structure of the dairy industry. J. Dairy Sci. 2008; 91; 2: 847–856.
28. *Druet T., Fritz S., Sellem S., Basso B., Gerard O., Salas-Cortes L., Humblot P., Druart X., Eggen A.* Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls. J. Animal Breed. Genet. 2009; 126; 4: 269–277.
29. *Evenson D.P., Jost L.K., Corzett M., Balhorn R.* Characteristics of human sperm chromatin structure following an episode of influenza and high fever: a case study. J. Androl. 2000; 21: 739–746.
30. *Foote R.H.* Resazurin reduction and other tests of semen quality and fertility of bulls. Asian J. Androl. 1999; 1: 109.
31. *Gillan L., Kroetsch T., Makwell W.M., Evans G.* Assessment of vitro sperm characteristics in relation to fertility in dairy bulls. Animal Reproduction Science. 2008; 103; 3–4: 201–214.
32. *Kathiravan P., Kalatharan J., Karthikeya G., Rengarajan K., Kadirvel G.* Objective sperm motion analysis to assess dairy bull fertility using computer-aided system: a review. Reprod. Domestic Animals. 2011; 46; 1: 165–172.
33. *Liu Y., Baker H.W.G.* Sperm nuclear chromatin normality: relationship with sperm morphology, sperm-zona pellucida binding, and fertilization rates in vitro. Fertil. Steris. 1992; 58; 6: 1178–1184.

34. Noonan E.J., Kelly J.C., Beggs D.S. Factors associated with fertility of nulliparous dairy heifers following a 10-day fixed time artificial insemination program with sex-sorted and conventional semen. *Aust. Vet. J.* 2016; 94; 5: 145–148.

35. Singh A., Teotia U.V.S., Singh S. Semen evaluation in farm animals. *DHR International Journal of Biochemical and Life Sciences (DNR – IYBLS)*. 2012; 2; 1: 35–42.

36. Tejada R.J., Mitchell J.C., Norman A. Marik J.J., Friedma S. A test for the practical evaluation of male fertility by acridine orange (AO) fluorescence. *Fertil.Steril.* 1984; 42; 1: 87–91.

37. Walsh D.P., Fahey A.G., Mulligan F.J., Wallace M. Effects of herd fertility on the economics of sexed semen in a high-producing pasture based dairy production system. *Journal of Dairy Science.* 2021; 104; 3: 3181–3196.

38. Zuge R.M., Bertolla R.P., Nichi T.B.S., Cortada C.N.M., Bols P.E.J., Barnabe V.H. Correlation between bovine sperm membrane integrity and mitochondrial activity in *Bos taurus* bulls. In: *Proc. 16-th International Congress on Animal Reproduction*. Budapest: Hungary, 2008: 172.

Абилов Ахмедага Имаш оглы, д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории клеточной инженерии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60; e-mail: ahmed.abilov@mail.ru; тел.: (916) 146–41–10

Козменков Петр Львович, соискатель, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60

Иолчиев Байлар Садрадин оглы, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной инженерии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60; e-mail: baylar1@yandex.ru

Устименко Анна Владимировна, аспирант, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, д. 60

Ahmed I. Abilov, DSc (Bio), Professor, Chief Research Associate, Cell Engineering Laboratory, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60, Dubrovitsy settlement, Moscow region 142132, Russian Federation; phone: (916) 146–41–10; E-mail: ahmed.abilov@mail.ru; ORCID: 0000–0001–6236–8634)

Petr L. Kozmenkov, applicant, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60, Dubrovitsy settlement, Moscow region 142132, Russian Federation; phone: (916) 146–41–10; E-mail: ahmed.abilov@mail.ru; ORCID: 0000–0001–6236–8634)

Baylar S. Iolchiev, DSc (Bio), Leading Research Associate, Cell Engineering Laboratory, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60, Dubrovitsy settlement, Moscow region 142132, Russian Federation; E-mail: baylar1@yandex.ru; ORCID: 0000–0001–5386–7263)

Anna V. Ustimenko, post-graduate student, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60, Dubrovitsy settlement, Moscow region 142132, Russian Federation)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕТОК КРОВИ РЫБ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ЛЕЙКОГРАММЫ

Г.И. ПРОНИНА, Д.В. БЫКОВ, А.В. УКОЛОВА, А.Е. УЛЬЯНКИН,
А.Н. КАРАСЕВ, М.А. ТУТРИКОВА, М.А. АКИМУШКИНА, К.А. КАНАЕВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

В аквакультуре требуется физиологическая оценка для контроля состояния здоровья рыб. Кровь является наиболее быстро реагирующей на изменения внешних факторов системой в организме гидробионтов. Изучение гематологических показателей рыб позволяет проводить раннюю диагностику заболеваний, отрабатывать технологический режим разведения и выращивания, селекцию. Типизация клеток циркулирующих жидкостей является важной для составления гемоцитарной и лейкоцитарной формул, характеризующих клеточное звено иммунного ответа организма.

В представленных исследованиях разрабатываются модели сверточной нейронной сети для классификации клеток крови карповых и осетровых рыб. Точность моделей оценивается на основе метрик Accuracy и Precision, Recall, F_1 при макроусреднении.

На основе обработки снимков крови подготовлено 1104 изображения клеток крови карповых и осетровых рыб, включающие в себя 15 популяций клеток: гемогистобласты, миелобласты, промиелоциты, миелоциты, метамиелоциты, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты, лимфоциты, эритробласты, нормобласты, зрелые эритроциты, тромбоциты.

Разработаны модели сверточной нейронной сети для распознавания популяций клеточных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов) карповых и осетровых рыб. Обучение моделей происходило на 80% подготовленных изображений. При этом удалось избежать проблемы переобучения, о чем свидетельствуют построенные графики изменения значений функции потерь (разреженной категориальной перекрестной энтропии – sparse categorical crossentropy) и точности (accuracy) в процессе обучения.

Построенные модели позволяют распознавать клетки крови карповых рыб с точностью 75,0% (метрика F_1 при макроусреднении равна 0,570) и клетки крови осетровых рыб с точностью 76,6% (F_1 при макроусреднении составляет 0,664).

Ключевые слова: клетки крови рыб, машинное обучение, сверточная нейронная сеть (CNN), классификация, обработка изображений.

Введение

В условиях искусственного разведения рыб важно проводить мониторинг их физиологического состояния и иммунного статуса. Это необходимо для профилактики и ранней диагностики заболеваний, а также для разработки и совершенствования технологий разведения и выращивания, так как среда обитания аквакультуры значительно отличается от естественной.

Кровь – циркулирующая жидкость организма, отражающая гомеостаз. Определен ряд иммунных и метаболических переменных крови животных для оценки и прогнозирования темпов роста [13].

Определение гематологических параметров является биоиндикаторным методом при загрязнении водоемов [2, 8]. Исследования на карпах показали, что оценка селекционного процесса по показателям крови является крайне необходимой [4].

Исследование лейкоцитарной формулы имеет большое значение в диагностике гематологических, инфекционных, воспалительных заболеваний, а также для оценки их тяжести [1]. Определение клеточного состава крови является одним из компонентов характеристики иммунного статуса особи [3].

Составление эритрограммы и лейкоцитарной формулы – довольно трудоемкий процесс, поэтому распознавание клеточных популяций лейкоцитов крови рыб с использованием технологий нейронных сетей является актуальной задачей.

Идентификация клеток крови относится к задаче мультiclassовой классификации с несбалансированными классами. Подобную задачу в различных областях решают многие исследователи [10, 20, 15, 16].

Поскольку необходимо классифицировать клетки в виде изображений, то одновременно решается вторая задача, связанная с распознаванием образов.

Обе обозначенные задачи с высокой эффективностью способны решать искусственные нейронные сети. Одним из наиболее эффективных и широко применяемых инструментов классификации изображений является сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN) [12].

Цель исследований: создание модели сверточной нейронной сети, способной распознавать популяции лейкоцитов для их дальнейшего дифференциального подсчета.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- подготовить изображения популяций клеток крови карповых и осетровых рыб;
- разработать и обучить модели сверточной нейронной сети;
- оценить точность распознавания популяций клеток крови карповых и осетровых рыб на основе разработанных моделей.

Объектом исследований являлись популяции клеток крови карповых и осетровых рыб, предметом – модели нейронных сетей для распознавания изображений клеток крови карповых и осетровых рыб.

В работе использованы методы нейросетевого моделирования, оценки качества обученной модели, табличный, графический методы и др.

Информационной базой исследований послужили 309 снимков окрашенных мазков крови карпа и 335 аналогичных снимков крови осетровых рыб, полученные на цифровом микроскопе Биолаб 11 Люм.

Материал и методы исследований

Снимки окрашенных мазков крови карповых и осетровых рыб были получены на цифровом микроскопе Биолаб 11 Люм. Кровь у рыб отбиралась прижизненно из хвостовой вены (рис. 1).

Состав лейкоцитов и долю незрелых форм клеток определяли в окрашенных по Паппенгейму мазках периферической крови [9] на цифровом микроскопе Биолаб Люм 11 (Россия), увеличение 100 – методом дифференциального подсчета.

При определении лейкоцитарной формулы крови рыб происходит подсчет каждой из 15 популяций лейкоцитов крови. Однако в связи с отсутствием изображений гемогистобласта на имеющихся снимках осетровых рыб число возможных классов при классификации их клеток крови составляет 14.

Список исследуемых типов лейкоцитов крови рыб представлен в таблице 1.

Таким образом, в исследованиях решалась задача мультiclassовой классификации с числом классов 15 (модель 1 для распознавания клеток крови карпа) и 14 (модель 2 для распознавания клеток крови осетра).

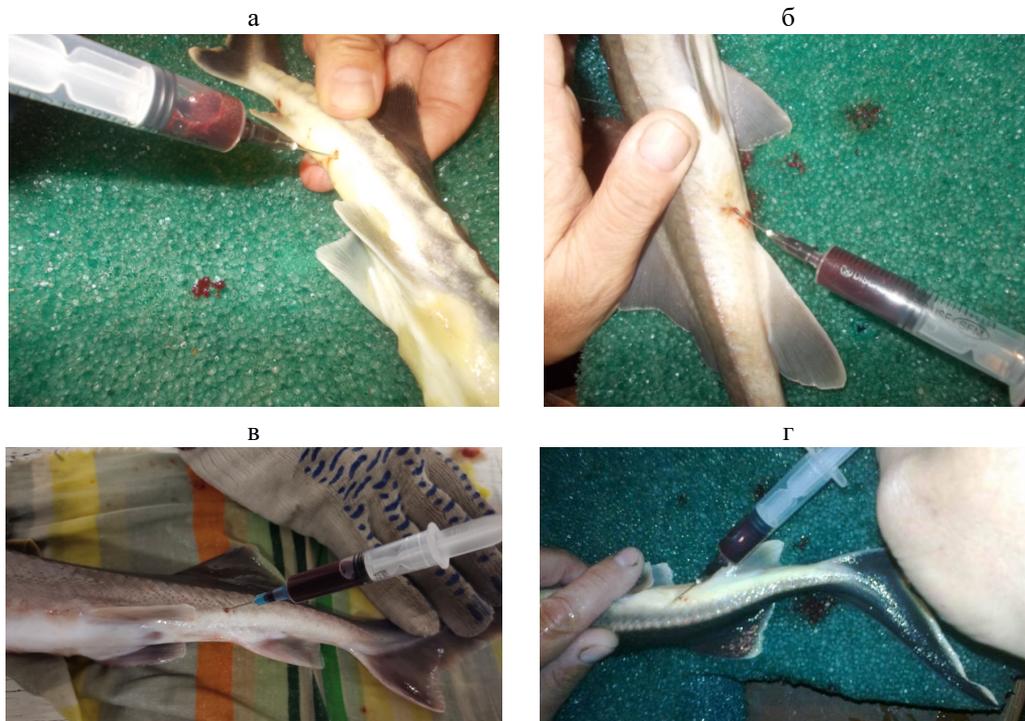


Рис. 1. Отбор крови у рыб:
а – русский осетр; б – белуга; в – сибирский (Ленский) осетр; г – стерлядь

Таблица 1

Популяции форменных элементов крови рыб и соответствующие им метки классов

Метка	Популяция	Метка	Популяция	Метка	Популяция
1	гемогистобласты	6	палочкоядерные нейтрофилы	11.	лимфоциты
2	миелобласты	7	сегментоядерные нейтрофилы	12	эритробласты
3	промиелоциты	8	эозинофилы	13	нормобласты
4	миелоциты	9	базофилы	14	зрелые эритроциты
5	метамиелоциты	10	моноциты	15	тромбоциты

Для возможности обучения нейронной сети распознавать популяции лейкоцитов крови карповых и осетровых рыб необходимо подготовить изображения каждой популяции и расположить их в соответствующие директории, причем число директорий должно соответствовать числу популяций.

На основе имеющихся снимков клеток крови карповых и осетровых рыб, каждый из которых содержит множество разных типов клеток, были сформированы изображения отдельных клеток, которые относятся к определенной популяции. Всего было подготовлено 464 таких изображения для карповых и 640 – для осетровых рыб. После этого они были распределены по 15 и 14 директориям соответственно, в зависимости от типа клетки на изображении.

Распределение подготовленных изображений клеток крови является неравномерным (рис. 2–4), что говорит о необходимости использования, помимо метрики *Accuracy*, более комплексных метрик мультиклассовой классификации, в том числе *Precision*, *Recall*, F_1 , которые позволяют учесть влияние малочисленных классов на итоговую точность распознавания клеток.

Меньше всего изображений в наборах данных (после гемогистобластов) оказалось метамиелоцитов: 10 ед. по карповым и 3 ед. по осетровым. По карповым в целом распределение клеток по популяциям более равномерное, чем по осетровым. Больше всего имеется изображений зрелого эритроцита (45 или 9,7%), эритробласта (63 или 13,6%), сегментоядерного нейтрофила (67 или 14,4%). По осетровым явно выделяются 3 наиболее многочисленных класса: изображений лимфоцитов насчитывается 88 (13,8%), тромбоцитов – 110 (17,2%), зрелых эритроцитов – 192 (30,0%).

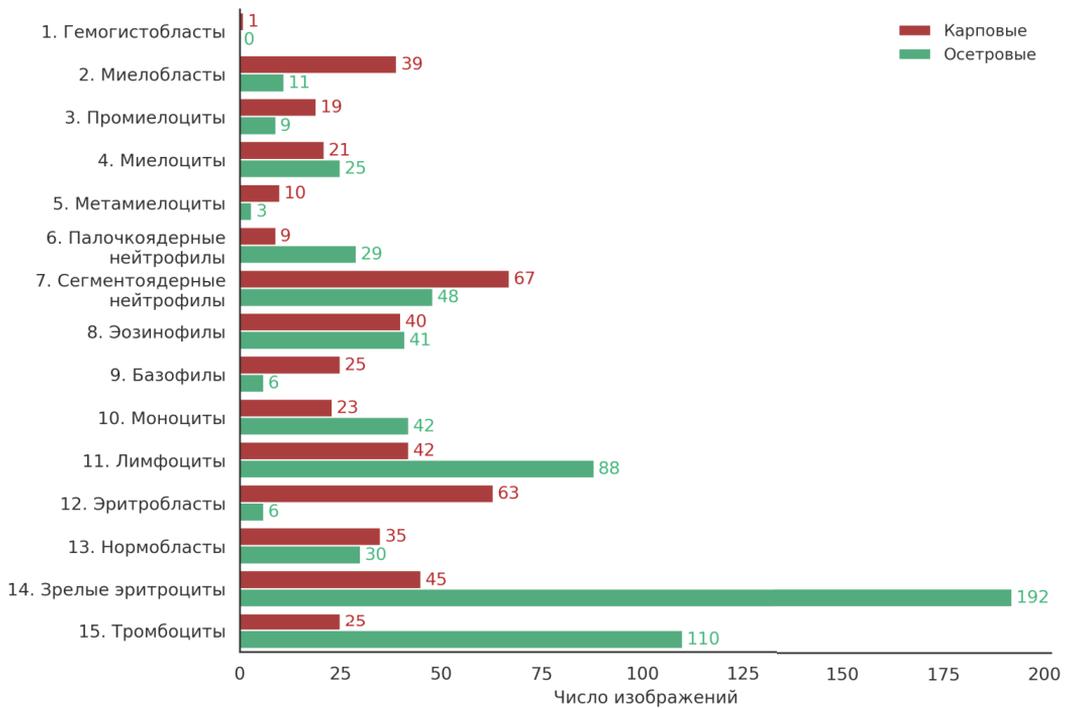


Рис. 2. Распределение изображений клеток крови карповых и осетровых рыб по популяциям

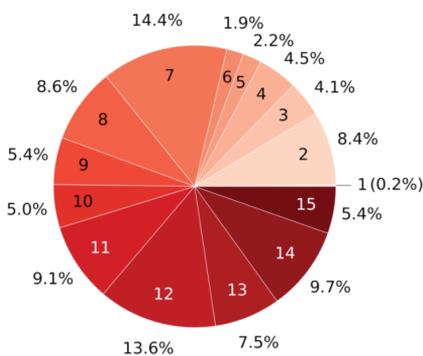


Рис. 3. Структура изображений клеток крови карповых рыб по 15 популяциям (1–15)

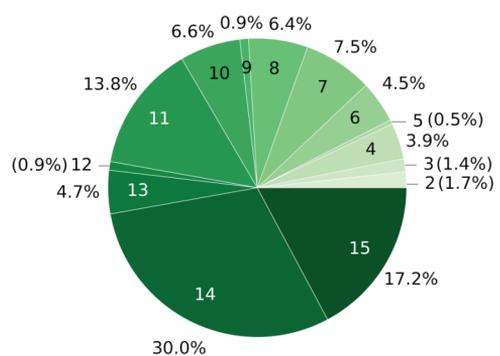


Рис. 4. Структура изображений клеток крови осетровых рыб по 14 популяциям (2–15)

В лейкоцитарной формуле рыб распределение популяций клеток другое. Кровь рыб, как правило, – лимфоцитарного типа. Доля лимфоцитов в лейкограмме рыб, в том числе осетровых рыб (сибирского осетра, терляди и др.), – более 65%, карпа – более 70% [8]. Лимфоциты являются иммунокомпетентными клетками специфического иммунитета.

Зрелые формы микрофагов – сегментоядерные нейтрофилы – обычно составляют около 1–20% лейкоцитов, что соответствует их удельному весу в полученных наборах изображений. Эти клетки играют ключевую роль во врожденной неспецифической клеточной защите.

В отличие от млекопитающих у рыб отсутствует красный костный мозг, и роль гемопоэза выполняют другие органы и ткани. В результате в норме в крови содержится определенное количество бластных форм: эритробласты, нормобласты, миелобласты, промиелоциты, миелоциты, метамиелоциты [3].

Некоторые случайно выбранные изображения, импортированные в среду разработки Python с подписанным номером соответствующей популяции клеток крови (фактической меткой класса), представлены на рисунке 5.

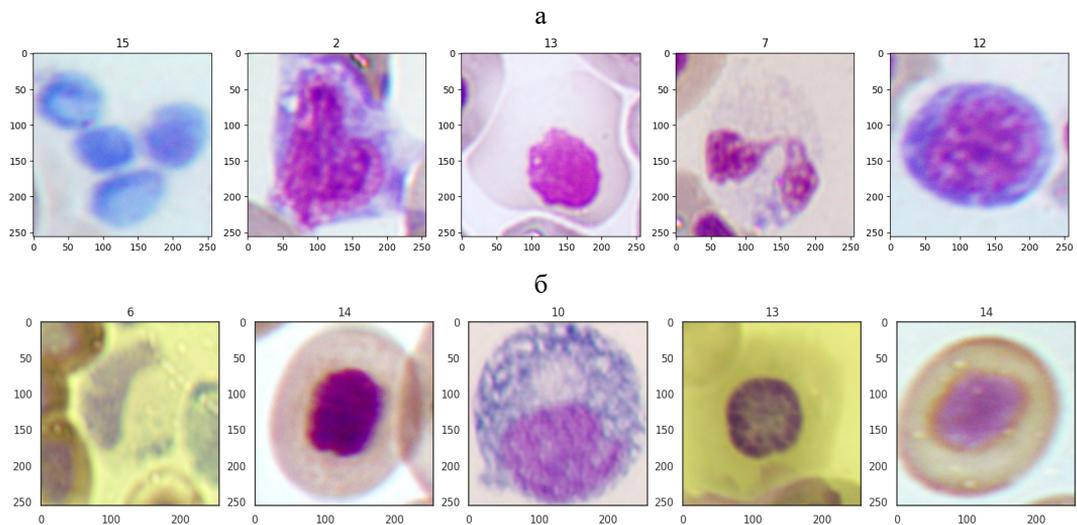


Рис. 5. Изображения клеток крови рыб и соответствующие им фактические метки классов: а – карповые рыбы; б – осетровые рыбы

Для разработки модели нейронной сети использовались язык программирования Python и специализированная библиотека TensorFlow.

Разработанная модель нейронной сети является сверточной. Сверточная нейронная сеть имеет как минимум один сверточный слой, на котором реализуется операция свертки, представляющая собой кодирование исходного изображения таким образом, чтобы выявить основные черты, особенности этого изображения, формируя в результате карты признаков. Число карт признаков зависит от числа каналов на выходе сверточного слоя, каждому из которых соответствует свой фильтр.

Операция свертки предполагает использование матрицы весов, называемой ядром свертки, для преобразования входного сигнала (входного пикселя) в выходной сигнал. При этом для получения выходного сигнала рассматривается лишь фрагмент изображения – пиксель и соседние пиксели. В результате преобразования каждого пикселя формируется карта признаков [5].

Для решения проблемы лишнего сжатия и потери информации о некоторых особенностях изображения используют операцию, предполагающую добавление

нулей по краям изображения, то есть 4 линии пикселей (*padding*). Например, если изображение имеет размер 10×10 пикселей, в результате операции *padding* его размер составляет 12×12 .

Построенные модели нейронной сети состоят из 5 слоев и отличаются лишь числом нейронов на последнем выходном слое:

- *Conv2D* – двумерный сверточный слой с размерностью выходного пространства (число выходных фильтров в свертке), равной 16; размерностью окна свертки (ядра свертки) 3×3 ; шагом свертки по высоте и ширине 1; равномерным заполнением нулями по краям изображения при реализации операции *padding*; функцией активации *ReLU*, наиболее часто используемой в сверточных слоях.

- *MaxPool2D* – слой подвыборки (*pooling layer*), использующийся для уменьшения размерности карт признаков и предотвращения переобучения [5].

- *Flatten* – слой, представляющий собой результат преобразования многомерного массива сигналов нейронов предыдущего слоя в одномерный массив.

- *Dense* – полносвязный слой из 256 нейронов.

- *Dense* – полносвязный слой из k -нейронов, где k – количество имеющихся классов. Для модели 1, обрабатывающей изображения клеток крови карпа, $k = 15$; для модели 2, связанной с изображениями клеток крови осетра, $k = 14$.

В качестве функции ошибки была выбрана функция разреженной категориальной перекрестной энтропии (*sparse categorical crossentropy*), функции активации последнего слоя – многопеременная логистическая функция (*softmax*). Именно они используются при построении моделей нейронных сетей для решения задачи мультиклассовой классификации в случаях, когда каждый классифицируемый объект может быть отнесен лишь к одному классу [5].

Каждый из наборов изображений был подразделен на 3 выборки: обучающая выборка (80% изображений); валидационная выборка (10% изображений); тестовая выборка (10% изображений).

Процесс обучения регулировался процедурой *early stopping*, заключающейся в преждевременной остановке в случае прекращения существенного уменьшения функции потерь и увеличения метрики [19].

Помимо *Accuracy*, измерить точность бинарной классификации можно при помощи метрик *Precision*, *Recall*, F_1 . В их основе лежит матрица ошибок (*confusion matrix*) [17], отраженная в таблице 2. Она показывает долю правильных классификаций или долю объектов, для которых классификатор правильно предсказал класс. Как отмечено выше, не всегда может эффективно использоваться как показатель качества распознавания для модели при наличии малочисленных классов. В этом случае часто используются метрики *Precision*, *Recall*, F_1 [14].

Таблица 2

Матрица ошибок при бинарной классификации объектов

Класс	Объект отнесен к положительному классу (P)	Объект отнесен к отрицательному классу (N)
Положительный (P)	<i>TP</i> – правильно положительная классификация объекта	<i>FN</i> – ложно отрицательная классификация объекта
Отрицательный (N)	<i>FP</i> – ложно положительная классификация объекта	<i>TN</i> – правильно отрицательная классификация объекта

Метрика *Accuracy* может быть рассчитана по формуле:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{N} = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN}. \quad (1)$$

Precision – доля истинно положительных объектов среди объектов, отнесенных классификатором к положительному классу:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (2)$$

где $TP + FP$ – объекты, распознанные классификатором как положительные, образующие положительный класс, который сформировал классификатор.

Метрика отражает качество распознавания положительных объектов, не учитывая размер истинно положительного класса. Например, если объектов всего 20, положительный класс содержит 15 объектов, 10 истинно положительных объектов были отнесены к этому классу и 0 – истинно ложных, то $Precision = 1$.

Recall – доля истинно положительных объектов среди объектов положительного класса:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (3)$$

где $TP + FN$ – объекты, являющиеся истинно положительными, образующие истинный положительный класс.

Метрика отражает качество распознавания положительных объектов, учитывая размер истинно положительного класса. Например, если объектов всего 20, положительный класс содержит 15 объектов, 15 истинно положительных объектов были отнесены к этому классу, то $Recall = 1$.

F_1 – среднее гармоническое метрик *Precision* и *Recall*:

$$F_1 = \frac{2}{\frac{1}{Recall} + \frac{1}{Precision}} = 2 \cdot \frac{Recall \cdot Precision}{Recall + Precision}. \quad (4)$$

Метрика отражает связь между истинно положительными метками и предсказанными классификатором как положительные [11, 17].

Мультиклассовая классификация с числом классов k представляется как совокупность из k -бинарных классификаций. В таком случае указанные метрики рассчитываются для каждой бинарной классификации, после чего реализуется одна из процедур их усреднения: микроусреднение или макроусреднение [17, 18].

Микроусреднение (*Micro-averaging*) предполагает усреднение матриц ошибок, полученных по k -бинарным классификациям, и последующий расчет метрик *Precision*, *Recall*, F_1 . При микроусреднении крупные классы сильнее влияют на значение метрики, тогда как вклад малых классов существенно ниже. Поэтому при несбалансированности классов предпочтение отдают макроусреднению, в котором и крупные, и малые классы в одинаковой степени влияют на итоговую метрику.

Макроусреднение (*Macro-averaging*) предполагает усреднение метрик *Precision* и *Recall*, полученных по k -бинарным классификациям. Для расчета $F_{1_{macro}}$ существуют

два подхода. Первый подход идентичен расчету $Precision_{macro}$ и $Recall_{macro}$: F_1 и рассчитывается для каждой бинарной классификации, затем из них находится среднее арифметическое:

$$F_{1_{macro}} = \frac{\sum_{i=1}^k F_{1_i}}{k}, \quad (5)$$

где k – число бинарных классификаций.

При втором подходе расчет производится по формуле (4) на основе [17]:

$$F_{1_{macro}} = 2 \cdot \frac{Recall_{macro} \cdot Precision_{macro}}{Recall_{macro} + Precision_{macro}}. \quad (6)$$

Библиотека scikit-learn позволяет реализовать макроусреднение метрики F_1 по формуле (5).

Результаты и их обсуждение

Модель 1 обучалась в течение 17 эпох обучения (рис. 6а, б). В конце первой эпохи обучения значение функции ошибки ($Loss$) для обучающей и валидационной выборок составило 22546,11 и 10611,38 соответственно, точность $Accuracy$ – 0,12 и 0,06. В конце обучения значение $Loss$ уменьшилось до 2,03 и 1,59, итоговая точность составила 0,85 и 0,89 по обучающему и валидационному набору данных соответственно.

Модель 2 обучилась быстрее: ей потребовалось 10 эпох обучения. Значения функции ошибки по двум выборкам к 10 эпохе уменьшились с 15866,42 и 6659,21 до 13,13 и 14,47 соответственно, при этом точность возросла с 0,23 и 0,19 до 0,71 и 0,75.

На основе графиков значений точности и ошибки можно констатировать отсутствие переобучения моделей, так как в целом точность по валидационной выборке превышает точность по обучающей выборке. Одновременно с этим ошибка по валидационной выборке не превышает ошибку по тренировочной выборке, что говорит о достаточно высокой способности моделей распознавать те изображения клеток крови, с которыми данные модели не сталкивались в процессе обучения.

Значения основных метрик, характеризующих качество построенных моделей с точки зрения классификации изображений клеток крови по обучающему (train), валидационному (validation) и тестовому (test) наборам данных, представлены в таблице 3.

Точность $Accuracy$ модели 1 по обучающей выборке составляет 0,85, по валидационной – 0,89, по тестовой – 0,75. Значения $Accuracy$ по модели 2 отличаются незначительно: по обучающей и валидационной выборкам они составляют 0,71 и 0,75 соответственно, однако по тестовой выборке точность выше и достигает 0,77.

Метрики $Precision$, $Recall$, F_1 при микроусреднении по обеим моделям идентичны $Accuracy$, что объясняется природой данных метрик. Несбалансированность наборов данных учтена в метриках $Precision$, $Recall$, F_1 при макроусреднении, о чем свидетельствуют их значения, заметно уступающие $Accuracy$, но более точно отражающие истинное качество моделей. Так, по модели 1 значение метрики $Precision_{macro}$ составляет 0,574, а по модели 2 – 0,707, то есть средний удельный вес правильно предсказанных клеток определенного типа среди всех предсказанных данного типа составляет 57,4 и 70,7% соответственно. Значения метрики $Recall_{macro}$ отличаются в меньшей степени и составляют 0,611 и 0,661, то есть средний удельный вес правильно предсказанных клеток среди всех имеющихся в наборе клеток данного типа составляет 61,1% по модели 1 и 66,1% по модели 2. Метрика $F_{1_{macro}}$ по двум моделям составляет 0,570 и 0,664.

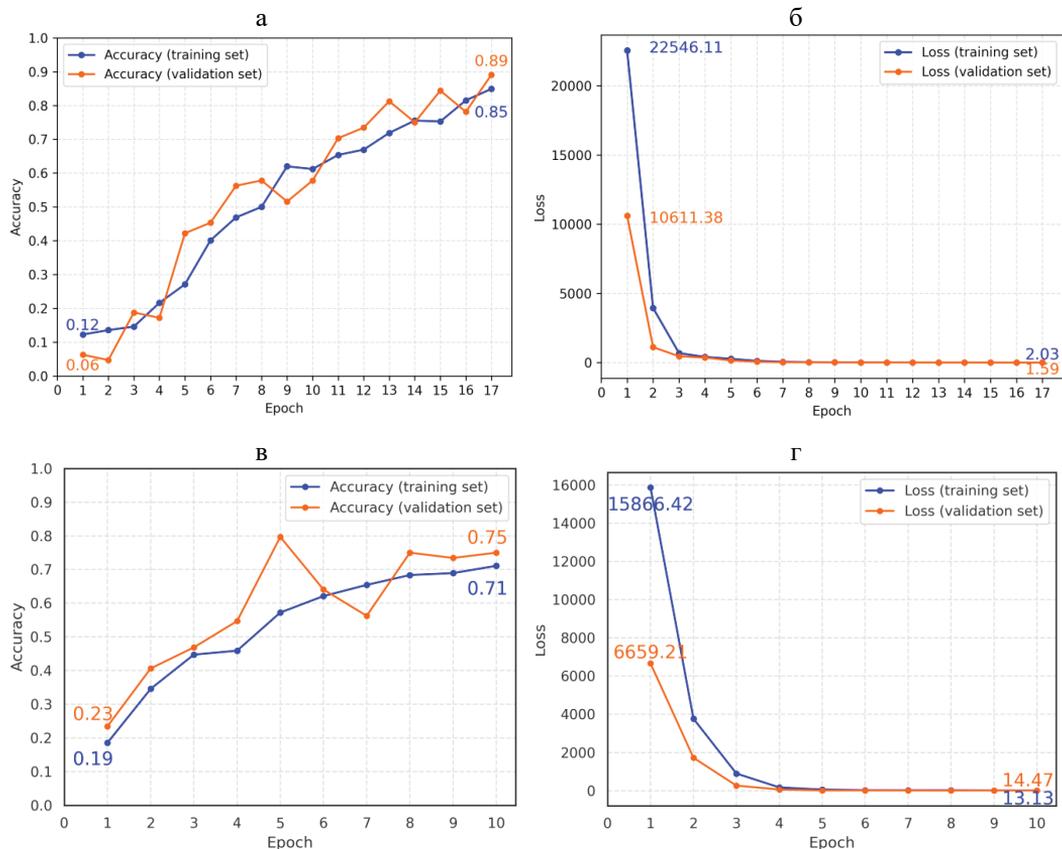


Рис. 6. Процесс обучения моделей сверточной нейронной сети: а, б – графики изменения точности *Accuracy* и функции ошибки *Loss* соответственно на каждой эпохе обучения модели 1 (по обучающей выборке – training set, по валидационной выборке – validation set); в, г – графики *Accuracy* и *Loss* в процессе обучения модели 2

Таблица 3

Метрики построенных моделей сверточной нейронной сети

Метрика	Модель 1			Модель 2		
	train	validation	test	train	validation	test
<i>Accuracy</i>	0,846	0,891	0,750	0,711	0,750	0,766
<i>Precision_{micro}</i>	0,846	0,891	0,750	0,711	0,750	0,766
<i>Precision_{macro}</i>	0,850	0,827	0,574	0,583	0,615	0,707
<i>Recall_{micro}</i>	0,846	0,891	0,750	0,711	0,750	0,766
<i>Recall_{macro}</i>	0,837	0,830	0,611	0,554	0,558	0,661
$F_{1_{micro}}$	0,846	0,891	0,750	0,711	0,750	0,766
$F_{1_{macro}}$	0,820	0,811	0,570	0,539	0,563	0,664

Модели способны распознавать клетки крови карповых и осетровых рыб при качестве выше среднего. При этом модель 2 на 16,49% лучше модели 1 распознает изображения клеток при сравнении по метрике $F_{1_{macro}}$.

На рисунке 7 представлена визуализация применения модели 1 для распознавания клеток крови карповых рыб: из 12 случайных изображений клеток крови осетровых рыб тестового набора модель правильно распознала 11 клеток. При этом в данной выборке больше всего зрелых эритроцитов (метка 14) – 4 клетки, и все их модель распознала без ошибки.

Вероятность соответствия (доля наибольшего сигнала на последнем слое нейронной сети по отношению к сумме k сигналов) прогнозных меток почти для всех правильно распознанных клеток близка к 100%, за исключением сегментоядерного нейтрофила (метка 7), для которого данная вероятность составляет 40,69%. Для неправильно распознанного сегментоядерного нейтрофила вероятность соответствия далека от максимума и равна 65,29%.

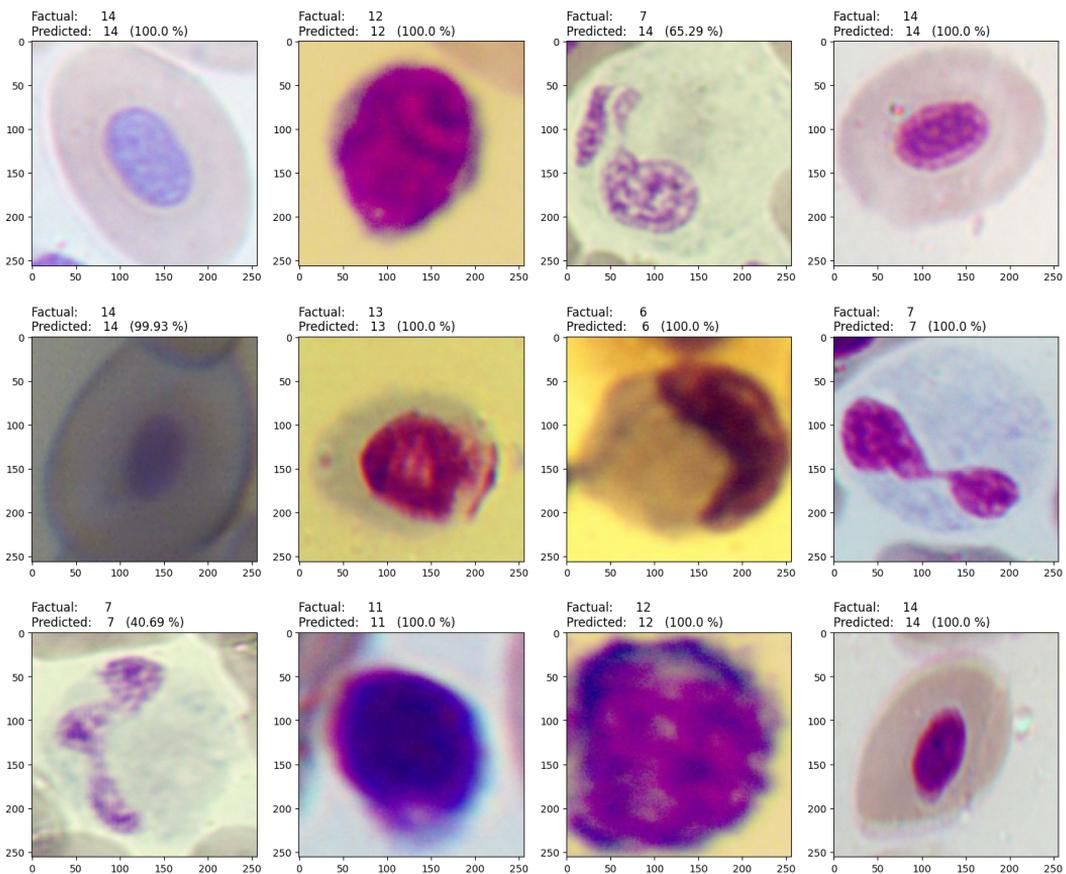


Рис. 7. Некоторые изображения клеток крови карповых рыб с соответствующими им фактическими метками классов (Factual) и спрогнозированными моделью 1 (Predicted)

На рисунке 8 отражены результаты применения модели 2 для распознавания клеток крови осетровых рыб. Моделью 2 также правильно были распознаны 11 клеток, большинство из которых (6 клеток) относится к классу зрелых эритроцитов (метка 14). При этом для 9 правильно распознанных клеток вероятность соответствия достигла 100%, за исключением одного зрелого эритроцита, для которого вероятность

соответствия была достаточно высокой и составила 87,16%. В распознавании данной выборки недостаток модели 2 связан с высокой вероятностью соответствия для неправильно распознанной клетки – палочкоядерного нейтрофила, и она составила 95,25%.

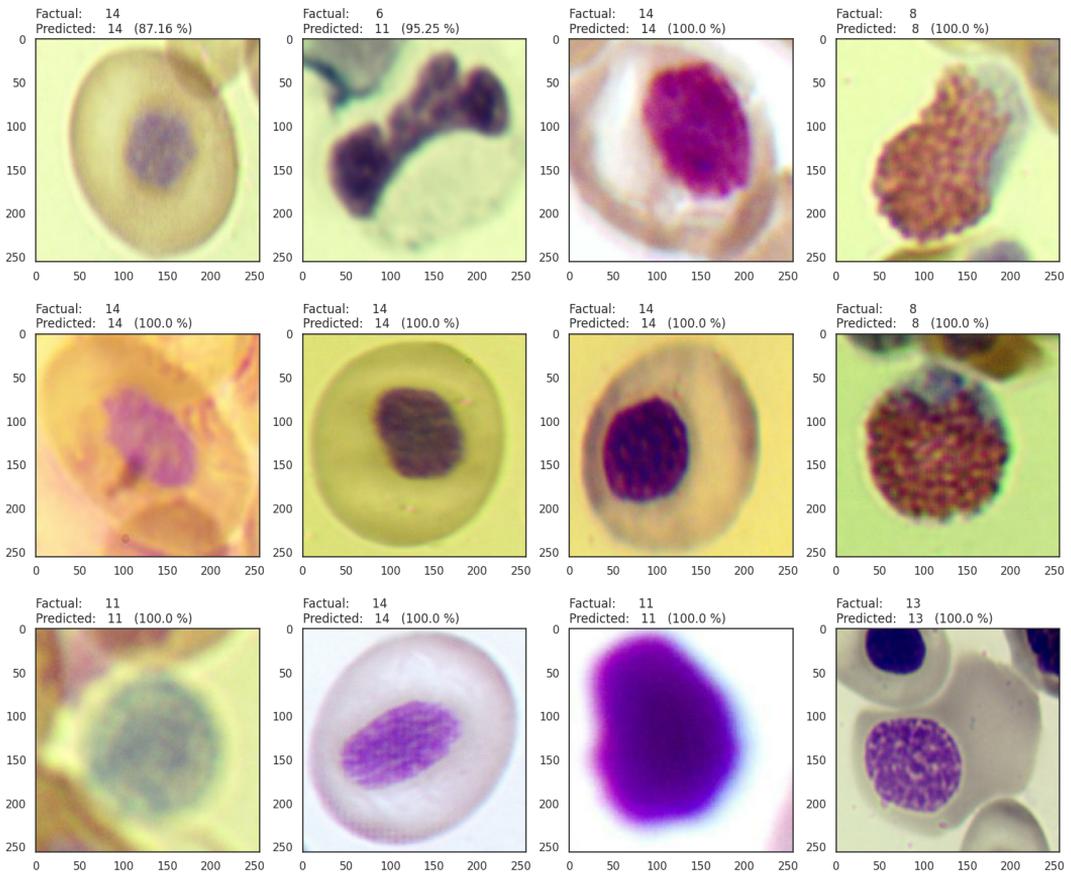


Рис. 8. Некоторые изображения клеток крови осетровых рыб с соответствующими им фактическими порядковыми номерами популяций (Factual) и спрогнозированными моделью 2 (Predicted)

Разработанные модели будут положены в основу дальнейших исследований, связанных с определением лейкоцитарной формулы крови рыб на основе технологий нейронных сетей. Поскольку точность обученных моделей составила 75,0 и 76,6%, значения метрики при макроусреднении – 0,570 и 0,664, в перспективе следует учесть размеры клеток и другие параметры, а также реализовать дополнительные процедуры машинного обучения для получения более точных результатов распознавания, в том числе аугментацию наборов данных (*data augmentation*) или процедуру вращения изображений [12].

Выводы

В результате исследований средствами языка Python и библиотеки TensorFlow разработаны модели сверточной нейронной сети для распознавания популяций лейкоцитов крови карповых и осетровых рыб. Обучение моделей происходило на 80% подготовленных изображений. При этом удалось избежать проблемы переобучения,

о чем свидетельствуют построенные графики изменения значений функции потерь (разреженной категориальной перекрестной энтропии – *sparse categorical crossentropy*) и точности (*accuracy*) в процессе обучения.

Построенные модели позволяют распознавать клетки крови рыб для автоматизации определения лейкоцитарной формулы крови со средней точностью 75,8% и средним значением метрики F_1 при макроусреднении 0,617. Повысить качество распознавания клеток крови можно путем модификации моделей и наборов данных, усложнения процесса обучения, увеличения числа и качества изображений клеток крови, учета размеров клеток, что требует продолжения исследований по данной тематике.

Библиографический список

1. Долгов В.В., Меньшиков В.В. Клиническая лабораторная диагностика // Национальное руководство. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 688 с.
2. Житенева Л.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте): М. – Ростов-на-Дону: Эверест, 2004. – 312 с.
3. Иванов А.А., Пронина Г.А., Корягина Н.Ю. Гематология пойкилотермных гидробионтов: Монография. – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2018. – 133 с.
4. Маслова Н.И., Петрушин А.Б. Методические рекомендации по управлению селекционным процессом в рыбоводстве (на примере карпа). – М.: Россельхозакадемия, 2005. – 27 с.
5. Паттерсон Дж., Гибсон А. Глубокое обучение с точки зрения практика. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 418 с.
6. Пищенко Е.В. Гематология пресноводной рыбы: Учебное пособие. – Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2002. – 48 с.
7. Пронина Г.И., Иванов А.А., Маннапов А.Г., Саная О.В. Иммуитет пойкилотермных гидробионтов // Известия ТСХА. – 2021. – № 2. – С. 71–91.
8. Пронина Г.И. Клиническая лабораторная диагностика. Практикум: Учебное пособие для вузов. – М., 2021. – 88 с.
9. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2017. – 96 с.
10. Agustin R.I., Arif A., Sukorini, U. Classification of immature white blood cells in acute lymphoblastic leukemia L1 using neural networks particle swarm optimization // Neural Comput & Applic. – 2021. – № 33. – Pp. 10869–10880. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06245-7>
11. Fernández J.C., Carbonero M., Gutiérrez P.A. et al. Multi-objective evolutionary optimization using the relationship between F1 and accuracy metrics in classification tasks // Appl Intell. – 2019. – № 49. – С. 3447–3463. <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01447-y>
12. Hameed Z., Garcia-Zapirain B., Aguirre J.J. et al. Multiclass classification of breast cancer histopathology images using multilevel features of deep convolutional neural network // Sci Rep. – 2022. – № 12. – P. 15600. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19278-2>
13. Le Floc'h N., Gondret F., Resmond R. Identification of blood immune and metabolic indicators explaining the variability of growth of pigs under contrasted sanitary conditions // BMC Vet Res. – 2021. – № 17. – P. 166. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02872-3>
14. Mortaz E. Imbalance accuracy metric for model selection in multi-class imbalance classification problems // Knowledge-Based Systems. – 2020. – Vol. 210. – P. 106490. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2020.106490>
15. Sadafi A., Shen D. Multiclass Deep Active Learning for Detecting Red Blood Cell Subtypes in Brightfield Microscopy // Medical Image Computing and Computer

Assisted Intervention – MICCAI 2019. Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – Vol. 11764. – Pp. 685–693. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32239-7_76

16. *Shilaskar S., Ghatol A.* Diagnosis system for imbalanced multi-minority medical dataset // *Soft Comput.* – 2019. – № 23. – Pp. 4789–4799. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3133-x>

17. *Sokolova M., Lapalme G.* A systematic analysis of performance measures for classification tasks // *Information Processing & Management.* – 2009. – Vol. 45, Iss. 4. – Pp. 427–437. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>

18. *Takahashi K., Yamamoto K., Kuchiba A.* Confidence interval for micro-averaged F_1 and macro-averaged F_1 scores // *Appl Intell.* – 2022. – № 52. – Pp. 4961–4972. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02635-5>

19. Официальный сайт открытой программной библиотеки TensorFlow для машинного обучения. – URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/callbacks/EarlyStopping.

20. *Upadhyay V., Rathod D.* Location-Based Crime Prediction Using Multiclass Classification Data Mining Techniques // (eds) *IOT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies.* – 2022. – Vol. 251. – Pp. 619–626. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3945-6_11

IDENTIFICATION OF FISH BLOOD CELL POPULATIONS ON THE BASIS OF A CONVOLUTIONARY NEURAL NETWORK FOR COMPILING A LEUKOGRAM

G.I. PRONINA, D.V. BYKOV, A.V. UKOLOVA, A.E. UL'YANKIN, A.N. KARASEV, M.A. TUTRIKOVA, M.A. AKIMUSHKINA, K.A. KANAeva

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

In aquaculture, physiological assessment is required to monitor the health status of fish. Blood is the most responsive system in the organism of hydrobionts to changes in external factors. The study of hematological parameters of fish allows for early diagnosis of diseases, working out the technological mode of breeding and rearing, and selection. The typing of cells in circulating fluids is important for compiling hemocytic and leukocyte formulas characterizing the cellular component of the organism's immune response.

In the present study, convolutional neural network models are developed to classify blood cells of carp and sturgeon fish. The quality of the models is estimated based on the metrics Accuracy and Precision, Recall, F_1 with macro-averaging.

Based on the processing of blood images, 1104 images of blood cells of carp and sturgeon fish were prepared, including 15 cell populations: hemohistoblasts, myeloblasts, promyelocytes, myelocytes, metamyelocytes, rod-shaped neutrophils, segmented neutrophils, eosinophils, basophils, monocytes, lymphocytes, erythroblasts, normoblasts, mature erythrocytes, and platelets.

Models of a convolutional neural network have been developed to recognize populations of blood cell elements (erythrocytes, leukocytes, platelets) of carp and sturgeon fish. The models were trained on 80% of the prepared images, avoiding the problem of overtraining, as evidenced by the constructed graphs of the loss function (sparse categorical cross entropy) and accuracy during the learning process.

The constructed models make it possible to recognize blood cells of carp fish with an accuracy of 75.0% (metric F_1 with macro-averaging is 0.570) and blood cells of sturgeon fish with an accuracy of 76.6% (F_1 with macro-averaging is 0.664).

Key words: fish blood cells, machine learning, convolutional neural network (CNN), classification, image processing.

References

1. Dolgov V.V., Men'shikov V.V. Clinical laboratory diagnostics. National guidelines. M.: GEOTAR-Media, 2016: 688. (In Rus.)
2. Zhiteneva L.D., Makarov E.V., Rudnitskaya O.A. Fundamentals of ichthyohaematology (in comparative aspect). Rostov-na-Donu: Everest, 2004: 312. (In Rus.)
3. Ivanov A.A., Pronina G.A., Koryagina N.Yu. Haematology of poikilothermic hydrobionts: Monograph. Irkutsk: OOO "Megaprint", 2018: 133. (In Rus.)
4. Maslova N.I., Petrushin A.B. Methodological recommendations on breeding process management in fish breeding (carp as an example). M.: Rossel'khozakademiya, 2005: 27. (In Rus.)
5. Patterson D., Gibson A. Deep learning from a practitioner's perspective. M.: DMK Press, 2018: 418. (In Rus.)
6. Pishchenko E.V. Haematology of freshwater fish: Textbook. Novosibirsk: Novosib. gos. agrar. un-t, 2002: 48. (In Rus.)
7. Pronina G.I., Ivanov A.A., Mannapov A.G., Sanaya O.V. Immunity of poikilothermic hydrobionts. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021; 2: 71–91. (In Rus.)
8. Pronina G.I. Clinical Laboratory Diagnostics. Practicum: Textbook for Higher Education Institutions. Moscow, 2021: 88. (In Rus.)
9. Pronina G.I., Koryagina N.Yu. Methodology of physiological and immunological assessment of hydrobionts: Textbook. SPb: Lan', 2017: 96. (In Rus.)
10. Agustin R.I., Arif A., Sukorini U. Classification of immature white blood cells in acute lymphoblastic leukemia L1 using neural networks particle swarm optimization. Neural Comput & Applic. 2021; 33: 10869–10880. URL: <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06245-7>
11. Fernández J.C., Carbonero M., Gutiérrez P.A. et al. Multi-objective evolutionary optimization using the relationship between F1 and accuracy metrics in classification tasks. Appl Intell. 2019; 49: 3447–3463. URL: <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01447-y>
12. Hameed Z., Garcia-Zapirain B., Aguirre J.J. et al. Multiclass classification of breast cancer histopathology images using multilevel features of deep convolutional neural network. Sci Rep. 2022; 12: 15600. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19278-2>
13. Le Floc'h N., Gondret F., Resmond R. Identification of blood immune and metabolic indicators explaining the variability of growth of pigs under contrasted sanitary conditions. BMC Vet Res. 2021; 17: 166. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02872-3>
14. Mortaz E. Imbalance accuracy metric for model selection in multi-class imbalance classification problems. Knowledge-Based Systems. 2020; 210: 106490. URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106490>
15. Sadafi A., Shen D. Multiclass Deep Active Learning for Detecting Red Blood Cell Subtypes in Brightfield Microscopy. Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2019. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2019; 11764: 685–693. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32239-7_76
16. Shilaskar S., Ghatol A. Diagnosis system for imbalanced multi-minority medical dataset. Soft Comput. 2019; 23: 4789–4799. URL: <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3133-x>
17. Sokolova M., Lapalme G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. Information Processing & Management. 2009; 45; 4: 427–437. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
18. Takahashi K., Yamamoto K., Kuchiba A. Confidence interval for micro-averaged F_1 and macro-averaged F_1 scores. Appl Intell. 2022; 52: 4961–4972. URL: <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02635-5>

19. `tf.keras.callbacks.EarlyStopping`. Official website of the TensorFlow – open source library for machine learning. URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/callbacks/EarlyStopping

20. *Upadhyay V., Rathod D.* Location-Based Crime Prediction Using Multiclass Classification Data Mining Techniques. (eds) IOT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. 2022; 251: 619–626. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3945-6_61

Пронина Галина Иозеповна, профессор, д-р биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: gidrobiont4@yandex.ru

Быков Денис Витальевич, ассистент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: bykovdv@rgau-msha.ru

Уколова Анна Владимировна, канд. экон. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: statmsha@rgau-msha.ru

Ульянкин Александр Евгеньевич, ассистент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: aeulianckin@rgau-msha.ru

Карасев Андрей Николаевич, бакалавр 3-го года обучения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: andrkar008@gmail.com

Мария Андреевна Тутрикова, бакалавр 3-го года обучения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: maria.tutrikova@gmail.com

Магдалина Алексеевна Акимушкина, бакалавр 3-го года обучения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: akimushkina.lina@gmail.com

Ксения Андреевна Канаева, бакалавр 3-го года обучения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: kutk-ksusha@yandex.ru

Galina I. Pronina, DSc (Bio), Associate Professor, Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: gidrobiont4@yandex.ru)

Denis V. Bykov, Assistant of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: bykovdv@rgau-msha.ru)

Anna V. Ukolova, CSc (Econ), Associate Professor, Acting Head of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: statmsha@rgau-msha.ru)

Aleksandr E. Ul'yankin, Assistant of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: aeulianckin@rgau-msha.ru)

Andrey N. Karasev, 3rd-year undergraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: andrkar008@gmail.com)

Maria A. Tutrikova, 3rd-year undergraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: maria.tutrikova@gmail.com)

Magdalina A. Akimushkina, 3rd-year undergraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: akimushkina.lina@gmail.com)

Ksenia A. Kanaeva, 3rd-year undergraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: kutk-ksusha@yandex.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОБИОТИКОВ В КОРМЛЕНИИ МОНОГАСТРИЧНЫХ ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР)

В.И. ТРУХАЧЕВ, М.И. СЕЛИОНОВА, А.Ю. ЗАГАРИН

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Негативные последствия нерационального использования кормовых антибиотиков в животноводстве, заключающиеся в распространении устойчивости патогенов к их действию, обуславливают актуальность поиска и внедрения в кормовую отрасль альтернативных стабилизаторов кишечной микробиоты животных. К их числу относят фитобиотики – растительные препараты, способствующие повышению продуктивности и поддержанию здоровья животных. В статье представлен обзор отечественной и зарубежной научной литературы по использованию в кормлении моногастричных животных фитогенных кормовых добавок. Рассмотрены частные случаи применения фитобиотиков в кормлении сельскохозяйственной птицы (цыплята-бройлеры, куры-несушки, индейки, утки, перепела, гуси), свиней, кроликов и лошадей различных половозрастных групп. Приведены результаты влияния фитобиотиков на зоотехнические показатели выращивания и содержания сельскохозяйственных животных, морфологию крови, микробиоту кишечника, биохимические характеристики мяса, яиц и другой продукции. Описаны ростостимулирующие, антиоксидантные, антимикробные, противовоспалительные и другие полезные свойства фитобиотиков, приготовленных на основе различных растительных компонентов. На основании обзора сделаны выводы о широком ассортименте растительного сырья, используемого в качестве фитобиотиков, об основных биологически активных соединениях, определяющих функциональные свойства изучаемых препаратов, объемах использования фитобиотиков в кормлении различных моногастричных животных и о характере влияния добавок на хозяйственно-полезные и биологические признаки животных.

Ключевые слова: фитобиотики, животноводство, сельскохозяйственная птица, свиньи, кролики, лошади, растительные экстракты, кормление животных.

Введение

Животноводство играет существенную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны [1]. С целью повышения качества и объемов производимой продукции в практике сельского хозяйства используют инновационные научно обоснованные решения. К их числу относят использование высокопродуктивных пород, линий и кроссов сельскохозяйственных животных, полученных в результате грамотно организуемой селекционной работы [2], оптимизацию условий содержания, а также полноценное и сбалансированное кормление животных [3]. Его организация в настоящее время не представляется возможной без использования кормовых добавок, применяемых с целью компенсации дефицитных питательных и биологически активных веществ, стимулирования роста, повышения продуктивности и воспроизводительной функции животных, продления сроков хранения и использования кормов и т.д. Большую роль в кормлении моногастричных животных играет использование добавок, выполняющих роль стабилизации и контроля микробиоты кишечника [4].

В течение длительного времени в качестве таких препаратов использовали кормовые антибиотики, действие которых заключается в подавлении желудочно-кишечных инфекций для повышения роста и улучшения конверсии корма. Однако неконтролируемое

использование антибиотиков в качестве кормовых стимуляторов роста сопровождается рядом негативных последствий, и в первую очередь – развитием антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов и изменением баланса микробиоты в кишечнике [5–7]. В связи с этим актуальными в кормлении моногастричных животных являются поиск и внедрение альтернативных стабилизаторов кишечной микробиоты, в том числе фитобиотиков – добавок на основе растительных компонентов [8, 9].

Цель исследований: обобщение и анализ научной литературы по использованию в кормлении моногастричных животных фитобиотиков, приготовленных на основе различных растительных компонентов и включающих в свой состав различные биологически активные соединения.

Материал и методы исследований

Поиск научных источников осуществлялся в базах данных eLIBRARY.RU (<https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>) и ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>).

Результаты и их обсуждение

Актуальность использования фитобиотиков в кормлении животных. Важную роль в поддержании здорового состояния моногастричных животных занимает микробиоценоз кишечника. Изучение его структуры и взаимодействия с организмом-хозяином представляет значительный интерес для научных исследований. Микробиота кишечника может быть определена как отдельный «орган», принимающий участие в обмене веществ, переваривании корма и образовании различных биологически активных веществ: ферментов, витаминов, антибактериальных соединений [10, 11].

Организм хозяина и микроорганизмы, заселяющие кишечник животных, формируют целостную единую биосистему, их взаимодействие способствует развитию организма и адаптации животного. Микробиота кишечника позволяет трансформировать субстраты в питательные вещества, необходимые для организма хозяина, способствуя таким образом лучшему использованию питательных веществ корма и повышению роста и продуктивности животного [12].

Известно участие кишечной микробиоты в формировании иммунитета. Микроорганизмы кишечника оказывают «сопротивление» патогенным микробам, поступающим в составе кормов и колонизирующим ткани организма животного, поскольку барьерная функция микроворсинчатого цилиндрического эпителия является неспособной в полной мере обезопасить организм от проникновения патогенов без наличия автохтонных микроорганизмов. Нормофлора кишечника способствует поддержанию постоянства внутренней среды, резистентности, развитию тканей слепых отростков кишечника птицы, обеспечивает нормальную деятельность сердечно-сосудистой, эндокринной, кроветворной, нервной и других систем, обладает иммуномодулирующей активностью, способствует регенерации тканей кишечника [11, 13].

Ключевыми представителями микробиоты кишечника животных являются бифидобактерии, лактобактерии, пропионовокислые бактерии, а также условно-патогенные кишечная палочка и клостридии. Последние присутствуют в составе микробного сообщества постоянно, однако необходимо контролировать, чтобы их численность не превышала допустимые пределы и не преобладала над количеством полезных микроорганизмов [14].

В настоящее время, в условиях интенсивного производства продуктов животного происхождения, при промышленном содержании животных наиболее распространенным способом контроля соотношения нормальной, патогенной

и условно-патогенной микробиоты, заселяющей кишечник, является использование кормовых антибиотиков [15, 16]. Однако при постоянном и нерациональном использовании антибиотических препаратов в животноводстве патогенные бактерии приобретают устойчивость к ним, в результате чего введение в состав кормов антибиотиков не приносит ожидаемого эффекта, а при проведении ветеринарных мероприятий снижается эффективность антибиотикотерапии. Кроме того, антибиотики контаминируют продукцию, получаемую от животных, в результате чего такие продукты представляют опасность для здоровья человека. Перечисленные факторы обуславливают тенденцию перехода к запрету использования кормовых антибиотиков и поиску альтернативных стабилизаторов кишечной микробиоты [15, 17–20].

Добавки, способные заменить кормовые антибиотики, включают в себя пробиотики, пребиотики, симбиотики, органические кислоты и другие компоненты. Преимущество применения этих добавок заключается в их экологической безопасности и отсутствии негативного эффекта, отражаемого на здоровье животных. Перспективной альтернативой антибиотикам являются фитобиотики – натуральные кормовые добавки растительного происхождения, включающие в свой состав биологически активные вещества и проявляющие антибиотические свойства.

Фитобиотики, помимо антимикробного действия, обладают противовирусным, иммуномодулирующим, противогрибковым и противовоспалительным эффектом. Фитогенные кормовые добавки используют в кормлении сельскохозяйственных животных в целях повышения продуктивности и улучшения качества продукции животноводства [18, 21, 22].

При современном характере технологий в различных отраслях животноводства, преимущественно в условиях промышленных предприятий, животных содержат в ограниченном пространстве. В их рационах отсутствуют или содержатся в недостаточном количестве зеленые корма, что может негативно отражаться на состоянии здоровья, уровне продуктивности и воспроизводительной функции.

В последнее время большое количество научных работ посвящено изучению биологически активных кормовых компонентов в составе кормов и разработке способов приготовления стандартизированных фитобиотических кормовых добавок для различных видов сельскохозяйственных животных. При оценке и научном обосновании использования в животноводстве фитобиотиков с различными биологически активными метаболитами (спирты, альдегиды, эфиры, кетоны, лактоны, антоцианы, кумарины, флавоноиды, танины, сапонины и терпеноиды (моно- и сесквитерпены, стероиды) и т.д.) исследуют показатели продуктивности, физиолого-биохимический статус организма и экстерьерные показатели [18, 23].

Использование фитобиотиков в кормлении сельскохозяйственной птицы. Наибольшее количество исследований, посвященных эффективности использования фитобиотических добавок в кормлении птицы, проведено на цыплятах-бройлерах. Авторы изучали преимущественно продуктивность бройлеров при использовании в кормлении как коммерческих фитобиотиков, так и нативных экстрактов. Например, при скормливании бройлерам экстракта крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) установлены повышение живой массы в конце выращивания на 0,4–3,3%, снижение затрат корма на 0,6–2,3%, высокая сохранность поголовья.

Изучая мясную продуктивность бройлеров, авторы пришли к выводу о том, что скормливание экстракта крапивы способствовало повышению на 0,30–0,75% значений убойного выхода, на 0,8–6,6% – энергетической ценности мяса. Расчет индекса эффективности выращивания цыплят-бройлеров позволил установить оптимальное количество ввода экстракта крапивы (10 мг/кг живой массы) в полнорационные комбикорма [24].

Было изучено влияние различных уровней ввода (2, 4, 6, 8, 10 мг/кг живой массы ежедневно) экстракта такого лекарственного растения, как чабрец ползучий (*Thymus serpyllum* L.), на продуктивность и качественные показатели мяса цыплят-бройлеров. Результаты исследования свидетельствовали о достоверном повышении живой массы в возрасте 40 сут. у цыплят с максимальным уровнем ввода добавки на 4,66%, а также об увеличении в группах с уровнем ввода экстракта 6, 8 и 10 мг/кг живой массы показателя массы потрошенной тушки на 6,11–13,28%, убойного выхода – на 2,08–5,49 абс.%. В некоторых опытных группах в составе мяса было установлено достоверное повышение концентрации аминокислот: треонина, валина, метионина, изолейцина [25]. Результаты других исследований свидетельствовали о повышении значений абсолютного прироста на 2,3–4,7%, о снижении затрат корма на 1,1–8,1%, об увеличении сохранности поголовья на 2,7–8,1%, о повышении европейского индекса продуктивности на 0,2–21,3% при использовании в кормлении бройлеров экстракта чабреца [26].

Экспериментально установлена эффективность скармливания цыплятам-бройлерам в составе полнорационных комбикормов добавки на основе куркумы (*Curcuma longa* L.), проявляющей свойства естественного антиоксиданта. Активным компонентом куркумы служит куркумин (диферулоилметан) – активный полифенольный антиоксидант, действие которого выше по сравнению с аскорбиновой кислотой, токоферолом, β-каротинами. Скармливание куркумы в мицелированной форме способствовало повышению продуктивности цыплят-бройлеров, обеспечивало депонирование ретинола и токоферола в печени, замедляло деструктивные процессы, связанные с перекисным окислением липидов в печени и мясе [27].

Изучено использование в кормлении цыплят-бройлеров фитобиотической кормовой добавки на основе экстракта древесины каштана посевного (*Castanea sativa* Mill.) в комплексе с бутиратом кальция. Основными действующими компонентами добавки являются гидролизуемые танины, которые в отличие от конденсируемых танинов не обладают антипитательными свойствами, проявляют антибактериальную активность, ингибируя адгезивную функцию патогенов, нарушая их антифагоцитарные свойства и ограничивая их ферментную активность. Действие танинов распространяется на патогенную и условно-патогенную микробиоту включая сальмонеллу, клостридию и кишечную палочку [28].

По результатам микробиологического исследования содержимого слепых отрезков кишечника цыплят-бройлеров отмечено снижение содержания клостридий, сальмонелл и кампилобактерий при скармливании фитобиотика на основе танинов посевного каштана [29].

Использование в кормлении цыплят-бройлеров фитобиотика «Сангровит Экстра» позволило повысить переваримость сухого вещества корма на 0,83–1,41%, органического вещества – на 0,93–1,50%, сырого протеина – на 1,97–2,63%, сырой клетчатки – на 0,11–0,22%, сырого жира – на 3,34–3,62%, БЭВ – на 0,60–0,89%, использование азота – на 1,70–2,17%, кальция – на 2,09–1,94%, фосфора – на 2,78–2,92%. Лучшая переваримость корма определила повышение живой массы бройлеров к концу выращивания на 5,10–6,80%. Авторы рекомендуют использовать добавку в количестве 150 г/т комбикорма [30].

Некоторые исследования посвящены изучению влияния скармливания фитобиотиков на морфобиохимические показатели крови. В частности, изучено использование в кормлении цыплят-бройлеров экстракта коры дуба (*Quercus cortex*). Было установлено, что использование фитодобавки интенсифицировало белковый, углеводный и минеральный метаболизм при отсутствии какого-либо негативного действия. Установлены статистически достоверное снижение триглицеридов в сыворотке крови,

повышение активности ферментов АЛТ, ЛДГ и креатининкиназы [31]. Аналогичные результаты были получены при использовании в кормлении бройлеров фитобиотика на основе экстракта пихты сибирской (*Abies sibirica*). Выявлено повышение в крови уровня эритроцитов и содержания гемоглобина, а также концентрации общего белка, альбуминов, триглицеридов, глюкозы, общего кальция, неорганического фосфора и железа, значения белкового индекса и активности аминотрансфераз [32].

В яичном птицеводстве также широко распространено использование фитобиотиков. Установлено положительное влияние скармливания курам-несушкам экстракта плодов рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), в составе которого содержатся витамины А, С, Р, органические кислоты, антоцианы, дубильные и пектиновые вещества, минеральные элементы, катехины, флавоноиды и гликозиды. Результаты опыта указывают на повышение яичной продуктивности кур (яйценоскость на начальную и среднюю несушку, интенсивность яйценоскости, средняя масса яиц, количество полученной яйцемассы), снижение затрат корма на образование продукции и повышение сохранности поголовья, увеличение концентрации белка и минеральных веществ в химическом составе яиц при использовании экстракта плодов рябины [33].

Доказано положительное действие экстракта топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) в кормлении кур-несушек. В первую очередь, топинамбур является богатым источником инулина, обладающего пребиотическими свойствами. Топинамбур обладает иммуностимулирующим, адаптогенным, антитоксическим и антиоксидантным свойством, содержит в большом количестве тиамин, рибофлавин, биотин, аскорбиновую и органические кислоты, способствует усвоению кальция и магния. Использование экстракта топинамбура в кормлении кур-несушек промышленного стада обуславливало повышение яйценоскости кур на 7,2%, средней массы яиц на 4,4%, сохранности поголовья на 4,0%; снижение затрат корма на 10 яиц на 23,5%, на 1 кг яйцемассы – на 24,2%; способствовало формированию наиболее крепкой скорлупной оболочки яиц, увеличению концентрации белка в яйцах [34].

Интерес для использования в кормлении сельскохозяйственной птицы представляет эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.), положительно влияющая на формирование иммунитета, обладающая противовирусным и противовоспалительным эффектом. Биологически активными соединениями, входящими в состав ее тканей, являются алкаамиды, гликопротеины, фенольные соединения, коричная кислота, эфирное масло и флавоноиды. Использование экстракта эхинацеи пурпурной в кормлении кур-несушек приводит к повышению яичной продуктивности птицы, повышению массы яиц, снижению затрат корма на единицу продукции, снижению выбраковки яиц с насечкой и повышению сохранности птицы, не вызывая значительных изменений в химическом составе яиц [35].

Включение в состав фазовых полнорационных комбикормов, предназначенных для кур-несушек, экстракта горчицы сарептской (*Brassica juncea* L.) в количестве от 10 до 90 мг/кг корма позволило увеличить показатели яичной продуктивности птицы. Так, яйценоскость на среднюю несушку возросла на 4,8–13,1%, интенсивность яйценоскости – на 3,95–10,60%. Кроме того, в результате скармливания добавки была повышена сохранность поголовья на 2,0–6,0%, снижены затраты корма на 10 яиц на 2,6–13,1%, на 1 кг яйцемассы – на 6,1–19,1% в сравнении с группой кур, не получавших экстракта в составе кормов. Скармливание фитобиотика способствовало улучшению качества получаемых от кур яиц – снижению яиц с боем и насечкой (на 0,08–0,25%). Морфологические показатели крови опытных кур находились в диапазоне физиологической нормы. Такие рассчитываемые показатели, как Европейский коэффициент эффективности и индекс эффективности производства яиц, у несушек опытных групп были выше на 1,1–3,0 и 2,5–12,6 ед. соответственно [36].

Скармливание курам-несушкам фитобиотических добавок на основе эфирных масел из экстрактов растений тимьяна, розмарина, перца Чили обеспечивало лучшее развитие органов желудочно-кишечного тракта, в том числе пищевода, железистого и мышечного желудков, кишечника и его слепых отростков. Исследуемая структура фабрициевой сумки свидетельствовала о состоянии хорошо развитого гуморального иммунитета, обуславливающего снижение смертности опытной птицы на 1,27%. Результаты морфогистологических исследований срезов селезенки свидетельствовали о менее выраженных по сравнению с контролем патологических и инволютивных изменениях, указывающих на усиление и поддержание нормального состояния функциональной деятельности органа [37, 38].

При производстве мяса индейки также используются фитобиотики. В частности, хвойная энергетическая добавка, основными действующими веществами которой являются эфирные масла хвои и селективный экстрагент, обладает ростостимулирующими свойствами. Исследования биохимического состава крови индеек кросса «Универсал» установили увеличение содержания общего белка в сыворотке крови, обуславливающее активацию белкового метаболизма и подтвержденное высокой интенсивностью роста индеек при выращивании и откорме [39].

Обоснована эффективность использования в кормлении индеек водного экстракта листьев тысячелистника (*Achillea millefolium* L.). Его применение увеличивало массу подкожного жира, снижало массу печени и повышало показатели мясной продуктивности. Также отмечалось повышение активности глутатионпероксидазы в крови и грудных мышцах, супероксиддисмутазы в крови и печени, что свидетельствовало о проявлении антиоксидантных свойств добавки [40].

Использование фитогенных кормовых добавок практикуется в перепеловодстве. Результаты научного опыта по изучению скармливания перепелам полифункциональной добавки на основе экстракта почек тополя бальзамического (*Populus balsamifera*), проявляющих антибактериальную, противогрибковую, противовоспалительную и антиоксидантную активность за счет содержания 3,4-диметоксикоричной и феруловой кислот, свидетельствовали о положительном влиянии фитобиотика на мясную продуктивность птицы (в том числе повышение массы потрошеной тушки – на 47–54%, сердечной мышцы – в 1,5–4 раза, печени – в 2–2,5 раза), снижении обсемененности мяса перепелов условно-патогенными микроорганизмами и повышении в нем концентрации аминокислот [41].

Растительные препараты использованы в кормлении водоплавающей птицы. Так, скармливание экстракта виноградных косточек пекинским уткам способствовало повышению их живой массы в конце выращивания и снижению затрат корма на 1 кг прироста. При этом отмечены антиоксидантные и иммуномодулирующие свойства за счет повышения активности сывороточных супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, концентрации иммуноглобулина G. При анатомической разделке тушек уток было установлено, что птица, получавшая в составе кормов экстракт косточек винограда, отличалась наибольшей массой потрошеной тушки, грудных мышц и наименьшим содержанием абдоминального жира. Гистологические исследования свидетельствовали об уменьшении глубины крипт и увеличении ворсинок в слизистой оболочке тонкого кишечника, микробиологические исследования – о росте численности молочнокислых бактерий при снижении количества кишечной палочки в подвздошной кишке уток [42].

Проведено исследование, посвященное изучению влияния скармливания молодняку уток эфирного масла орегано (*Origanum vulgare*), включающего в себя тимол и карвакрол, в качестве фитобиотической кормовой добавки. Использование в кормлении уток фитобиотика в количестве как 150, так и 300 мг/кг комбикорма, существенно

не повлияло на интенсивность роста птицы или биохимический состав сыворотки крови, но результаты микробиологических исследований содержимого слепых отростков кишечника позволили установить наличие антибактериального эффекта [43].

При скармливании гусят, выращиваемым на мясо, фитобиотической добавки «Дигестаром 1317» в количестве 200 г/т комбикорма было установлено повышение сохранности поголовья, живой массы в конце выращивания, показателей мясной продуктивности, переваримости и усвоения питательных веществ, снижение затрат корма на 1 кг прироста [44].

Таким образом, проведенными многочисленными исследованиями доказано положительное влияние фитогенных добавок на показатели продуктивности, физиологические процессы пищеварения, усвоения и использования веществ корма, микробиоту кишечника, иммунитет, морфобиохимические и антиоксидантные показатели организма птицы.

Использование фитобиотиков в кормлении свиней. В свиноводстве также широко практикуется включение фитобиотических кормовых добавок в состав комбикормов. В частности, при изучении использования различных доз фармсубстанции эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) при откорме молодняка свиней было доказано положительное влияние скармливаемой кормовой добавки на изменение живой массы свиней и показатели мясной продуктивности: убойную массу и убойный выход. Показатели морфологического состава крови свиней свидетельствовали об отсутствии резких изменений концентрации гемоглобина и форменных элементов крови, уровень которых находился в пределах физиологической нормы [45].

Изучен эффект использования в кормлении свиней экстракта проантоцианидина виноградных косточек на качество мяса, характеристики мышечных волокон и антиоксидантную способность мяса свиней. Результаты исследования длинной мышцы спины свиней указывали на повышение pH мяса, изменение окраски (проявление более насыщенного красного цвета), повышение концентрации сырого протеина в мясе, а также снижение потерь влаги, лактата и гликолитического потенциала в мясе. В образцах исследуемого мяса было отмечено повышение общего количества полиненасыщенных жирных кислот, в том числе омега-3. При скармливании экстракта косточек винограда установлено повышение антиоксидантных свойств в мясе – рост активности супероксиддисмутазы, каталазы и глутатионпероксидазы. Таким образом, применение данного фитобиотика в кормлении свиней способствовало улучшению товарных качеств свинины, влагоудерживающей и антиоксидантной способности мяса [46].

Изучено использование в кормлении поросят-отъемышей фитогенной добавки – экстракта стручкового перца (*Capsicum annuum*), основным действующим веществом которого является капсаицин, взамен антибиотика хлортетрациклина. В сравнении с группами поросят, получавших рацион как без добавок (контрольная), так и антибиотик в составе комбикорма, животные опытной группы с включением в состав кормов экстракта перца отличались наиболее высокими значениями среднесуточного прироста, лучшей усвояемостью общей энергии корма, сухого вещества, органического вещества и сырого протеина в первые две недели жизни. При этом отмечена повышенная активность панкреатической липазы в поджелудочной железе, активность α -амилазы, липазы и протеазы в слизистой оболочке тощей кишки и активность липазы в слизистой оболочке подвздошной кишки на 28-й день, более высокая антиоксидантная активность. В толстом отделе кишечника поросят, получавших экстракт, было установлено наибольшее содержание летучих жирных кислот и численности *Faecalibacterium*, в сыворотке их крови – наименьшее содержание малонового диальдегида, опухолевого ядерного фактора- α , интерферона- γ и интерлейкина-6. Таким образом,

использование в кормлении поросят-отъемышей экстракта стручкового перца способствовало повышению зоотехнических показателей, повышению активности пищеварительных ферментов, антиоксидантной и противовоспалительной способности, оптимизации микробиоты в кишечнике, повышению содержания в нем летучих жирных кислот, что обосновывает возможность замены антибиотика изученной добавкой [47].

Использование в кормлении поросят на дорастивании и в период откорма фитобиотических добавок на основе экстрактов одуванчика (*Taraxacum officinale*) и чеснока (*Allium sativum*) как отдельно, так и комбинированно, позволило повысить показатели продуктивности животных, добиться наилучшего развития длиннейшей мышцы спины, снизить концентрацию жира и холестерина в шпике, увеличить выход постного мяса, а также повысить содержание полиненасыщенных жирных кислот в длиннейшей мышце спины и шпике [48].

Ряд исследований, посвященных изучению использования в кормлении свиней гидролизуемых и конденсированных танинов европейского каштана (*Castanea sativa* Mill.) и американского квебрахо (*Schinopsis*), свидетельствует о положительном влиянии их скармливания на динамику роста, морфометрические показатели желудочно-кишечного тракта поросят на дорастивании. Эффективность использования фитобиотиков с танинами в качестве действующих веществ зависит от уровня ввода добавки в состав комбикормов, продолжительности скармливания, наличия других источников танинов в рационе, принятого режима кормления (вволю или ограниченного) и синергетического эффекта гидролизуемых и/или конденсированных танинов с другими добавками [49].

Фитобиотик «Интебио», приготовленный на основе комплекса эфирных масел растений (эвкалипт, чеснок, лимон и чабрец), лимонной кислоты и наполнителя – отрубей пшеничных или шрота подсолнечного, используется в кормлении супоросных и подсосных свиноматок, а также молодняка свиней. Введение фитобиотика в состав комбикормов молодняка способствовало увеличению абсолютного прироста живой массы животных за период с 30 по 105 сутки на 2,74–5,59 кг, что обусловило также увеличение величины среднесуточного прироста [50]. Использование этой добавки в кормлении свиноматок способствует повышению воспроизводительных качеств животных. В частности, при скармливании «Интебио» за 30 сут. до опороса и в течение 30 сут. после него было отмечено повышение многоплодия самок на 2,9%, живой массы поросят при рождении на 12,3%, при отъеме – на 11,9%, сохранности поросят-сосунов на 6,1%, а также сокращение затрат корма на 1 кг прироста поросят на 18,4%. Была доказана экономическая обоснованность использования фитобиотика «Интебио» в кормлении свиноматок [51].

Использование фитобиотиков в кормлении кроликов. Ряд научных исследований посвящен использованию фитобиотических кормовых добавок в кормлении кроликов. В частности, введение в состав комбикормов экстракта ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla* L.) оказывало стимулирующий эффект на процессы метаболизма в организме кроликов, интенсифицируя окислительно-восстановительные процессы в период роста и повышая продуктивность. В крови кроликов, получавших экстракт ромашки, было зафиксировано увеличение гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов, что указывало на стимулирование эритропоэза и лейкопоэза при скармливании фитобиотика. В результате контрольного убоя было установлено, что кролики опытных групп обладали наивысшими показателями мясной продуктивности (убойная масса и убойный выход). При этом наилучшие результаты были отмечены при скармливании добавки в количестве 1 г/гол/сут. [52, 53].

Использование при откорме кроликов экстракта листьев орегано (*Origanum vulgare* L.) способствовало повышению живой массы кроликов, среднесуточных приростов и улучшению конверсии корма, усвояемости питательных веществ корма, снижению

концентрации аммиака в кале, уровня холестерина, мочевины и креатинина, активности ферментов глутаминовой щавелевоуксусной трансаминазы и глутаминовой пировиноградной трансаминазы в сыворотке крови, снижению содержания жира в тушках [54].

Скармливание выращиваемым кроликам добавки, приготовленной из ацеролы (*Malpighia emarginata*), позволило повысить живую массу кроликов в конце выращивания, суточное потребление корма положительно влияло на мясные качества, а также повышало антиоксидантную активность организма кроликов (преимущественно самок) [55].

Использование в кормлении кроликов экстракта цельного граната (*Punica granatum*), в состав которого включены флавоноиды (сиринговая, ванилиновая и кофейная кислоты), а также эйкозапентаеновая жирная кислота, способствовало повышению живой массы кроликов в конце опыта, увеличению концентрации гемоглобина в крови, холестерина, липопротеинов высокой плотности в сыворотке крови, повышению активности супероксиддисмутазы и общей антиоксидантной активности. Кроме того, у кроликов опытных групп была усилена экспрессия генов антиоксидантной глутатионпероксидазы и антиапоптотической В-клеточной лимфомы 2 [56].

Изучено действие фитогенной добавки, приготовленной на основе полисахаридов бурых водорослей, фенольной кислоты, гидроксикоричных кислот, дубильных веществ и флавоноидов из растительных экстрактов, на качество получаемой от кроликов спермы. Применение добавки не оказало видимого негативного воздействия на организм кроликов и способствовало усилению антиоксидантной способности семенной плазмы. Полученные результаты подчеркивают положительный эффект стратегии скармливания фитобиотических добавок для противодействия окислительному стрессу на фермах с интенсивным выращиванием кроликов [57].

Использование фитобиотиков в кормлении лошадей. Применение фитобиотиков практикуется, в том числе, в кормлении лошадей. Одно из исследований посвящено оценке влияния скармливания экстракта эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) молодняку лошадей орловской рысистой породы как отдельно, так и в сочетании с микроэлементами. При использовании изучаемых добавок в совокупности было установлено значительное повышение среднесуточного прироста (на 64,3%) по сравнению с контрольной группой, абсолютного прироста на 64,5%, а также значений промеров: высоты в холке – на 3,5%, косо́й длины туловища – на 4,6%, обхвата груди – на 2,2%, обхвата пясти – на 3,0% [58].

В кормлении чистокровных скаковых лошадей было изучено действие экстракта виноградных косточек. Скармливание добавки не оказывало влияния на потребление корма и воды, клинические показатели состояния лошадей, однако обладало воздействием на функциональные процессы в толстом отделе кишечника. В частности, было установлено снижение кислотности кала. Кроме того, в сыворотке крови отмечено снижение концентрации глюкозы. Сделано предположение о способности добавки оказывать положительное воздействие, предупреждающее развитие ацидоза в организме лошадей [59].

В кормлении спортивных лошадей доказан положительный эффект скармливания экстракта имбиря аптечного (*Zingiber officinale*), способствующего восстановлению организма лошади после интенсивной работы. Продемонстрировано, что экстракты чеснока (*Allium sativum*), женьшеня (*Panax ginseng*), примулы (*Primula vulgaris*) и шиповника (*Rosa canina*) усиливают антиоксидантную активность организма лошадей, предупреждая возникновение заболеваний, связанных с окислительным стрессом. Добавки на основе солодки (*Glycyrrhiza glabra*) и алоэ вера (*Aloe vera*) в кормлении чистокровных скаковых лошадей обеспечивают профилактику от развития язвы желудка. Экстракты эхинацеи стимулируют иммунитет лошадей. Добавки на основе растения «Дьявольский коготь» (*Harpagophytum procumbens*)

ограничивают потребление корма лошадьми, предотвращая появление проблем, связанных с ожирением. Использование в кормлении лошадей экстракта льна (*Linum usitatissimum*), включающего в свой состав большое количество омега-3 жирных кислот, способствует поддержанию нормального состояния кожи и шерсти [60].

Выводы

На основании проведенного обзора научной литературы следует сделать вывод о том, что использование фитобиотиков в кормлении моногастричных животных является актуальным способом повышения продуктивности животных и может исключить необходимость применения антибиотиков.

Ассортимент используемых фитобиотиков характеризуется широким диапазоном ключевых компонентов добавок. К их числу относятся древесина деревьев (дуб, каштан), плоды растений (рябина, гранат), дикорастущие травы (одуванчик, крапива, ромашка), корнеклубнеплоды (топинамбур, имбирь), хвоя (пихта), семена, листья и другие части растений. При этом компоненты отличаются различными действующими веществами – такими, как фенольные соединения (коричные кислоты, танины, антоцианы, флавоноиды, катехины), органические кислоты, витамины и минеральные вещества, гликозиды и гликопротеины, полисахариды. Разнообразие активных компонентов определяет множество функциональных свойств фитодобавок, а их комплексное применение обуславливает синергетический эффект.

Использование фитобиотиков практикуется в кормлении различных моногастричных животных (кроликов, лошадей), но в большей степени – в свиноводстве и птицеводстве, поскольку эти отрасли характеризуются как наиболее интенсивные направления животноводства, имеющие промышленные масштабы, а объемы производимой и потребляемой продукции этих отраслей: свинины, мяса птицы, яиц – преобладают на рынке продуктов животного происхождения.

Положительное действие фитобиотиков заключается в повышении продуктивности животных, воспроизводительной способности, улучшении качественных показателей продукции, стабилизации микробного состава среды кишечника, в положительном влиянии на морфометрические показатели кишечника, повышении антиоксидантной активности, улучшении экстерьера животных.

Библиографический список

1. Некрасов Р.В., Головин А.В., Махаев Е.А. и др. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: Посвящается 100-летию со дня рождения академика Алексея Петровича Калашникова (1918–2010) / Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста; Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. – Москва: Российская академия наук, 2018. – 290 с.
2. Фисинин В.И. Создание высокопродуктивных пород и кроссов животных и птицы // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 4. – С. 333–336.
3. Оборин М. Повышение эффективности производства продукции в сельском хозяйстве на основе инноваций // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 1 (140). – С. 57–67.
4. Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Чумаков В.Г. и др. Инновационные подходы к использованию кормов и добавок в животноводстве: М. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. – 190 с.
5. Дускаев Г.К., Власенко Л.В., Косян Д.Б., Курилкина М.Я. Влияние малых молекул растительного происхождения на микробное разнообразие слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров // Птицеводство. – 2023. – № 4. – С. 46–51.

6. *Кочиш И.И., Мясникова О.В., Никонов И.Н., Худяков А.А.* От науки к практике: рациональный подход к контролю микрофлоры кишечника птицы // *Птицеводство*. – 2023. – № 1. – С. 39–42.
7. *Дубровин А.В., Ильина Л.А., Пономарева Е.С. и др.* Проблема устойчивости микроорганизмов в птицеводстве: Обзор // *Птицеводство*. – 2023. – № 2. – С. 31–36.
8. *Молоканова О.В., Куркин В.Н., Хошафян Л.С., Дорофеева С.Г.* Альтернативное решение по снижению применения в птицеводстве антибактериальных препаратов за счет коррекции микробиоты кишечника птицы // *Птицеводство*. – 2023. – № 3. – С. 29–32.
9. *Дускаев Г.К., Климова Т.А.* Фитохимические вещества в кормлении сельскохозяйственной птицы: перспективы использования: Обзор // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2022. – Т. 105, № 3. – С. 137–152.
10. *Цугжиев Б.Г., Кабисов Р.Г., Хозиев А.М. и др.* Микробиота разных отделов желудочно-кишечного тракта поросят в послеотъемный период // *Известия Горского государственного аграрного университета*. – 2022. – Т. 59–3. – С. 169–177.
11. *Йылдырым Е.А., Бражник Е.А., Ильина Л.А. и др.* Современные биотехнологии в кормлении птицы // *Птицеводство*. – 2019. – № 5. – С. 19–24.
12. *Воробьев Н.И., Егоров И.А., Кочиш И.И. и др.* Биосистемная самоорганизация и фрактальная структура частотно-таксономических профилей микробиоты кишечника бройлеров под влиянием кормовых пробиотиков // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56, № 2. – С. 400–410.
13. *Кочиш И.И., Мясникова О.В., Мартынов В.В., Смоленский В.И.* Микрофлора кишечника кур и экспрессия связанных с иммунитетом генов под влиянием пробиотической и пребиотической кормовых добавок // *Сельскохозяйственная биология*. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 315–327.
14. *Орлова Т.Н.* Нормализация кишечной микрофлоры цыплят-бройлеров при введении в их рацион пробиотика // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 11 (193). – С. 75–79.
15. *Тарас А.М., Полещук В.Н., Сычева И.Н. и др.* Влияние кормового пробиотика на яичную продуктивность кур-несушек кросса «Декалб белый» // *Птицеводство*. – 2022. – № 4. – С. 31–36.
16. *Новикова С., Желобицкая Е.* Улучшить рост свиней и птицы? – Подавить патогенную микрофлору! // *Комбикорма*. – 2021. – № 3. – С. 73–74.
17. *Кочиш И.И., Элькоми Х.С., Мясникова О.В., Брылин А.П.* Влияние пребиотика на основе бутирата на микрофлору кишечника и экспрессию генов резистентности у кур-несушек кросса Ломанн Браун // *Птицеводство*. – 2022. – № 3. – С. 49–54.
18. *Меднова В.В., Ляшук А.Р., Буяров В.С.* Использование фитобиотиков в животноводстве: Обзор // *Биология в сельском хозяйстве*. – 2021. – № 1 (30). – С. 11–16.
19. *Шацких Е.В., Королькова-Субботкина Д.Е., Кравцова Л.З.* Влияние кормовых добавок ГербаСтор и ПроСтор на химический состав мяса цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. – 2021. – № 11. – С. 28–32.
20. *Шацких Е.В., Королькова-Субботкина Д.Е.* Состояние органов иммунитета у цыплят-бройлеров при включении в их рацион синбиотической кормовой добавки // *Птицеводство*. – 2022. – № 5. – С. 43–47.
21. *Ленкова Т.Н., Егорова Т.А., Уварова А.С.* Редактируя микробиоту кишечника – повышаем продуктивность птицы // *Птицеводство*. – 2021. – № 11. – С. 22–26.
22. *Багно О.А., Прохоров О.Н., Шевченко С.А. и др.* Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных // *Сельскохозяйственная биология*. – 2018. – Т. 53, № 4. – С. 687–697.

23. *Рязанов В.А., Курилкина М.Я., Дускаев Г.К., Габидулин В.М.* Фитобиотики как альтернатива антибиотикам в животноводстве // *Животноводство и кормопроизводство.* – 2021. – Т. 104, № 4. – С. 108–123.
24. *Багно О.А., Шевченко С.А., Шевченко А.И. и др.* Эффективность использования экстракта крапивы двудомной при выращивании цыплят-бройлеров // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2022. – № 1 (62). – С. 97–109.
25. *Кишняйкина Е.А., Жучаев К.В., Багно О.А. и др.* Влияние экстракта чабреца на качественные показатели мяса цыплят-бройлеров // *Инновации и продовольственная безопасность.* – 2019. – № 2 (24). – С. 25–31.
26. *Кишняйкина Е.А., Жучаев К.В.* Влияние экстракта чабреца на продуктивные качества и сохранность цыплят-бройлеров кросса ISA F-15 // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2018. – № 4 (49). – С. 74–80.
27. *Демидова Е.С., Егоров И.А., Андрианова Е.Н. и др.* Мицеллированный куркумин в кормлении цыплят-бройлеров // *Птицеводство.* – 2022. – № 3. – С. 17–21.
28. *Набиуллин А.* Натуральное решение проблем с помощью танинов // *Комбикорма.* – 2019. – № 7–8. – С. 56–59.
29. *Серякова А.А., Панов В.П., Просекова Е.А. и др.* Влияние препаратов на основе эллаготанинов сладкого каштана на состав микрофлоры кишечника цыплят-бройлеров // *Птицеводство.* – 2021. – № 10. – С. 14–19.
30. *Корнилова В.А., Муртазаева Р.Н., Варакин А.Т., Саломатин В.В.* Фитобиотик Сангровит в рационах цыплят-бройлеров // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство.* – 2019. – № 6. – С. 3–7.
31. *Казачкова Н.М., Нотова С.В., Дускаев Г.К. и др.* Влияние экстракта *Quercus cortex* на биохимические показатели крови цыплят-бройлеров // *Вестник мясного скотоводства.* – 2017. – № 4 (100). – С. 213–218.
32. *Саломатин В.В., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Ряднова Ю.А.* Влияние биоактивной добавки на основе экстракта пихты на морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров // *Птицеводство.* – 2022. – № 1. – С. 25–29.
33. *Багно О.А.* Эффективность использования экстракта рябины обыкновенной в кормлении кур-несушек // *Птицеводство.* – 2022. – № 4. – С. 11–15.
34. *Багно О.А.* Экстракт топинамбура в кормлении кур-несушек // *Птица и птицепродукты.* – 2022. – № 2. – С. 37–40.
35. *Шевченко С.А., Багно О.А., Шевченко А.И., Прохоров О.Н.* Эффективность использования экстракта эхинацеи пурпурной в кормлении кур-несушек // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* – 2022. – № 4 (210). – С. 84–90.
36. *Багно О.А., Шевченко С.А., Шевченко А.И. и др.* Характеристика яичной продуктивности и морфологических показателей крови кур-несушек при скармливании горчицы сарептской // *Достижения науки и техники АПК.* – 2022. – Т. 36, № 6. – С. 66–70.
37. *Шацких Е.В., Несват Е.Г., Дегтярева Е.В., Латыпова Е.Н.* Развитие внутренних органов кур-несушек при включении в рацион фитобиотиков // *Птицеводство.* – 2022. – № 6. – С. 48–53.
38. *Шацких Е.В., Латыпова Е.Н.* Влияние фитобиотиков на сохранность поголовья и морфогистологическое состояние селезенки кур // *Вестник аграрной науки.* – 2022. – № 5 (98). – С. 70–76.
39. *Загородняя А.Е., Столяров В.А.* Возрастная динамика показателей крови индеек при применении хвойной энергетической добавки // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана.* – 2018. – № 1. – С. 53–55.
40. *Damaziak K., Stelmasiak A., Konieczka P. et al.* Water extract of yarrow (*Achillea millefolium* L.) leaf improves production parameters, tissue antioxidant status

- and intestinal microbiota activity in turkeys // *Animal Feed Science and Technology*. – 2022. – Vol. 288. – P. 115309.
41. Цзю Е.С., Султанаева Л.З., Балджи Ю.А. Влияние кормовой полифункциональной биодобавки на продуктивность перепелов // *Птица и птицепродукты*. – 2022. – № 1. – С. 49–51.
42. Ao X., Kim I.H. Effects of grape seed extract on performance, immunity, antioxidant capacity, and meat quality in Pekin ducks // *Poultry Science*. – 2020. – Vol. 99, № 4. – Pp. 2078–2086.
43. Abouelezz K., Abou-Hadied M., Yuan J. et al. Nutritional impacts of dietary oregano and Enviva essential oils on the performance, gut microbiota and blood biochemicals of growing ducks // *Animal*. – 2019. – Vol. 13, № 10. – Pp. 2216–2222.
44. Хазиев Д.Д. Фитобиотическая добавка в комбикорме для гусят // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. – 2013. – № 3 (27). – С. 79–81.
45. Рассолов С.Н., Пуряев А.В. Использование различных доз фармсустанции эхинацеи пурпурной при выращивании молодняка свиней на откорме // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 10 (180). – С. 123–127.
46. Meng Xu, Xiaoling Chen, Zhiqing Huang et al. Effects of dietary grape seed proanthocyanidin extract supplementation on meat quality, muscle fiber characteristics and antioxidant capacity of finishing pigs // *Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 367. – P. 130781.
47. Long Shenfei, Liu Sujie, Wang Jian et al. Natural capsicum extract replacing chlortetracycline enhances performance via improving digestive enzyme activities, antioxidant capacity, anti-inflammatory function, and gut health in weaned pigs // *Animal Nutrition*. – 2021. – Vol. 7, № 2. – Pp. 305–314.
48. Samolińska W., Grela E.R., Kowalczyk-Vasilev E. et al. Evaluation of garlic and dandelion supplementation on the growth performance, carcass traits, and fatty acid composition of growing-finishing pigs // *Animal Feed Science and Technology*. – 2020. – Vol. 259. – P. 114316.
49. Caprarulo V., Giromini C., Rossi Review L. Chestnut and quebracho tannins in pig nutrition: the effects on performance and intestinal health // *Animal*. – 2021. – Vol. 15, № 1. – P. 100064.
50. Белооков А.А., Белоокова О.В., Чухутин Е.В., Горелик О.В. Применение фитобиотиков в свиноводстве // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. – 2021. – № 11 (196). – С. 50–56.
51. Белооков А.А., Белоокова О.В., Чухутин Е.В. Влияние кормовых добавок на воспроизводительные качества свиноматок // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. – 2022. – № 2 (199). – С. 3–9.
52. Ворошилин Р.А., Рассолов С.Н., Ульрих Е.В., Курбанова М.Г. Оценка воздействия экстрактов ромашки аптечной на комплекс хозяйственно-полезных качеств мяса кроликов // *Техника и технология пищевых производств*. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 643–651.
53. Рассолов С.Н., Ворошилин Р.А. Использование экстракта ромашки при выращивании молодняка кроликов // *Достижения науки и техники АПК*. – 2018. – Т. 32, № 12. – С. 57–58.
54. Ahmed A.A. Abdel-Wareth, Kehraus Saskia, Südekum Karl-Heinz. Evaluation of oregano leaves and plant bioactive lipid compounds as feed additives for growing rabbits: Effects on performance, nutrient digestibility, serum metabolic profile and carcass traits // *Animal Feed Science and Technology*. – 2022. – Vol. 284. – P. 115208.
55. Tavares L.M.S., Watanabe P.H., Gomes T.R. et al. Effects of acerola (*Malpighia emarginata*) by-product on performance, carcass traits, antioxidant activity, and meat quality of growing rabbits // *Animal Feed Science and Technology*. – 2022. – Vol. 293. – P. 115479.

56. *Imbabi Tharwat A., Omar Ahmed-Farid, Dina A., Selim Islam I.* Sabeq Antioxidant and anti-apoptotic potential of whole-pomegranate extract promoted growth performance, physiological homeostasis, and meat quality of V-line rabbits under hot summer conditions // *Animal Feed Science and Technology*. – 2021. – Vol. 276. – P. 114911.

57. *Vizzari Francesco, Massányi Martin, Knižatová Nikola et al.* Effects of dietary plant polyphenols and seaweed extract mixture on male- rabbit semen: Quality traits and antioxidant markers // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2021. – Vol. 28, № 1. – Pp. 1017–1025.

58. *Багно О.А., Шевченко С.А., Шевченко А.И., Дядичкина Т.В.* Влияние фитобиотической кормовой добавки из эхинацеи пурпурной и препарата седимина на рост и развитие молодняка лошадей // *Достижения науки и техники АПК*. – 2018. – Т. 32, № 8. – С. 62–65.

59. *Davies J.A., Krebs G.L., Barnes A. et al.* Feeding grape seed extract to horses: effects on health, intake and digestion // *Animal*. – 2009. – Vol. 3, № 3. – Pp. 380–384.

60. *Mona M.M.Y. Elghandour, Poonooru Ravi Kanth Reddy, Abdelfattah Z.M. Salem et al.* Plant Bioactives and Extracts as Feed Additives in Horse Nutrition // *Journal of Equine Veterinary Science*. – 2018. – Vol. 69. – Pp. 66–77.

USE OF PHYTOBIOTICS IN FEEDING MONOGASTRIC ANIMALS (REVIEW)

V.I. TRUKHACHEV, M.I. SELIONOVA, A.YU. ZAGARIN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The negative consequences of the irrational use of feed antibiotics in animal husbandry, consisting in the spread of resistance of pathogens to their action, determine the relevance of the search for and introduction of alternative stabilisers of the intestinal microbiota of animals in the feed industry. These include phytobiotics – plant preparations that help improve animal productivity and health. The paper presents a review of national and foreign scientific literature on the use of phytogenic feed additives in the feeding of monogastric animals. Specific cases of the use of phytogenic feed additives in the feeding of poultry (broilers, laying hens, turkeys, ducks, quails, geese), pigs, rabbits and horses of different age and sex groups are considered. The results of the effect of phytobiotics on zootechnical indicators of farm animal growth, blood morphology, intestinal microbiota, biochemical characteristics of meat, eggs and other products are presented. Growth stimulating, antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory and other beneficial properties of phytobiotics prepared from various plant components are described. On the basis of the review, conclusions are drawn on the wide range of plant raw materials used as phytobiotics, the main biologically active compounds that determine the functional properties of the studied preparations, the scope of use of phytobiotics in the feeding of various monogastric animals, and the nature of the effect of additives on economic and biological characteristics of animals.

Key words: *phytobiotics, animal husbandry, poultry, pigs, rabbits, horses, plant extracts, animal nutrition.*

References

1. *Nekrasov R.V., Golovin A.V., Makhaev E.A.* Nutrient requirements of dairy cattle and pigs: Dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician Aleksey Petrovich Kalashnikov (1918–2010). M.: Rossiyskaya akademiya nauk, 2018: 290. (In Rus.)

2. *Fisinin V.I.* Developing highly productive breeds and crosses of animals and poultry. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017; 87; 4: 333–336. (In Rus.)

3. *Oborin M.S.* Improving the efficiency of agricultural production based on innovations. *Vestnik NGIEL*. 2023; 1(140): 57–67. (In Rus.)
4. *Mikolajchik I.N., Morozova L.A., Chumakov V.G. et al.* Innovative approaches to the use of feeds and additives in livestock production. Kurgan: Kurganskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya im. T.S. Mal'tseva, 2020: 190. (In Rus.)
5. *Duskaev G.K., Vlasenko L.V., Kosyan D.B., Kurilkina M.Ya.* Effect of plant-derived small molecules on microbial diversity in the blind intestine of broiler chickens. *Ptitsevodstvo*. 2023; 4: 46–51. (In Rus.)
6. *Kochish I.I., Myasnikova O.V., Nikonov I.N., Khudyakov A.A.* From science to practice: a rational approach to the control of poultry gut microflora. *Ptitsevodstvo*. 2023; 1: 39–42. (In Rus.)
7. *Dubrovin A.V., Il'ina L.A., Ponomareva E.S. et al.* Problem of microbial resistance in poultry production: a review. *Ptitsevodstvo*. 2023; 2: 31–36. (In Rus.)
8. *Molokanova O.V., Kurkin V.N., Khoshafyan L.S., Dorofeeva S.G.* An alternative solution to reduce the use of antibacterial drugs in poultry production by correcting the intestinal microbiota of poultry. *Ptitsevodstvo*. 2023; 3: 29–32. (In Rus.)
9. *Duskaev G.K., Klimova T.A.* Phytochemicals in poultry feeding: prospects for use (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022; 105; 3: 137–152. (In Rus.)
10. *Tsugkiev B.G., Kabisov R.G., Khoziev A.M. et al.* Microbiota of different parts of the gastrointestinal tract of piglets in the postweaning period. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2022; 59–3: 169–177. (In Rus.)
11. *Ilydyrym E.A., Brazhnik E.A., Il'ina L.A. et al.* Modern biotechnology in poultry nutrition. *Ptitsevodstvo*. 2019; 5: 19–24. (In Rus.)
12. *Vorob'ev N.I., Egorov I.A., Kochish I.I. et al.* Biosystem self-organisation and fractal structure of frequency-taxonomic profiles of broiler intestinal microbiota under the influence of feed probiotics. *Agricultural Biology*. 2021; 56; 2: 400–410. (In Rus.)
13. *Kochish I.I., Myasnikova O.V., Martynov V.V., Smolenskiy V.I.* Chick intestinal microflora and expression of immunity-related genes as influenced by probiotic and prebiotic feed additives. *Agricultural Biology*. 2020; 55; 2: 315–327. (In Rus.)
14. *Orlova T.N.* Normalisation of intestinal microflora of broiler chickens when a probiotic is introduced into their diet. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 11(193): 75–79. (In Rus.)
15. *Taras A.M., Poleshchuk V.N., Sycheva I.N. et al.* Effect of feed probiotic on egg production of laying hens of the cross “Dekalb beliy”. *Ptitsevodstvo*. 2022; 4: 31–36. (In Rus.)
16. *Novikova S., Zhelobitskaya E.* Improve the growth of pigs and poultry? It will mean to suppress pathogenic microflora! *Kombikorma*. 2021; 3: 73–74. (In Rus.)
17. *Kochish I.I., El'komi Kh.S., Myasnikova O.V., Brylin A.P.* Effect of butyrate-based prebiotic on gut microflora and expression of resistance genes in Lohmann Brown laying hens. *Ptitsevodstvo*. 2022; 3: 49–54. (In Rus.)
18. *Mednova V.V., Lyashuk A.R., Buyarov V.S.* Use of phytobiotics in livestock production (review). *Biologiya v sel'skom khozyaystve*. 2021; 1(30): 11–16. (In Rus.)
19. *Shackih E.V., Korol'kova-Subbotkina D.E., Kravtsova L.Z.* Effect of feed additives GerbaStor and ProStor on the chemical composition of broiler chicken meat. *Ptitsevodstvo*. 2021; 11: 28–32. (In Rus.)
20. *Shackih E.V., Korol'kova-Subbotkina D.E.* Condition of immunity organs in broiler chickens at inclusion of synbiotic feed additive in their diet. *Ptitsevodstvo*. 2022; 5: 43–47. (In Rus.)
21. *Lenkova T.N., Egorova T.A., Uvarova A.S.* Editing the gut microbiota increases poultry productivity. *Ptitsevodstvo*. 2021; 11: 22–26. (In Rus.)

22. *Bagno O.A., Prokhorov O.N., Shevchenko S.A. et al.* Phytobiotics in the feeding of farm animals. *Agricultural Biology*. 2018; 53; 4: 687–697. (In Rus.)
23. *Ryazanov V.A., Kurilkina M.Ya., Duskaev G.K., Gabidulin V.M.* Phytobiotics as an alternative to antibiotics in animal husbandry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021; 104; 4: 108–123. (In Rus.)
24. *Bagno O.A., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I. et al.* Effectiveness of the use of nettle extract of dicotyledonous nettle in growing broiler chickens. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; 1(62): 97–109. (In Rus.)
25. *Kishnyaykina E.A., Zhuchaev K.V., Bagno O.A. et al.* Effect of thyme extract on quality indicators of broiler chicken meat. *Innovations and Food Safety*. 2019; 2(24): 25–31. (In Rus.)
26. *Kishnyaykina E.A., Zhuchaev K.V.* Effect of thyme extract on productive qualities and safety of broiler chickens of ISA F-15 cross. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2018; 4(49): 74–80. (In Rus.)
27. *Demidova E.S., Egorov I.A., Andrianova E.N. et al.* Mycellated curcumin in broiler chicken feeding. *Ptitsevodstvo*. 2022; 3: 17–21. (In Rus.)
28. *Nabiullin A.* Natural solution to problems with tannins. *Kombikorma*. 2019; 7–8: 56–59. (In Rus.)
29. *Seryakova A.A., Panov V.P., Prosekova E.A. et al.* Effect of preparations based on ellagotannins of sweet chestnut on the composition of intestinal microflora of broiler chickens. *Ptitsevodstvo*. 2021; 10: 14–19. (In Rus.)
30. *Kornilova V.A., Murtazaeva R.N., Varakin A.T., Salomatin V.V.* Fitobiotik Phyto-biotic Sangrovit in broiler chicken diets. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2019; 6: 3–7. (In Rus.)
31. *Kazachkova N.M., Notova S.V., Duskaev G.K. et al.* Effect of *Quercus cortex* extract on blood biochemical parameters of broiler chickens. *Vestnik myasnogo skotovodstva*. 2017; 4(100): 213–218. (In Rus.)
32. *Salomatin V.V., Ryadnov A.A., Ryadnova T.A., Ryadnova Yu.A.* Effect of bioactive additive based on fir extract on morphological and biochemical parameters of broiler chickens blood. *Ptitsevodstvo*. 2022; 1: 25–29. (In Rus.)
33. *Bagno O.A.* Effectiveness of using the extract of common mountain ash in feeding laying hens. *Ptitsevodstvo*. 2022; 4: 11–15. (In Rus.)
34. *Bagno O.A.* Topinambour extract in the feeding of laying hens. *Ptitsa i ptitseprodukty*. 2022; 2: 37–40. (In Rus.)
35. *Shevchenko S.A., Bagno O.A., Shevchenko A.I., Prokhorov O.N.* Effectiveness of *Echinacea purpurea* extract in feeding laying hens. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 4(210): 84–90. (In Rus.)
36. *Bagno O.A., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I. et al.* Characteristics of egg production and morphological blood parameters of laying hens when fed sareptskaya mustard. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2022; 36; 6: 66–70. (In Rus.)
37. *Shatskikh E.V., Nesvat E.G., Degtyareva E.V., Latypova E.N.* Development of internal organs of laying hens when phytobiotics are included in the diet. *Ptitsevodstvo*. 2022; 6: 48–53. (In Rus.)
38. *Shatskikh E.V., Latypova E.N.* Effect of phytobiotics on the safety of livestock and morphohistological state of the spleen of chickens. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022; 5(98): 70–76. (In Rus.)
39. *Zagorodnyaya A.E., Stolyarov V.A.* Age dynamics of blood indices of turkeys at application of coniferous energy additive. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2018; 1: 53–55. (In Rus.)

40. *Damaziak K., Stelmasiak A., Konieczka P. et al.* Water extract of yarrow (*Achillea millefolium* L.) leaf improves production parameters, tissue antioxidant status and intestinal microbiota activity in turkeys. *Animal Feed Science and Technology*. 2022; 288: 115309.
41. *Tszyu E.S., Sultanaeva L.Z., Baldzhi Yu.A.* Effect of feed polyfunctional bioadditive on quail productivity. *Ptitsa i ptitseproduktu*. 2022; 1: 49–51. (In Rus.)
42. *Ao X, Kim I.H.* Effects of grape seed extract on performance, immunity, antioxidant capacity, and meat quality in Pekin ducks. *Poultry Science*. 2020; 99; 4: 2078–2086.
43. *Abouelezz K., Abou-Hadied M., Yuan J. et al.* Nutritional impacts of dietary oregano and Enviva essential oils on the performance, gut microbiota and blood biochemicals of growing ducks. *Animal*. 2019; 13; 10: 2216–2222.
44. *Khaziev D.D.* Phytobiotic additive in compound feed for goslings. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2013; 3(27): 79–81. (In Rus.)
45. *Rassolov S.N., Puryaev A.V.* Use of different doses of *Echinacea purpurea* pharmaceutical substance in growing young fattening pigs. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; 10(180): 123–127. (In Rus.)
46. *Meng Xu, Xiaoling Chen, Zhiqing Huang et al.* Effects of dietary grape seed proanthocyanidin extract supplementation on meat quality, muscle fiber characteristics and antioxidant capacity of finishing pigs. *Food Chemistry*. 2022; 367: 130781.
47. *Shenfei Long, Sujie Liu, Jian Wang et al.* Natural capsicum extract replacing chlortetracycline enhances performance via improving digestive enzyme activities, antioxidant capacity, anti-inflammatory function, and gut health in weaned pigs. *Animal Nutrition*. 2021; 7; 2: 305–314.
48. *Samolińska W., Grela E.R., Kowalczyk-Vasilev E. et al.* Evaluation of garlic and dandelion supplementation on the growth performance, carcass traits, and fatty acid composition of growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 259: 114316.
49. *Caprarulo V., Giromini C., Rossi L.* Review: Chestnut and quebracho tannins in pig nutrition: the effects on performance and intestinal health. *Animal*. 2021; 15; 1: 100064.
50. *Belookov A.A., Belookova O.V., Chukhutin E.V., Gorelik O.V.* Use of phytobiotics in pig production. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhyvotnykh i kormoproizvodstvo*. 2021; 11(196): 50–56. (In Rus.)
51. *Belookov A.A., Belookova O.V., Chukhutin E.V.* Effect of feed additives on reproductive performance of sows. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhyvotnykh i kormoproizvodstvo*. 2022; 2(199): 3–9. (In Rus.)
52. *Voroshilin R.A., Rassolov S.N., Ul'rikh E.V., Kurbanova M.G.* Evaluation of the effect of extracts of chamomile apothecary on the complex of economically useful qualities of rabbit meat. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019; 49; 4: 643–651. (In Rus.)
53. *Rassolov S.N., Voroshilin R.A.* Use of chamomile extract in growing young rabbits. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018; 32; 12: 57–58. (In Rus.)
54. *Ahmed A.A. Abdel-Wareth, Saskia Kehraus, Karl-Heinz Südekum* Evaluation of oregano leaves and plant bioactive lipid compounds as feed additives for growing rabbits: Effects on performance, nutrient digestibility, serum metabolic profile and carcass traits. *Animal Feed Science and Technology*. 2022; 284: 115208.
55. *Tavares L.M.S., Watanabe P.H., Gomes T.R. et al.* Effects of acerola (*Malpighia emarginata*) by-product on performance, carcass traits, antioxidant activity, and meat quality of growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*. 2022; 293: 115479.

56. *Tharwat A. Imbabi, Omar Ahmed-Farid, Dina A. Selim, Islam I. Sabeq* Antioxidant and anti-apoptotic potential of whole-pomegranate extract promoted growth performance, physiological homeostasis, and meat quality of V-line rabbits under hot summer conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 2021; 276: 114911.

57. *Francesco Vizzari, Martin Massányi, Nikola Knížatová et al.* Effects of dietary plant polyphenols and seaweed extract mixture on male-rabbit semen: Quality traits and antioxidant markers. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021; 28; 1: 1017–1025.

58. *Bagno O.A., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I., Dyadichkina T.V.* Effect of phyto-biotic feed additive from *Echinacea purpurea* and sedimine preparation on growth and development of young horses. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018; 32; 8: 62–65. (In Rus.)

59. *Davies J.A., Krebs G.L., Barnes A. et al.* Feeding grape seed extract to horses: effects on health, intake and digestion. *Animal*. 2009; 3; 3: 380–384.

60. *Mona M.M.Y. Elghandour, Poonooru Ravi Kanth Reddy, Abdelfattah Z.M. Salem et al.* Plant Bioactives and Extracts as Feed Additives in Horse Nutrition. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2018; 69: 66–77.

Трухачев Владимир Иванович, ректор, д-р с.-х. наук, профессор, д-р экон. наук, профессор, академик РАН, профессор кафедры кормления животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: rector@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–12–96

Селионова Марина Ивановна, д-р биол. наук, профессор РАН, заведующий кафедрой разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: selionova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–34–34

Загарин Артем Юрьевич, аспирант, ассистент кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: azagarin@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–34–34

Vladimir I. Trukhachev, DSc (Ag), Professor, DSc (Ec), Professor, RAS Academician (Full Member), Rector, Professor of the Department of Animal Feeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–12–96; E-mail: rector@rgau-msha.ru)

Marina I. Selionova, DSc (Bio), RAS Professor, Head of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–34–34; E-mail: selionova@rgau-msha.ru)

Artem Yu. Zagarin, post-graduate student, Assistant of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–34–34; E-mail: azagarin@rgau-msha.ru)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЫНКА
ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Т.В. БИРЮКОВА, Т.М. ВОРОЖЕЙКИНА, Е.В. ЭНКИНА,
Т.И. АШМАРИНА, Н.А. ЯГУДАЕВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Совершенствование маркетинговой деятельности на рынке органической продукции в сложившихся условиях, несомненно, является значимым аспектом его развития, способствующего формированию новых рыночных подходов ведения деятельности. В настоящее время для большинства потребителей органическая продукция и фермерская продукция являются взаимозаменяемыми понятиями, что в свою очередь свидетельствует об отсутствии сформированных констант восприятия потребителем термина «органическая продукция» и существенным препятствием развития спроса в данном сегменте. С другой стороны, стратегически важным является изучение потребностей потребителей как важного этапа формирования ассортимента предлагаемой на рынке продукции с высокой добавленной стоимостью, и как следствие – основой развития конкурентоспособного сегмента органической продукции. Все вышеперечисленное подразумевает поиск новых маркетинговых подходов и стратегических решений, позволяющих достичь намеченных целей.

Цель исследований заключается в поиске актуальных для формирования и развития рынка органической продукции направлений совершенствования маркетинговой деятельности на основе синергии концептуальных подходов в маркетинге, позволяющих сформировать ответственное потребление и стойкий интерес к органической продукции. Исходя из цели основными задачами исследований являются: определение основных принципов развития рынка органической продукции; формирование системы маркетинговых показателей исследования и оценки потенциала развития исследуемого рынка; выявление основных направлений развития маркетинговой деятельности. Результаты работы позволили сформулировать подходы к исследованию и оценке маркетингового потенциала рынка, а также рекомендации по созданию информационной системы как основы стратегического развития всего рынка органической продукции в целом.

Ключевые слова: органическое сельское хозяйство, стратегическое планирование деятельности, маркетинговые стратегии.

Введение

На современном этапе формирования экономических отношений стратегически важным аспектом является развитие вектора органического сельского хозяйства, принципы ведения которого соответствуют концепции устойчивого развития, принятой резолюцией Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций до 2030 г. Несмотря на относительно небольшие объемы производства органической

продукции, Россия, несомненно, может стать лидером в области производства ряда экологически чистых продуктов на мировом рынке.

В настоящее время ориентиром в этой деятельности выступает принятая Правительством Российской Федерации стратегия развития производства органической продукции до 2030 года. Основные задачи реализации стратегии предусматривают: как минимум, удвоение площадей, на которых применяется технология органического земледелия; увеличение объема производства органической продукции, в том числе с высокой добавленной стоимостью; увеличение объема потребления продукции на внутреннем рынке; развитие экспортного направления.

Таким образом, для раскрытия как экологического, так и экономического потенциала органического земледелия требуется значительно больше исследований, а также новые стратегические подходы, обеспечивающие его развитие. В таких условиях значимым является поиск маркетинговых решений деятельности для участников рынка с учетом глубокого анализа рыночных процессов на основе построения нового маркетингового подхода, основанного на актуальной и доступной маркетинговой информации. Однако в настоящее время несмотря на то, что рынок органических продуктов находится на стадии своего стремительного развития, большинство организаций, осуществляющих свою деятельность в данной сфере, не применяют стратегические подходы, ограничиваясь горизонтом планирования на среднесрочную и краткосрочную перспективу, что в свою очередь является главным барьером развития модели маркетинг-отношений с потребителем. При этом именно формирование спроса со стороны покупателей является основой развития производства. В таких условиях является значимым, несомненно, определение актуальных для формирования и развития рынка органической продукции направлений совершенствования маркетинговой деятельности на основе обобщения основных принципов маркетинга, позволяющих формировать ответственное потребление и стойкий интерес к органической продукции.

Аналитический обзор научных исследований позволил определить значимые научные разработки для решения поставленной цели. В частности, в работах А.П. Панкрухина, Н.В. Поляковой, Н.П. Ребровой, М.Э. Сейфулаевой, В.М. Тарасевича, О.В. Фирсановой, В.И. Черенкова обозначена необходимость развития концептуального подхода в маркетинге с учетом специфики рынка [13, 14, 21]. Приращение теории маркетинга относительно развития сектора органической продукции нашло свое отражение в работах зарубежных исследователей: К. Грунерта, Е. Стинкампа, М. Видела, М. Канавари и др. [24–27]. В работах российских специалистов специфика развития комплекса маркетинга на рынке органической продукции выделена в трудах Д.В. Горшкова, Б.С. Кошелева, А.А. Козлова и др. [9, 17]. Вместе с тем в работах авторов не получил должного отражения круг вопросов, касающихся развития потенциала внутреннего рынка с учетом исследований потребительских предпочтений целевых сегментов продукции с высокой добавленной стоимостью. Малоизученными являются и вопросы, касающиеся проработки методологических подходов исследования потенциала рынка с учетом этапа развития жизненного цикла отрасли. В свою очередь, это и предопределило цель наших исследований.

Материал и методы исследований

В настоящее время в качестве основных игроков на рынке органической продукции выступают производители средних и мелких форм организации сельскохозяйственного производства, что в свою очередь обуславливает ряд сложностей

относительно применения комплекса маркетинга на таких предприятиях. При достижении этой цели значимым является поиск нового концептуального подхода на основе синергии многоуровневых концепций, позволяющий в полной мере раскрыть потенциал рынка органической продукции в России, а также определить дальнейшие направления его развития.

Ориентация на новую маркетинговую модель должна происходить, по нашему мнению, с учетом концепций экологического маркетинга и маркетинг-взаимоотношений как драйверов развития модели маркетинг-отношений с потребителем на исследуемом рынке. Методологической основой исследований служили труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные развитию вышеперечисленных концептуальных походов в маркетинге, особое внимание в которых уделено факторам развития рынка органической продукции, вопросам приращения знаний в контексте разработки методологии и исследования объектов маркетинговой среды.

Наши исследования базируются на системно-структурном подходе, позволяющем дополнять существующие положения маркетинговых концепций с целью представления авторской версии развития маркетинговой деятельности на рынке органической продукции с учетом его потенциала. В частности, в научных работах зарубежных и российских ученых уже рассматривались теоретические аспекты стратегического планирования рынка органической продукции на основе взаимодействия концепций, однако в исследуемых подходах основная роль отводилась одной концепции, которой, как правило, выступала концепция экологического маркетинга как базовой компоненты построения модели развития рынка органической продукции [17, 23, 24].

В исследованиях сделан ориентир на основные принципы реализации концепции, ведь именно концепция экологического маркетинга позволяет сконцентрировать мнение целевой аудитории относительно чувства добросовестного потребления и тем самым выступать драйвером развития спроса на органическую продукцию. Этот базовый ориентир позволяет существенным образом трансформировать подход к производству и формированию положительного образа органической продукции, способствующего разграничению в сознании потребителя констант: фермерская и органическая продукция. Экологический маркетинг является также основой перехода для организаций к новым методам производства с учетом запросов потребителей. Дополнение концепции экологического маркетинга как базового ориентира на российском рынке органической продукции, на наш взгляд, является стратегически важным аспектом построения устойчивой модели развития рынка. Именно синергия концепций экологического маркетинга с концепцией маркетинг-взаимоотношений позволит раскрыть потенциал рынка, даст возможность на новом качественном уровне выстраивать модель партнерских отношений с потребителем и контактными аудиториями организации. Двухединный подход заключается в восприятии основ концепций как значимого процесса управления маркетингом в организации, с одной стороны, и как главного ее инструмента, позволяющего выстраивать взаимоотношения с потребителями на основе ключевой ценности продукта, – с другой. Именно концепция маркетинг-взаимоотношений побуждает производителей серьезным образом пересматривать процесс работы с потребителем, ориентируясь на постоянную обратную связь, которая в свою очередь выступает драйвером производства конкурентоспособной продукции с высокой добавленной стоимостью, максимально отвечающей покупательскому спросу.

В работе использованы методы обобщения, анализа и синтеза, а также методологии проведения исследования маркетинговой среды.

Результаты и их обсуждение

На наш взгляд, реализация такого подхода возможна с условием понимания принципов развития рынка органической продукции, где драйвером выступает модель маркетинг-отношений с потребителем, на основе глубокого исследования трансформации его потребностей (рис. 1). Ведь именно ориентир в развитии маркетинг-отношений с потребителем на основе двуединого подхода позволит:

- сформировать конкурентоспособный ассортимент продукции, в том числе с высокой добавленной стоимостью;
- выделить константы, значимые для потребителя и указывающие на органическое происхождение продукта;
- стать серьезным драйвером развития предпринимательской деятельности в данной сфере.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, попытаемся сформировать подход к исследованию рынка органической продукции с учетом существующих принципов и тенденций его развития. На наш взгляд, основой выступает анализ маркетингового потенциала развития рынка органической продукции, который позволит в полной мере построить стратегический подход ведения деятельности с учетом специфики развития ситуации конкретного продуктового рынка, региональных особенностей, технологического уровня развития. Не менее важным является и методология проведения маркетинговых исследований в данном направлении [3, 8]. Поэтому в качестве основы должен выступать принцип проведения качественных маркетинговых исследований – в частности, метод экспертных оценок, который позволяет в полной мере реализовать все открывающиеся для производителей возможности на рынке за счет установления причинно-следственных связей.

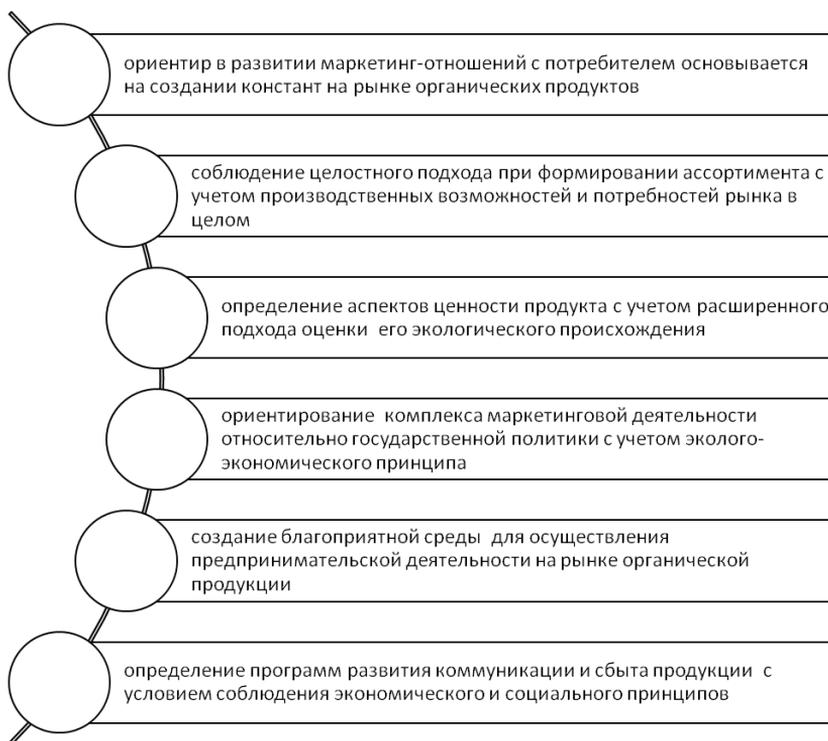


Рис. 1. Основные принципы развития рынка органической продукции

Не менее значимым методом является технология проведения глубинных интервью в форме панели как основы понимания развития процессов, протекающих на рынке, в частности, относительно анализа потребительских предпочтений. В итоге это дает возможность организациям адаптировать свое производство под потребности потребителей и тем самым максимально эффективно осуществлять свою деятельность. Данные виды исследований позволяют сделать акцент на понимании развития рыночных процессов, трансформируя при этом базовые компоненты, что в свою очередь является основой раскрытия потенциала рынка органической продукции.

В ходе исследований предпринята попытка выявления системы показателей исследования и оценки маркетингового потенциала рынка органической продукции (рис. 2).

Объект	Показатели
Внешний рынок	Потребительские предпочтения на внешних рынках, оценка конкурентной среды, возможностей адаптации и продвижения продукции на внешних рынках, в том числе с учетом политических, экономических, экологических и правовых факторов
Внутренний рынок	
Население	Сегментирование потребителей рынка органической продукции по возрасту, составу, уровню образования и доходу; оценка трудового потенциала
Сельское хозяйство	Специализация, уровень развития органического сельского хозяйства, производительность, используемые «зеленые» технологии
Перерабатывающая промышленность	Уровень развития технологий, оценка возможности перехода на принципы органического производства продукции
Территориальная расположенность	Оценка потенциальных возможностей регионов относительно внедрения технологий органического сельского хозяйства, уровень развития, экономический потенциал, транспортная доступность
Оценка потенциала рынка органической продукции	Емкость рынка органической продукции, анализ потребительских предпочтений с учетом их трансформации, оценка институциональных структур – в частности, возможности обеспечения продвижения и товародвижения органической продукции

Рис. 2. Система маркетинговых показателей исследования и оценки потенциала развития рынка органической продукции

Предложенная система маркетинговых показателей отражает основу развития рынка органической продукции и его стратегических направлений, позволяет в полной мере оценить покупательское поведение, проанализировать процесс принятия решения о покупке, осуществить точную сегментацию рынка.

Все вышеперечисленное станет основой формирования ценностей восприятия органической продукции среди целевого рынка с целью обеспечения постоянного

покупательского спроса и формирования культуры потребления экологической продукции. Следует также отметить, что исследование внешних рынков должно происходить одновременно с исследованием внутреннего рынка, и именно такой подход позволит обеспечить гармоничное его развитие во всех стратегически важных направлениях.

Особое внимание в таких исследованиях должно быть уделено ориентированию показателей на предложенные принципы развития российского рынка органической продукции с учетом их трансформации. Именно такой подход в исследовании станет серьезным драйвером развития российского рынка органической продукции, позволит разработать программы с учетом специфики отдельных продуктов, территориальной расположенности предприятий и основных целей предпринимательской активности [6]. Одну из главных ролей в таких исследованиях занимает оценка потенциала рынка органической продукции как главного драйвера развития сформулированных принципов.

В настоящее время именно недостаточность исследований в данной сфере служит серьезным сдерживающим фактором развития всего рынка органической продукции в целом, в том числе ввиду отсутствия информации относительно критериев, формирующих в сознании потребителя ценность восприятия понятия «органическая продукция», что в свою очередь является главным барьером построения модели маркетинг-отношений с потребителем. Следует также отметить значимость оценки специфики отдельных продуктовых рынков, ведь несмотря на равнозначные подходы, восприятие одних и тех же критериев потребителем подвергается существенному изменению, что в свою очередь с учетом отсутствия сформированности констант относительно термина «органическая продукция» требует дополнительных исследований. Поэтому в отличие от традиционного рынка продуктов питания, где участниками выступают, как правило, организации средних и крупных форм сельскохозяйственного производства, а большая часть исследований проводится с их непосредственным участием, исследования в сфере органического сельского хозяйства развиваются медленными темпами и нуждаются в серьезной государственной поддержке.

Не менее значимым является и обеспечение доступности информации для участников рынка относительно протекающих на нем процессов. На наш взгляд, решение этой проблемы возможно при создании информационной системы для участников рынка, позволяющей проводить маркетинговый анализ рыночной ситуации с учетом возможности дополнения основных составляющих процесса, в зависимости от специфики продукта, с целью максимального раскрытия потенциала рынка. Следует также отметить, что именно такой маркетинговый подход должен быть включен в деятельность организации как процесс управления, играющий важную роль при формировании стратегии развития, а также осуществления ее корректировки с учетом вызовов, поступающих из внешней среды.

Развитие информационной базы должно основываться на предложенных показателях, представленных на рисунке 2. К основному функционалу такой системы следует отнести: планирование деятельности информационной системы и ее подразделений с учетом рыночных тенденций развития; сбор, обработку и передачу информации; подготовку информации для принятия организациями управленческих решений; формирование баз данных относительно развития текущей ситуации на рынке. Особая роль в этом процессе отводится государству как главному контролирующему органу, что в свою очередь предусматривает расширение взаимодействия всех участников рынка, способствующее его дальнейшему развитию. Именно такая информационная среда станет основой стратегического развития всего рынка органической продукции в целом, основным принципом формирования которого, с учетом

предложенного концептуального подхода, а также подхода исследования и оценки маркетингового потенциала рынка, должен быть принцип синергии основных направлений развития маркетинговой деятельности.

На рисунке 3 представлен авторский подход формирования основных потенциальных направлений развития маркетинговой деятельности на рынке органической продукции.



Рис. 3. Основные направления развития маркетинговой деятельности на рынке органической продукции, сформулированные по группам факторов

Таким образом, полагаем, что именно поэтапное развитие данных направлений, основанное на серьезной поддержке государства в рамках организации исследований и программ с учетом специфики различных продуктовых рынков, позволит в полной мере реализовать потенциал российского рынка органической продукции.

Драйвером изложенных направлений, на наш взгляд, выступает развитие коммуникации с потребителем, основу которого на первом этапе должен составить просветительский конспект, позволяющий в полной мере сформировать представления потребителей относительно рынка органической продукции. Именно такой подход позволит разграничить в сознании потребителя категории «фермерские продукты», «здоровое питание» и «органическая продукция». Определяющим фактором на данном этапе выступает и обратная связь с потребителем, позволяющая осуществлять своевременную корректировку изложенных направлений и по сути, своей

являющаяся основой формулирования констант восприятия потребителем понятия «органическая продукция».

Следует отметить, что такой подход в последующем предусматривает высокое доверие потребителей к бренду органической продукции и его атрибутам. На наш взгляд, это будет являться, в том числе, серьезным стимулом формирования особого подхода к созданию ассортиментного ряда продуктов органического происхождения, дополнительным стимулом развития предпринимательской активности в данной сфере, отделов и точек реализации органической продукции.

Именно бренд должен взять на себя также роль развития воспринимаемой ценности органической продукции, выступить драйвером разработки ценовой политики на основе принципа «справедливой цены», позволяющей в полной мере отразить социо-эколого-экономический механизм развития рынка; стать основой совершенствования ассортиментной политики – в частности, производства продукции с высокой добавленной стоимостью.

Таким образом, подход позволит сформировать модель «осознанного потребления», а предложенная информационная система – структурировать деятельность в заданном направлении и в дальнейшем выступить драйвером стратегии расширения производства органической продукции не только на российском, но и на зарубежных рынках. Речь идет в первую очередь о странах со схожим покупательским поведением ввиду сильного сходства культурных и социокультурных факторов, а также принципов ведения деятельности.

Именно развитие экспортных отношений продукции органического происхождения с высокой добавленной стоимостью в среднесрочной перспективе станет одним из главных доказательств эффективной маркетинговой деятельности в отношении реализации потенциала российского рынка органической продукции.

Выводы

Совершенствование маркетинговой деятельности на рынке органической продукции, основой которой выступает развитие маркетинг-отношений с потребителем, является значимым аспектом раскрытия его потенциала. Специфика рынка, а также существующие сложности восприятия понятия «органическая продукция» являются вектором развития коммуникационной политики, которая, на наш взгляд, должна быть построена на основе обратной связи с потребителем. Значимым в этой работе должно стать формирование констант восприятия бренда органической продукции и его атрибутов среди различных потребительских сегментов рынка. Такое положение дел возможно только при условии создания маркетинговой информационной системы, основой которой выступают исследования потенциала рынка по предложенной системе маркетинговых показателей с учетом принципов развития рынка органической продукции. Не менее важным является открытость данной информации для участников рынка, позволяющая организациям планировать свою деятельность на основе актуальной и достоверной информации о рынке. Именно такой подход, построенный на синергии двух базовых концепций: экологического маркетинга и маркетинга взаимоотношений, – позволит раскрыть потенциал российского рынка органической продукции.

Следует также отметить значимость продолжения исследований в направлении совершенствования маркетинговой деятельности относительно стимулирования активности развития предпринимательства, в поиске маркетинговых подходов совершенствования взаимодействия между государством, организациями и конечными потребителями продукции с целью повышения привлекательности рынка со стороны новых его участников.

Библиографический список

1. *Ашмарина Т.И., Бирюкова Т.В., Ковалева Е.В.* Пандемия COVID-19 ускоряет цифровизацию сельскохозяйственной деятельности // *Образование и право.* – 2020. – № 11. – С. 341–346.
2. *Бирюкова Т.В., Энкина Е.В., Ашмарина Т.И.* Стратегическое планирование деятельности АПК как основа конкурентоспособности организации // *Известия ТСХА.* – 2021. – № 1. – С. 87–97
3. *Ашмарина Т.И.* Анализ устойчивого экономического развития сельскохозяйственной деятельности // *Известия Международной академии аграрного образования.* – 2015. – № 23. – С. 31–35.
4. *Бирюкова Т.В.* Основные аспекты разработки маркетинговых стратегий как элемент обеспечения конкурентоспособности организаций АПК // *Известия Международной академии аграрного образования.* – 2019. – № 45. – С. 119–122.
5. *Гатаулин А.М. и др.* Рыночный анализ аграрного сектора экономики: Учебное пособие к семинарам по рыночному анализу. – М.: МСХА, 1999. – 197 С.
6. *Ибрагимов Э.У.* Оценка потребительской активности покупки органической продукции // *Экономика сельского хозяйства России.* – 2020. – № 7. – С. 67–70.
7. *Качанова Л.С., Рева А.Ф., Глечикова Н.А.* Практико-ориентированный подход ресурсной конфигурации в формировании стратегии управления аграрным сектором региона // *Экономика и предпринимательство.* – 2019. – № 10 (111). – С. 478–486.
8. *Коноплева Ж.В.* Современные технологии маркетинговых исследований как элемент совершенствования маркетинговой деятельности в АПК // *Известия Международной академии аграрного образования.* – 2018. – № 39. – С. 99–103.
9. *Кошелев Б.С., Козлов А.А.* Организационно-экономические основы маркетинга в сельском хозяйстве региона (на материалах Омской области): Монография. – Омск: Сфера, 2007. – 151 с.
10. *Мигунов Р.А., Энкина Е.В.* Трансформация институтов государственного регулирования и обеспечение устойчивого экономического роста сельского хозяйства // *Никоновские чтения.* – 2018. – № 23. – С. 129–132.
11. *Мигунов Р.А.* Институциональная среда устойчивого экономического роста сельского хозяйства: Дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2018. – 194 с.
12. *Папцов А.Г.* Современные тенденции в экономике свиноводства в Дании // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий.* – 2012. – № 11. – С. 64–67.
13. *Реброва Н.П., Корнева С.Ю.* Маркетинговые исследования в сфере услуг: Монография. – Омск: ЕврИЭМИ, 2007. – 187 с.
14. *Ревенко Л.С.* Мировой рынок продовольствия в эпоху «генной» революции: Научное издание. – М.: Экономика, 2003. – 304 с.
15. *Романюк М.А., Мухаметзянов Р.Р., Гузий С.В.* Современное состояние и проблемы развития сельскохозяйственного производства и агропродовольственного рынка России // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий.* – 2018. – № 6. – С. 18–23.
16. *Романов А.Н., Ягудаева Н.А.* Ценность агробизнеса в условиях пандемии // *Экономика сельского хозяйства России.* – 2021. – № 3. – С. 21–25.
17. *Рущицкая О.А.* Методологические основы и практические аспекты исследования рынка органических продовольственных товаров: Монография. – Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2017. – 385 с.
18. *Светлов Н.М.* Методология моделирования агропродовольственной политики в условиях евразийской интеграции // *Известия ТСХА.* – 2016. – С. 89–95.

19. Суркова Н.В. и др. Маркетинг в агропромышленном комплексе: Учебник и практикум. – Серия 76 «Бакалавр. Академический курс» (1-е изд.) / Под ред. Н.В. Сурковой. – М.: Юрайт, 2020.
20. Худякова Е.В., Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Кушнарева М.Н., Горбачев М.И. Моделирование бизнес-процессов на предприятиях АПК: Учебник / Под ред. Е.В. Худяковой. – СПб.: Лань, 2020. – 171 с.
21. Черенков В.И. Генерализация маркетинговой теории: эволюция маркетинга и парадигма выживания Карла-Эрика Линна // Маркетинг в России и за рубежом. – 2006. – № 4. – С. 31–41.
22. Шарков Ф.И. Брендинг и культура организации: учебник для вузов. – М.: Перспектива, 2003. – 268 с.
23. Шафанский И.Н. Экономический механизм повышения конкурентоспособности мясной продукции на перерабатывающих предприятиях АПК // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 65–70.
24. Hamzaoui L. and Zahaf M. The Organic Food Market: Opportunities and Challenges // Organic Food and Agriculture – New Trends and Developments in the Social Sciences / Edited by Dr Matthew Reed. Publisher InTech. – 2012. – January. – 216 p.
25. Kohls Richard L., Uhl Joseph N. Marketing of Agricultural Products / 7-th ed. New York-London: MacMillan Publish. Comp., 1990. – 544 p.
26. Steenkamp Jan-Benedict E.M. Agricultural marketing and consumer behavior in a changing world. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2006. – 315 p.
27. Verdurme A., Gellynck X., Viaene J. Are organic food consumers opposed to GM food consumers? // British Food Journal. – 2002. – Vol. 104, № 8. – P. 610.

IMPROVING MARKETING ACTIVITIES AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF THE STRATEGIC POTENTIAL OF THE ORGANIC MARKET

T.V. BIRYUKOVA, T.M. VOROZHEYKINA, E.V. ENKINA,
T.I. ASHMARINA, N.A. YAGUDAeva

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The improvement of marketing activities in the market of organic products in the current conditions is undoubtedly a significant aspect of its development, contributing to the formation of new market approaches to doing business. At present, organic products and agricultural products are interchangeable concepts for most consumers, which in turn indicates the lack of formed constants of consumer perception of the term “organic products” and is a significant obstacle to the development of demand in this segment. On the other hand, it is strategically important to study the needs of consumers as an important stage in the formation of the range of products offered on the market with high added value and, as a consequence, the basis for the development of a competitive segment of organic products. All this implies the search for new marketing approaches and strategic solutions to achieve the the desired objectives.

The purpose of this study is to search for relevant trends in the formation and development of the organic market in order to improve marketing activities based on the synergy of conceptual approaches in marketing that allow for responsible consumption and sustained interest in organic products. The main objectives of the study are to determine the basic principles of the development of the organic market, to create a system of marketing indicators for research and evaluation of the development potential of the studied market, and to identify the main trends in the development of marketing activities. The results of the work made it possible to formulate approaches

to the research and evaluation of the marketing potential of the market, as well as to formulate recommendations for the creation of an information system as a basis for the strategic development of the entire organic market as a whole.

Key words: organic farming, strategic planning of activities, marketing strategies.

References

1. *Ashmarina T.I., Biryukova T.V., Kovaleva E.V.* Pandemic COVID-19 accelerates the digitalisation of agricultural activities. *Obrazovanie i pravo*. 2020; 11: 341–346. (In Rus.)
2. *Biryukova T.V., Enkina E.V., Ashmarina T.I.* Strategic planning of agro-industrial sector activity as a basis for the competitiveness of the organization. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; 1: 87–97. (In Rus.)
3. *Ashmarina T.I.* Analysis of sustainable economic development of agricultural activity. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2015; 23: 31–35. (In Rus.)
4. *Biryukova T.V.* Basic aspects of the development of marketing strategies as an element of ensuring the competitiveness of agro-industrial enterprises. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2019; 45: 119–122. (In Rus.)
5. *Gataulin A.M. et al.* Market analysis of the agrarian sector of the economy. M.: MSKhA, 1999: 197. (In Rus.)
6. *Ibragimov E.U.* Estimation of consumer activity of buying organic products. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2020; 7: 67–70. (In Rus.)
7. *Kachanova L.S., Reva A.F., Glechikova N.A.* Practice-oriented approach of resource configuration in the formation of management strategy of the agrarian sector of the region. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2019; 10 (111): 478–486. (In Rus.)
8. *Konopleva Zh.V.* Modern technologies of marketing research as an element of improvement of marketing activity in agro-industrial sector. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2018; 39: 99–103. (In Rus.)
9. *Koshelev B.S., Kozlov A.A.* Organisational and economic foundations of marketing in agriculture of the region (on the materials of the Omsk region): a monograph. Omsk: Sfera, 2007: 151. (In Rus.)
10. *Migunov R.A., Enkina E.V.* Transformation of the institutions of state regulation and ensuring sustainable economic growth of agriculture. *Nikonovskie chteniya*. 2018; 23: C. 129–132. (In Rus.)
11. *Migunov R.A.* Institutional environment of sustainable economic growth of agriculture. CSc (Econ) thesis: 08.00.01. Moscow, 2018: 194. (In Rus.)
12. *Paptsov A.G.* Modern trends in the economy of pig breeding in Denmark. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2012; 11: 64–67. (In Rus.)
13. *Rebrova N.P., Korneva S.Yu.* Marketing research in the sphere of services: a monograph. Omsk: EvriEMI, 2007: 187. (In Rus.)
14. *Revenko L.S.* World food market in the epoch of the “gene” revolution. M.: Ekonomika, 2003: 304. (In Rus.)
15. *Romaniuk M.A., Mukhametzyanov R.R., Guziy S.V.* Modern state and problems of development of agricultural production and agro-food market of Russia. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2018; 6: 18–23. (In Rus.)
16. *Romanov A.N., Yagudaeva N.A.* Value of agribusiness in pandemic conditions. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2021; 3: 21–25. (In Rus.)

17. *Rushchitskaya O.A.* Methodological foundations and practical aspects of the organic food market research: Monograph. Ekaterinburg: Izdatel'skiy dom "Azhur", 2017: 385. (In Rus.)
18. *Svetlov N.M.* Methodology of modelling agri-food policy in the conditions of Eurasian integratio. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2016: 89–95. (In Rus.)
19. *Surkova N.V. et al.* Marketing in the agro-industrial sector. Textbook and practice. Ed. By Surkova N.V. M.: Izdatel'stvo Yurayt, 2020. (In Rus.)
20. *Khudyakova E.V., Bondarenko A.M., Kachanova L.S., Kushnareva M.N., Gorbachev M.I.* Modelling of business processes at enterprises of agro-industrial sector. Textbook. Ed. by E.V. Khudyakova. St. Petersburg: Lan', 2020: 171. (In Rus.)
21. *Cherenkov V.I.* Generalisation of marketing theory: evolution of marketing and Karl-Erik Linn's survival paradigm. *Marketing v Rossii i za rubezhom.* 2006; 4: 31–41. (In Rus.)
22. *Sharkov F.I.* Branding and organisation culture M.: Perspektiva, 2003: 268. (In Rus.)
23. *Shafanskiy I.N.* Economic mechanism of increasing the competitiveness of meat products at the processing enterprises of the agro-industrial sector. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii.* 2019; 2: 65–70. (In Rus.)
24. *Hamzaoui L. and Zahaf M.* The Organic Food Market: Opportunities and Challenges. *Organic Food and Agriculture – New Trends and Developments in the Social Sciences.* Ed. by Dr Matthew Reed. Publisher InTech. January, 2012: 216.
25. *Kohls Richard L., Uhl Joseph N.* Marketing of Agricultural Products. 7-th ed. New York-London: MacMillian Publish. Comp., 1990: 544.
26. *Steenkamp Jan-Benedict E.M.* Agricultural marketing and consumer behavior in a changing world. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2006: 315.
27. *Verdurme A., Gellynck X., Viaen J.* Are organic food consumers opposed to GM food consumers? *British Food Journal.* 2002; 104; 8: 610.

Бирюкова Татьяна Владимировна, доцент кафедры организации производства, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская 49; e-mail: tbiryukova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–45–71

Ворожейкина Татьяна Михайловна, заведующий кафедрой организации производства, д-р экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550; Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tvorozheikina@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–45–71

Энкина Екатерина Владимировна, доцент кафедры политической экономики и мировой экономики, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ev18.12@inbox.ru; тел.: (499) 976–28–21

Ашмарина Татьяна Игоревна, доцент кафедры экономики, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ashmarina@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–08–35

Ягудаева Наталья Алексеевна, доцент кафедры экономики, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: n.yagudaeva@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–08–35

Tatiana V. Biryukova, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–45–71; E-mail: tbiryukova@rgau-msha.ru)

Tatiana M. Vorozheykina, DSc (Econ), Associate Professor, Head of the Department of Production Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–45–71; E-mail: tvorozheikina@rgau-msha.ru)

Ekaterina V. Enkina, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–28–21; E-mail: ev18.12@inbox.ru)

Tatiana I. Ashmarina, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–08–35; E-mail: ashmarina@rgau-msha.ru)

Natalia A. Yagudaeva, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–08–35; E-mail: n.yagudaeva@rgau-msha.ru)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПЛОДОВО-ЯГОДНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ

Л.А. ВЕЛИБЕКОВА

(Институт социально-экономических исследований ДФИЦ РАН)

В статье раскрываются проблемы важности и необходимости перманентного употребления свежей и переработанной плодово-ягодной продукции, что является существенным для здоровья человека как главного стратегического ресурса экономики любого государства. Цель исследований заключалась в обосновании путей обеспечения населения свежими плодами, ягодами, продукцией их переработки в объеме, соответствующем рациональным нормам потребления, определении способов повышения устойчивого развития отечественного плодового подкомплекса в условиях международных санкций. Методология работы основана на использовании данных официальной статистики, информации, содержащейся в сети «Интернет», а также исследований отечественных ученых-экономистов в области продовольственного обеспечения. Результаты исследований показали, что на современном этапе вопросы потребления плодово-ягодной продукции в необходимом количестве являются актуальными во всех странах. Проанализирована динамика развития садоводства в мире и в России за период 1960–2021 гг. Выявлено, что Россия снизила позиции в площадях многолетних насаждений и валовом сборе свежих плодов и ягод. Вместе с тем за 2010–2021 гг. отмечается положительная тенденция роста показателей урожайности, валовых сборов, потребления на душу населения. От развитых стран Россия отличается низким уровнем потребления фруктов и более высоким уровнем потребления фруктовых соков. В статье констатируется, что достижение самообеспеченности страны анализируемой продукцией невозможно ввиду таких объективных факторов, как природно-климатические условия, достаточно высокая зависимость от импорта готовой продукции и ресурсных составляющих. В этой связи необходим интегрированный подход, включающий в себя пути повышения как собственного производства, так и импорта в размерах, не составляющих угрозу продовольственной безопасности страны. Результаты статьи могут быть использованы для расширения последующих научных исследований в области обеспечения населения свежей и переработанной плодово-ягодной продукцией.

Ключевые слова: плодово-ягодная продукция, садоводство, плодопереработка, подкомплекс, продовольственная безопасность, самообеспеченность, импортозамещение.

Введение

Здоровое питание – один из важных факторов, влияющих на жизнедеятельность человека. Как говорил Гиппократ, «...пусть еда будет вашим лекарством, а лекарство – едой». Общеизвестно, что употребление плодово-ягодной продукции в свежем и переработанном виде воздействует на здоровье, о чем убедительно свидетельствует мировая и отечественная медицинская литература. Так, ежедневное потребление этой продукции позволяет предупредить хронические заболевания и способствует улучшению прогноза жизни в целом, в то время как недостаток нутриентов, содержащихся в плодах и ягодах, влечет за собой необратимые изменения: ухудшаются когнитивные способности, слабеет иммунитет, снижается производительность труда и т.д. Неслучайно в народе популярна поговорка: «Одно яблоко в день отпугивает доктора». Между тем обзор международных научных

и статистических материалов показал, что практически в каждой стране потребление плодов и ягод на душу населения на 20–50% ниже минимальных уровней, рекомендуемых ФАО и ВОЗ [1]. Так, по данным исследования Института здоровья Nutrilite, дефицит потребления плодово-ягодной продукции был обнаружен в питании людей по всему миру, а для достижения минимума, рекомендованного Всемирной организацией здравоохранения (400 г в день), следует увеличить ее потребление по крайней мере в два раза.

Здоровое население – безусловный признак сильного государства. В глобальной стратегии ВОЗ по питанию, физической активности и здоровью отражено, что повышение уровня потребления плодов и ягод является одной из рекомендаций, которую необходимо учесть при подготовке национальной политики. Как подчеркивает Ц. Дуньюй, «...в условиях охватившего мир кризиса оказывать содействие в расширении доступа к здоровому питанию, укрепляющему иммунную систему человека, более чем уместно» [2]. В силу геополитического, экономического, продовольственного и климатического кризиса крайне важно обеспечить стабильное производство и рост потребления данной продукции. В этой связи для многих стран мира приоритетными направлениями государственной аграрной политики становятся эффективное функционирование плодового подкомплекса как важного составляющего звена АПК, повышение самообеспеченности государства продовольствием, снижение импортозависимости и развитие международных связей. Особенно данная проблема актуальной является для России, которая в последнее время столкнулась с беспрецедентными вызовами, в том числе в изучаемой сфере.

Цель исследований: обосновать пути обеспечения населения свежими плодами, ягодами, продукцией их переработки в объеме, соответствующем рациональным нормам потребления, определить способы повышения устойчивого развития отечественного плодового подкомплекса в условиях международных санкций.

В соответствии с поставленной целью были обозначены следующие задачи:

- определить динамику основных показателей развития садоводства и плодopерерабатывающей промышленности в мире, выявить роль и место России в мировом производстве свежей и переработанной плодово-ягодной продукции;
- провести сравнительный анализ потребления фруктов по разным странам;
- раскрыть современное состояние и тенденции в развитии отечественного садоводства и плодopерерабатывающей промышленности;
- выявить возможности выхода на самообеспеченность страны анализируемой продукцией.

Материал и методы исследований

В исследованиях использованы открытые источники международной статистики: Statista, Research and Development-Our World in Data, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). На основании собранного эмпирического материала проанализирована динамика основных показателей садоводства в мире за период 1961–2021 гг., объемов производства фруктовых соков, а также проведен сравнительный анализ показателей потребления фруктов, ягод и соков в некоторых странах. Информационную базу по Российской Федерации составили официальные статистические данные Росстата и Минсельхоза России. Проанализировано состояние садоводства и плодopерерабатывающей промышленности в России за 2010–2021 гг.

Исследования проводились с опорой на логический и системный подход. Применены методы статистического анализа (обобщение, систематизация, сравнение), на основании которых сделаны выводы и определены пути повышения

продовольственного обеспечения населения. Теоретико-методологические основы базируются на научных публикациях отечественных ученых, касающихся данного направления исследований, включенных в библиографические и реферативные базы данных РИНЦ и Scopus.

Работа строилась по следующей логической схеме: от анализа мировых тенденций в развитии плодового подкомплекса к изучению проблем на российском уровне, и на этой основе – к определению путей обеспечения населения отечественной продукцией.

Экономические вопросы мирового производства фруктов и внешнеэкономической деятельности приведены в трудах А.Ю. Агирбова, Р.Р. Мухаметзянова и др. Проблемы продовольственного обеспечения населения и развития плодового подкомплекса рассмотрены в работах Р.Р. Гумерова, А.М. Емельянова, А.В. Колесникова, И.М. Куликова, А.И. Минакова, В.В. Масловой, И.Г. Ушачева и др.

Результаты и их обсуждение

Осознавая важность и необходимость употребления плодово-ягодной продукции, международные организации неоднократно проводили информационные, пропагандирующие мероприятия, направленные на стимулирование ее потребления (табл. 1) [2].

Таблица 1

Мероприятия по пропаганде употребления фруктов (составлено автором)

Дата и место	Организация	Мероприятие	Цель
Рио-де-Жанейро (ноябрь 2003 г.)	ВОЗ и ФАО	Стимулирование потребления фруктов	Снижение риска развития хронических болезней благодаря повышению уровня потребления фруктов
Япония, Кобе (сентябрь 2004 г.)	ВОЗ, ФАО	Совместный семинар по вопросам потребления фруктов для укрепления здоровья	Разработка механизма стимулирования потребления фруктов на страновом уровне
Италия, Рим (декабрь 2020 г.)	ООН, ФАО	Международный год овощей и фруктов (МГОФ-2021)	Обеспечение устойчивого производства и сокращение потерь и порчи пищевой продукции за счет внедрения инноваций и передовых технологий

Безусловно, приоритетная задача сохранения и укрепления здоровья населения тесно связана с важной функцией государства, заключающейся в обеспечении продовольственной безопасности страны.

Во многих странах мира плодово-ягодный подкомплекс является важным составляющим звеном национального АПК, и от ситуации, складывающейся здесь, зависит возможность решения задачи повышения качества жизни населения. Популярность здорового образа жизни и питания обуславливает рост спроса на свежие фрукты, являющиеся важным витаминным продуктом на продовольственном рынке и входящие в базовую потребительскую корзину. В этой связи сельхозтоваропроизводители стараются наращивать их производство. Как показывают международные статистические данные, производство свежих плодов и ягод ежегодно растет.

За 1960–2021 гг. глобальные параметры садоводства существенно возросли: площадь многолетних насаждений увеличилась с 29,1 до 66,5 млн га, урожайность – в 2,0 раза, а валовые сборы фруктов и ягод возросли с 200,1 до 909,06 млн т, или в 2,0 раза (табл. 2). Это связано с широким использованием прецизионных агротехнологий, внедрением селекционных достижений, а также индустриализацией и цифровизацией производственных процессов, обуславливающих высокий уровень эффективности.

Таблица 2

Позиции России* по производству и потреблению плодово-ягодной продукции в сравнении с показателями в мире в целом (составлено автором [3–11])

Мир / Россия	Годы								2021 г. к 1960 г.
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2021	
Площадь многолетних насаждений, млн га									
Мир	29,1	32,5	38,6	50,2	60,1	60,6	64,8	66,5	в 2,3 раза
Россия	2,9	3,8	3,4	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	17,2%
Урожайность, ц/га									
Мир	67,8	77,1	90,7	80,0	96,0	122,2	136,9	136,8	в 2,0 раза
Россия	25,7	30,4	32,8	37,2	40,5	50,7	106,6	113,3	в 4,4 раза
Валовый сбор, млн т									
Мир	200,1	250,4	350,1	401,6	576,6	740,5	887,1	909,6	в 4,5 раза
Россия	3,0	7,5	7,8	2,4	2,7	2,1	3,6	3,9	в 1,3 раза
Удельный вес Российской Федерации в мировом производстве, %									
Площадь многолетних насаждений	9,97	11,69	8,81	1,59	1,16	0,83	0,77	0,8	-
Валовой сбор	1,50	3,00	2,23	0,60	0,47	0,28	0,41	0,5	-
Потребление на душу населения, кг/год									
Мир	37,5	43,2	46,4	48,9	58,7	68,8	77,1	80,0	в 2,1 раза
Россия	18,4	33,6	39,6	37,7	32,0	57,0	61,0	63,0	в 3,4 раза

*До 1990 г. – СССР.

Россия является одним из регионов мира, где имеются природно-климатические условия для выращивания плодово-ягодной продукции, прежде всего – семечковых, косточковых и ягодных пород. Место и роль России в мировом производстве фруктов за 1960–2021 гг. изменились: удельный вес в валовых сборах сократился с 1,5 до 0,5%, площадь многолетних насаждений – с 9,9 до 0,8%. Однако за 10 лет, с 2010 по 2021 гг., производство фруктов и ягод в России демонстрирует стабильный рост: урожайность возросла в 2,2 раза, а валовой сбор – в 1,8 раза. Такая динамика позволила незначительно, но все же увеличить позицию страны в мировом производстве: с 0,3 до 0,5%. Площадь многолетних насаждений за этот период осталась на одном уровне – 0,5 млн га.

Уровень потребления свежих плодов и ягод и переработанных фруктов в развитых странах имеет существенные вариации, что связано с различием производственных возможностей, которые во многом зависят от природно-климатических условий, социально-экономических факторов (уровень доходов населения, доля сельских и городских жителей, традиции, культура потребления), а также условий внешнеэкономической деятельности. В настоящее время на 1 чел. в мире приходится почти 80 кг фруктов в год [11]. По потреблению фруктов и ягод Россия отстает от других стран. Наиболее высок уровень потребления в Италии и Нидерландах, где он превышает 100 кг в год на душу населения. В Китае, США, Австрии, Испании уровень потребления выше, чем в России, в 1,5 раза; в Великобритании, Франции, Швейцарии – в 1,3 раза; в Германии и Норвегии – в 1,2 раза (рис. 1).

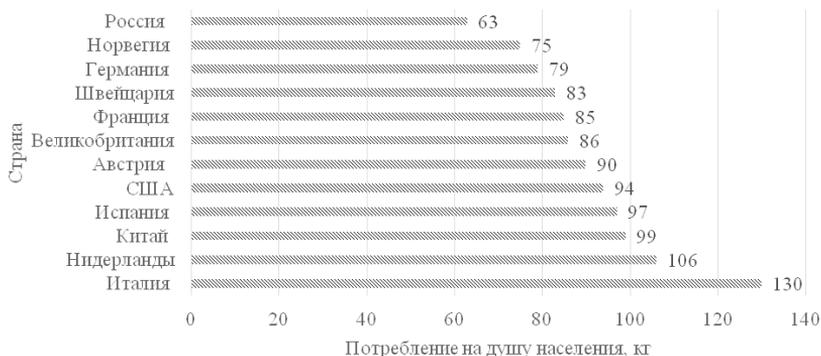


Рис. 1. Потребление плодов и ягод по отдельным странам мира на душу населения, кг/год

Важным аспектом функционирования плодового подкомплекса является такой технологический этап, как плодопереработка, которая необходима для производства полезных продуктов питания и пищевых ингредиентов. По разным оценкам, в мире перерабатывается 30–35% фруктов. Высокая доля переработки характерна для развитых стран: США – 50%; страны ЕС – 17–20%. Ожидается, что в течение прогнозируемого периода (2021–2026 гг.) мировой рынок переработки фруктов будет возрастать в среднем на 8,3%. В России доля фруктов, направляемых на переработку, составляет 15–25%.

Из всех видов плодово-ягодных консервов наиболее полезными для человека являются соки, обладающие необходимыми потребителю свойствами: натуральность, хороший свежий вкус, удобная упаковка, высокая пищевая и биологическая ценность (содержат в растворенном и легкоусвояемом виде сахара, витамины, минеральные вещества, ферменты и т.д.). Практически их вырабатывают из всех плодовых и ягодных культур. Для России, как и для других государств, рынок фруктовых соков является одним из самых важных. Как следует из данных таблицы 3, за период 2017–2021 гг. позиции России на этом рынке возросли с 2,0 до 3,1 млн т.

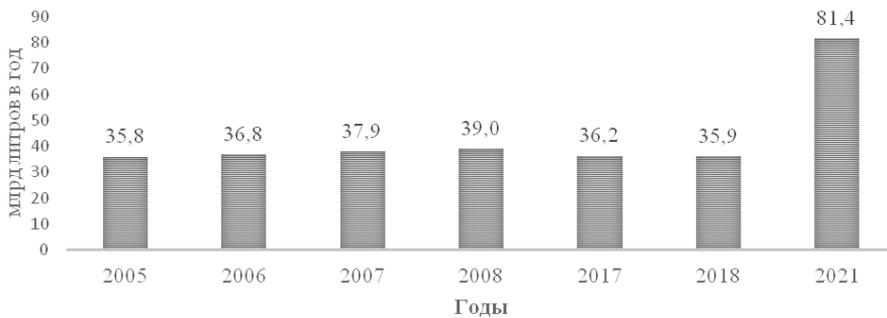
Как следует из рисунка 2, объем потребления соков в мире с 2005 по 2022 гг. возрос в 2,3 раза.

В 2021 г. на топ-10 стран пришлось 72% мирового потребления соковой продукции. Основными потребителями фруктовых соков являются США (29,5% мирового потребления в натуральном выражении). Также значимые позиции занимают страны ЕС, Канада, Россия, Китай и Австралия (рис. 3) [15].

Таблица 3

**Объем производства фруктовых соков в мире и в России,
млн т (составлено автором [12])**

Мир / Россия	Годы				
	2017	2018	2019	2020	2021
Мир	20,2	20,1	19,9	19,1	19,6
Россия	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6
Доля России в мировом производстве фруктовых и овощных соков, %	2,0	2,5	2,0	2,6	3,1



*2021 г. включая овощные

Рис. 2. Динамика объема мирового потребления соков, млрд л в год (составлено автором [13–15])

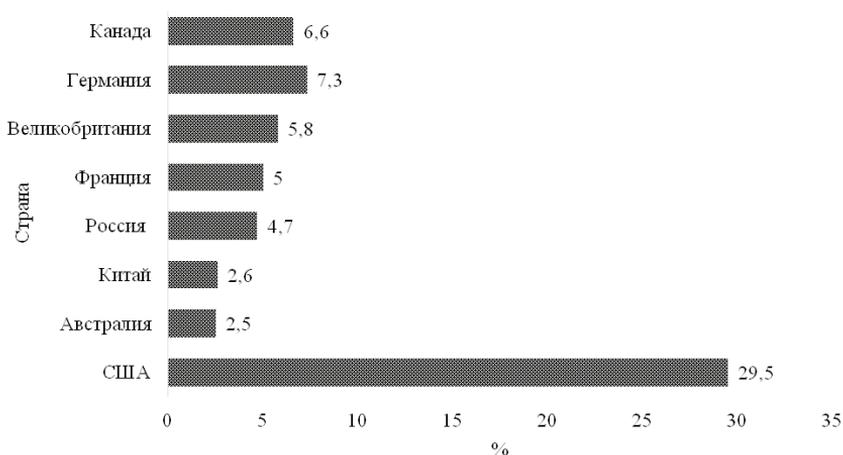


Рис. 3. Потребление фруктовых соков на душу населения по странам мира, %

Введенные против России санкции усилили актуальность вопросов обеспечения продовольственной безопасности страны, в рамках которой необходимо повысить объемы собственного производства и одновременно снизить импорт фруктов и его доли в товарных ресурсах.

В научной экономической литературе зачастую дается определение продовольственной безопасности как состояния экономики страны, когда не менее 80% основных продуктов питания производит она сама. В соответствии с принятыми международными правилами государство может считаться безопасным с позиции обеспеченности продовольствием, если не менее 70% потребляемых в стране продуктов питания производится отечественными производителями. Для большинства базовых видов продовольствия пороговые уровни самообеспечения установлены в диапазоне 80–90% [16, 17].

Согласно концепции ФАО продовольственная самообеспеченность – это производство в стране агропродовольственных товаров, удовлетворяющих преимущественную часть ее потребности в пищевых продуктах, которая приближается или составляет 100% внутреннего потребления.

Самообеспечение (собственное производство) является сложной, противоречивой экономической категорией. С одной стороны, данная дефиниция довольно проста и выступает основой натурального хозяйства, то есть местное (собственное) производство и использование для развития и расширения последнего только внутренних возможностей и резервов. С другой стороны, ее необходимость проявляется в условиях экономического кризиса, когда возникает потребность в выработке продовольственных стратегий [17, 18]. Например, в период продовольственного кризиса 2007–2008 гг. основной политической целью многих государств являлась именно самообеспеченность продовольствием. Как отмечает Р.Р. Гумеров, «...сама по себе самообеспеченность не является чем-то плохим. Проблема состоит в том, что новая риторика самодостаточности совпадает с растущим недоверием к рынкам и торговле» [19].

Возможность собственного производства продовольствия зависит от наличия природных, финансовых, экономических, научно-технологических ресурсов, качества управления, развитой инфраструктуры и эффективной агропродовольственной политики.

Обзор современной экономической литературы показал, что многие экономисты не отождествляют самообеспечение продовольственной продукцией с развитием собственного производства. Более того, такой подход оказывается невыгодным как для государства, так и для населения. Так, А.А. Колесняк отмечает негативные последствия концепции самообеспечения на региональном уровне: «...Данная идея стала одной из причин роста запасов продовольствия и сельскохозяйственного сырья в одних регионах при неудовлетворенном спросе на них в других» [20].

В своих исследованиях А.Х. Диемар, Р.Р. Галиев приходят к следующему выводу: «...Вопреки некоторым предположениям, полезность повышения самообеспеченности продовольствием является исключительно политической целью, а стремление к ней привело к определенному росту потребительских цен на продукты питания» [21].

При определении продовольственной безопасности А.М. Емельянов подчеркивает, что «...удовлетворение потребностей достигается на основе самообеспечения, в разумной степени (с учетом природно-климатических условий страны) дополняемого импортом дефицитных продуктов» [22].

Даже в Продовольственной программе СССР ставилась задача обеспечения максимальной автономности внутреннего продовольственного рынка, но частично допускался ввоз из дружественных государств [6].

Стремление к продовольственной самообеспеченности объясняется желанием снизить уязвимость рынка продовольствия от влияния внутренних и внешних негативных факторов и решить социальные проблемы. Как отмечает Р.Р. Гумеров, «...

растущее производство, в том числе традиционных культур и продуктов их переработки, в эффективной комбинации с импортом продовольствия, запасами и международной торговлей может усилить продовольственную безопасность и сглаживать региональные различия».

Проблема самообеспечения находится в центре аграрной политики многих развитых стран мира и рассматривается как необходимое условие национальной безопасности в отношении основных продуктов питания, но никто из них не рассматривает ее в качестве критерия продовольственной безопасности. Например, в такой высокоразвитой стране, как Япония, уровень самообеспеченности составляет 50%, причем продовольствие импортируется в значительных объемах.

Мы согласовываем свою позицию с учеными, отмечающими, что реализация концепции самообеспечения продовольствием не означает замкнутость продовольственной системы страны, но вместе с тем важно не допустить возникновения продовольственной, политической или иной зависимости от стран-экспортеров в части недостающего продовольствия.

Исследование концепции самообеспечения поднимает серьезную проблему определения уровня импортной зависимости. Основатель кейнсианского направления в экономической теории Дж.М. Кейнс в своих работах определил, что экономический порог импорта продовольствия и сырья составляет 20% от потребности, в случае превышения данного критерия отрасль впадает в стагнацию и в дальнейшем идет спад производства. Одним из примеров, подтверждающих данный тезис, является ситуация, сложившаяся в отечественном садоводстве, где до принятия определенных регулятивных мер со стороны государства неограниченный импорт ресурсов и готовой продукции поставил под угрозу в целом плодовой подкомплекс. В результате ретроспективного анализа выявлено, что в дореформенный период основную долю импорта составляли плоды и ягоды, которые не производились в нашей стране. Удельный вес импорта в общем объеме потребления в СССР составлял около 7%. Однако с распадом государства и переходом на либеральную рыночную экономику, с открытием внешних границ ситуация существенно изменилась. Зарубежные экспортные компании довольно быстро заняли нишу на российском рынке. К середине 90-х гг. доля импорта увеличилась до 87%, причем импортировались, в том числе, производимые в стране плоды и ягоды. За счет низких цен импортная продукция обеспечила конкурентоспособность, а отечественный плодовой подкомплекс столкнулся с межпродуктовой конкуренцией, что привело к вытеснению отечественной продукции. В итоге за два десятилетия Россия на мировом рынке превратилась в одного из крупнейших импортеров фруктов и ягод, и сегодня значительная часть фруктов и ягод (как свежих, так и продуктов их более глубокой переработки) поступает из зарубежных стран [23, 24].

Еще одним важнейшим аспектом импортозависимости является ее косвенное воздействие на самообеспеченность через значительную долю ввоза основных компонентов производственного процесса: посадочный материал (саженцы), средства защиты и питания растений, техника, технологии. Все это составляет технологический суверенитет государства, что невозможно восстановить в короткие сроки.

Таким образом, открытость рынка снизила устойчивость отечественной продовольственной системы. Необеспеченность внутреннего рынка продукцией отечественного производства создала возможность беспрепятственно заполнить его зарубежной продукцией. При этом повысились риски потерь от волатильности мировых цен, сбоев логистики, политических конфликтов.

В последние годы в Российской Федерации наблюдается ряд положительных тенденций по наращиванию площадей и валовых сборов плодовых культур, которые экономически целесообразно возделывать на территории нашей страны. Так,

производство фруктов и ягод в 2021 г. составило 3985,5 тыс. тонн, тогда как в 2010 г. оно находилось на уровне 2074,6 тыс. тонн (рис. 4) [25].

За период 2011–2021 гг. объем импорта фруктов и ягод снизился на 7,4%. По экспертным оценкам, зависимость России от импортных саженцев плодово-ягодных культур, сортов и ресурсов составляет от 40 до 50%, что свидетельствует о наличии производственно-хозяйственных рисков, а, следовательно, и о проблемах обеспечения продовольственной безопасности страны (рис. 5) [26].

Показатель импортозависимости, рассчитанный как соотношение импортного и собственного продовольствия, за период 2010–2021 гг. значительно улучшился, но в сравнении с 1990 г. зависимость остается довольно высокой (рис. 6) [25].

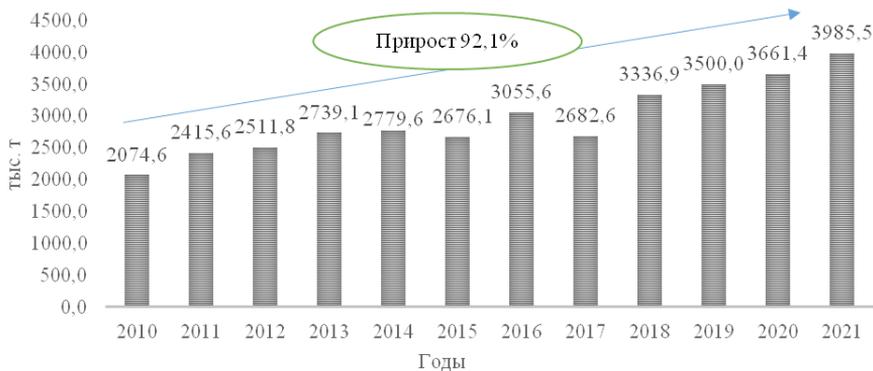


Рис. 4. Динамика объемов производства фруктов и ягод в Российской Федерации, тыс. т

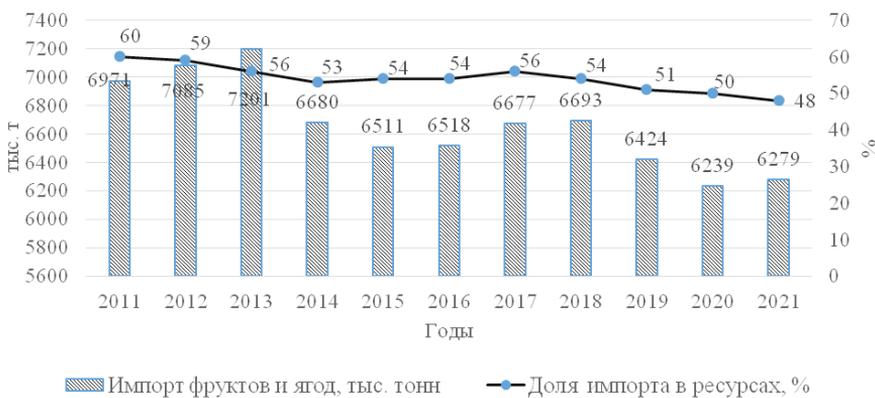


Рис. 5. Динамика импорта фруктов и ягод в Российской Федерации и доля импорта в ресурсах

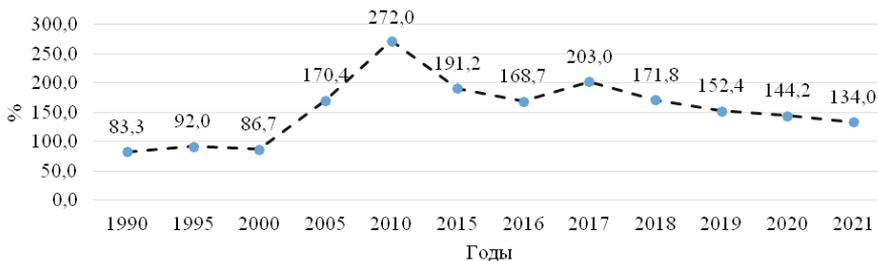


Рис. 6. Уровень импортозависимости по фруктам и ягодам в Российской Федерации, %

Уровень самообеспеченности фруктами и ягодами в России в последние годы возрос: с 26,8% в 2010 г. до 44,4% в 2021 г. (рис. 7) [25].

Фактическое потребление плодово-ягодной продукции в России в среднем составляет 63 кг на душу населения. При этом на собственное производство приходится 24% (15 кг), а импортная составляющая равна 76%, или 48 кг. Таким образом, несмотря на успехи отечественного производства, значительный дефицит продуктов садоводства необходимо восполнять все же за счет импорта.

Следует отметить, что в перерабатывающей промышленности России не наблюдается стабильного роста объемов производства. Как видно по данным таблицы 4, производство соков в 2021 г. по сравнению с 2010 г. сократилось на 50%, нектаров на 58,2% [27]. Несмотря на рост валовых сборов, сырья для производства соков не хватает, а сельхозтоваропроизводители предпочитают выращивать сорта плодовых культур для продажи в свежем виде. Еще одним фактором, повлиявшим на снижение объемов производства данной продукции, является рост потребительских цен, которые возросли за анализируемый период с 46,5 руб. до 97,7 руб. за литр, или в 2,1 раза [28]. Это стало причиной смещения спроса в сторону продукции, которая изготавливается из концентрата. Производство фруктовых джемов (желе, пюре) наоборот возросло в 2,3 раза.

Большинство перерабатывающих предприятий нуждается в реконструкции, внедрении современного энергосберегающего оборудования, повышении степени автоматизации и цифровизации. Основными проблемами остаются: в первую очередь – отсутствие развития отечественной сырьевой базы; во вторую очередь – низкий уровень логистической системы (хранение и транспортирование продукции).



Рис. 7. Динамика уровня самообеспеченности плодово-ягодной продукцией в Российской Федерации, %

Таблица 4

Производство отдельных видов плодовоовощной продукции в Российской Федерации [27]

Продукция	2010 г.	2015 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2021 г. в % к 2010 г.
Соки из фруктов и овощей, туб.	2784,0	1906,3	1235,2	1120,1	1117,7	1393,8	50,06
Нектары фруктовые и (или) овощные, туб.	2286,7	2494,2	1029,5	1082,4	1101,4	956,3	41,8
Джемы, фруктовые желе, пюре и пасты фруктовые или орехов, туб.	294,3	451,5	572,9	583,3	611,7	671,1	228,01

Для повышения уровня самообеспеченности страны плодово-ягодной продукцией целесообразно осуществить ряд основных мероприятий: это перевод плодового подкомплекса на инновационную модель развития, технико-технологическая модернизация, восстановление базы промышленного садоводства (плодового питомниководства), развитие современной товаропроводящей инфраструктуры. На наш взгляд, современная стратегия продовольственного обеспечения должна формироваться на направлениях, представленных на рисунке 8.



Рис. 8. Основные направления формирования стратегии продовольственного обеспечения (составлено автором)

С учетом вышесказанного формируемая модель продовольственного обеспечения должна, на наш взгляд, приобрести черты интегрированного подхода (объединение стратегий самообеспечения и импорта) при условии государственной поддержки отечественного производства и развития торгового сотрудничества с дружественными странами Азии, Африки и Латинской Америки.

Выводы

Проведенные исследования по обеспечению населения отечественной продукцией позволяют сделать следующие выводы:

1. Фрукты и продукция их переработки ввиду исключительной полезности должны быть включены в ежедневный рацион человека. Производители фруктов наращивают производство, чтобы соответствовать растущему спросу на мировом рынке. Во всем мире садоводство и плодоперерабатывающая промышленность развиваются по пути интенсификации, что позволяет увеличивать объемы производства и переработки.

2. Россия является одним из регионов мира по производству плодово-ягодной продукции, прежде всего семечковых, косточковых и ягодных культур. Несмотря на то, что на данный момент она занимает незначительную долю в глобальных объемах производства (0,5%), тем не менее в последние годы ее позиции постепенно усиливаются.

3. Складывающиеся неблагоприятные внешнеэкономические условия и санкционное давление осложняют ввоз определенной готовой продукции, а также технологических компонентов для ее производства, поэтому в аграрной политике акцентируется внимание на устранении зависимости от импорта и переходе на повышение объемов собственного производства и переработки свежих фруктов и ягод.

4. Несмотря на ежегодный рост валовых сборов плодовых культур в нашей стране, собственного производства все еще недостаточно как для удовлетворения потребностей населения в установленных медицинских нормах, так и для нормальной загрузки мощностей плодоперерабатывающей промышленности. Ввоз данной категории продукции остается высоким и превышает объемы собственного производства, что обуславливает риски продовольственного обеспечения.

5. В настоящее время необходимо выстраивать интегрированный подход, включающий в себя пути повышения собственного производства и ввоза необходимой продукции в размерах, не составляющих угрозу продовольственной независимости страны.

Библиографический список

1. Мировая проблема: недостаточное потребление овощей и фруктов. – URL: <https://medportal.ru/mednovosti/mirovaya-problema-nedostatochnoe-potreblenie-ovoshey-i-fruktoy/> (дата обращения: 24.05.2023).

2. О начале Международного года овощей и фруктов-2021 (МГОФ). – URL: <https://www.fao.org/news/story/ru/item/1365067/icode/> (дата обращения: 24.05.2023).

3. Агирбов Ю.И., Мухаметзянов Р.Р., Романюк М.А. и др. Россия и другие страны на мировом рынке плодово-ягодной продукции // Известия ТСХА. – 2021. – № 6. – С. 129–147.

4. Мухаметзянов Р.Р., Джанчарова Г.К., Арзамасцева Н. Изменение объемов производства фруктов, ягод и винограда в России // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – № 9. – С. 67–72.

5. Мухаметзянов Р.Р., Платоновский Н.Г., Ковалева Е.В. Факторы, параметры и значение развития садоводства в обеспечении глобальной продовольственной безопасности // Московский экономический журнал. – 2022. – № 9.

6. Мухаметзянов Р.Р., Бритик Э.В. Мировое производство и международная торговля плодово-ягодной продукцией // Научное обозрение: теория и практика. – 2020. – Т. 10. – Вып. 8. – С. 1445–1462.

7. Мухаметзянов Р.Р. Развитие плодово-ягодного рынка России // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1. – С. 17–25.

8. Агирбов Ю.И., Мухаметзянов Р.Р. Современные тенденции и экономические проблемы развития садоводства в России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2017. – № 12. – С. 14–20.

9. Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство. – URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 28.05.2023).

10. Fresh fruit production worldwide. 2021. Statista. – URL: <https://www.statista.com/statistics> (дата обращения: 28.05.2023).

11. Fruit consumption per capita, 1961 to 2020. – URL: https://ourworldindata.org/grapher/fruit-consumption-per-capita?tab=table&time=earliest..2020&facet=none&country=OWID_USS~OWID_WRL (дата обращения: 28.05.2023).

12. Соки фруктовые и овощные. Обзор ВЭД. – URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2022/11/Обзор-ВЭД_соки-фруктовые-и-овощные.pdf. (дата обращения: 2.06.2023).

13. Потребление напитков в мире, по типам напитков. – URL: <https://topic.ru/statistics/consumer-goods/non-alcoholic-drinks/potreblenie-napitkov-v-mire-po-tipam-napitkov/> (дата обращения: 28.05.2023).

14. Позняковский В.М., Киселева Т.Ф., Сяглов Д.С. Рынок соков: современное состояние, тенденции развития // Пиво и напитки. – 2009. – № 6. – С. 4–6.

15. Worldwide consumption of fruit juice and fruit nectar by region 2017–2018 Statista. – URL: <https://www.statista.com/statistics/421179/worldwide-consumption-of-fruit-juice-and-fruit-nectar-by-region/> (дата обращения: 28.05.2023).

16. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А., Гольденберг И.А. и др. Методологические проблемы формирования концепции продовольственной безопасности в России // Проблемы прогнозирования. – 2018. – № 5. – С. 127–136.

17. Кайгородцев А.А. Самообеспечение как индикатор национальной продовольственной безопасности // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2006. – № 4 (7). – С. 72–77.

18. Чупина И.П., Трясцин М.М. Механизм развития системы продовольственного самообеспечения // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 11–2 (106). – С. 73–76.

19. Гумеров Р.Р. Продовольственная безопасность: новые подходы к анализу содержания и оценке // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 5. – С. 133–141.

20. Колесняк А.А. Продовольственное обеспечение: региональный аспект: Монография. – М.: Восход-А, 2007. – 219 с.

21. Аренс Х.Д., Галиев Р.Р. Продовольственное самообеспечение России: аспекты полезности // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 5 (188). – С. 162–173.

22. Емельянов А.М. Продовольственная безопасность страны: угроза и факторы нейтрализации // Российский экономический журнал. – 2003. – № 7. – С. 27–40.

23. Куликов И.М. Импортозамещение, зарубежный опыт, состояние и неиспользованные возможности развития садоводства в России // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2015. – № 4. – С. 267–276.

24. Куликов И.М., Минаков И.А. Продовольственная независимость и экономическая доступность фруктов // АПК: Экономика, управление. – 2023. – № 1. – С. 79–85.

25. Ушачев И.Г., Маслова В.В., Колесников А.В. Нарращивание объемов агропромышленного производства для обеспечения продовольственной безопасности и увеличения экспортного потенциала АПК России // Экономика региона. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 1178–1193.

26. Федеральная служба государственной статистики. Баланс ресурсов по фруктам. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278> (дата обращения: 28.05.2023).

27. Производство основных видов продукции в натуральном выражении. ЕМИСС: офиц. сайт. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/57783> (дата обращения: 12.09.2023).

28. Цены, инфляция. Росстат: офиц. сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/price> (дата обращения: 12.09.2023).

PROVIDING THE POPULATION OF RUSSIA WITH DOMESTIC FRUIT AND BERRY PRODUCTS

L.A. VELIBEKOVA

(Institute of social economic researches of the DFRC of the RAS)

The article highlights the problems of the importance and necessity of the permanent consumption of fresh and processed fruit and berry products, which are essential for human health as the main strategic resource of the economy of any state. The aim of the article is to demonstrate the possibilities of providing the population with fresh fruits, berries and processed products

in the volume corresponding to the rational consumption norms, to determine the ways of improving the sustainable development of the domestic fruit subcomplex in the conditions of international sanctions. The methodology of the work is based on the use of official statistics, information from the Internet, as well as research of domestic scientists and economists in the field of food security. The results of the study showed that at the present stage the issues of consumption of fruit and berry products in the required quantity are relevant in all countries. The dynamics of the development of horticulture in the world and in Russia for the period 1960–2021 is analysed. It is shown that Russia has reduced its position in the area of perennial crops and gross harvest of fresh fruits and berries. At the same time, there is a positive trend in the growth of productivity, gross yield and per capita consumption in the period 2010–2021. Compared to developed countries, Russia is characterised by a low level of fruit consumption and a higher level of fruit juice consumption. The article states that it is impossible for the country to achieve self-sufficiency in the analysed products due to the following objective factors: natural and climatic conditions, rather high dependence on imports of finished products and resource components. In this regard, an integrated approach is needed, including both ways to increase domestic production and imports in amounts that do not threaten the country's food security. The results of the article can be used to expand further scientific research in the field of providing the population with fresh and processed fruit and berry products.

Key words: fruit and berry products, horticulture, fruit processing, subcomplex, food security, self-sufficiency, import substitution.

References

1. World problem: insufficient consumption of vegetables and fruits. URL: <https://medportal.ru/mednovosti/mirovaya-problema-nedostatochnoe-potreblenie-ovo-schey-i-fruktov/> (Access date: 24.05.23). (In Rus.)
2. On the beginning of the International Year of Vegetables and Fruits – 2021 (IGOF). URL: <https://www.fao.org/news/story/ru/item/1365067/icode/> (Access date: 24.05.23). (In Rus.)
3. Agirbov Yu.I., Mukhametzyanov R.R., Romanyuk M.A. et al. Russia and other countries on the world market of fruit and berry products. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; 6: 129–147. (In Rus.)
4. Mukhametzyanov R.R., Dzhancharova G.K., Arzamastseva N. Changes in the production of fruits, berries and grapes in Russia. *Ehkonomika sel'skogo khozyaistva Rossii*. 2022; 9: 67–72. (In Rus.)
5. Mukhametzyanov R.R., Platonovskiy N.G., Kovaleva E.V. Factors, parameters and importance of horticulture development in ensuring global food security. *Moscow Economic Journal*. 2022; 9. (In Rus.)
6. Mukhametzyanov R.R., Britik E.V. World production and international trade in fruit and berry products. *Science Review: Theory and Practice*. 2020; 10; 8: 1445–1462. (In Rus.)
7. Mukhametzyanov R.R. Development of the fruit and berry market of Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012; 1: 17–25. (In Rus.)
8. Agirbov Yu.I., Mukhametzyanov R.R. Modern trends and economic problems of horticulture development in Russia. *Ehkonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh redpriyatii*. 2017; 12: 14–20. (In Rus.)
9. Federal State Statistics Service. Agriculture, hunting, forestry. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (Access date: 28.05.23). (In Rus.)
10. Production of fresh fruits all over the world. 2021. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics> (Access date: 28.05.23). (In Rus.)

11. Fruit consumption per capita, 1961 to 2020. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/fruit-consumption-percapita?tab=table&time=earliest> (Access date: 28.05.23). (In Rus.).
12. Fruit and vegetable juices. Overview of foreign economic activity. [Electronic source]. URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2022/11/Обзор-ВЭД_соки-фруктовые-и-овощные.pdf (Access date: 02.06.23). (In Rus.).
13. Consumption of beverages in the world, by type of drinks. [Electronic source]. URL: <https://topic.ru/statistics/consumer-goods/non-alcoholic-drinks/potreblenie-napitkov-v-mire-po-tipam-napitkov> (Access date: 28.05.23). (In Rus.).
14. *Poznyakovskiy V.M., Kiseleva T.F., Syaglov D.S.* Juice market: current state, development trends. *Pivo i napitki*. 2009; 6: 4–6. (In Rus.).
15. Worldwide consumption of fruit juice and fruit nectar by region 2017–2018 Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/421179/worldwide-consumption-of-fruit-juice-and-fruit-nectar-by-region/> (Access date: 28.05.23). (In Rus.).
16. *Ksenofontov M.Yu., Polzиков D.A., Gol'denberg I.A.* Methodological problems of the formation of the concept of food security in Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2018; 5: 127–136. (In Rus.).
17. *Kaygorodtsev A.A.* Self-sufficiency as an indicator of national food security. *National Interests: Priorities and Security*. 2006; 4(7): 72–77. (In Rus.).
18. *Chupina I.P., Tryastin M.M.* Mechanism of development of the food self-sufficiency system. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2012; 11–2 (106): 73–76. (In Rus.).
19. *Gumerov R.R.* Food security: new approaches to content analysis and evaluation. *Studies on Russian Economic Development*. 2020; 5: 133–141. (In Rus.).
20. *Kolesnyak A.A.* Food supply: regional aspect: monograph. M.: Voskhod-A, 2007: 219. ISBN978–5–93055–054–2 (In Rus.).
21. *Arens K.D., Galiev R.R.* Food self-sufficiency of Russia: aspects of utility. *Studies on Russian Economic Development*. 2021; 5(188): 162–173. (In Rus.).
22. *Emel'yanov A.M.* Food security of the country: threat and factors of neutralization. *Russian Economic Journal*. 2003; 7: 27–40. (In Rus.).
23. *Kulikov I.M.* Import substitution, foreign experience, state and unused opportunities for the development of horticulture in Russia. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2015; 4: 267–276. (In Rus.).
24. *Kulikov I.M., Minakov I.A.* Food independence and economic accessibility of fruits. *AIC: Economics, Management*. 2023; 1: 79–85. (In Rus.).
25. Federal State Statistics Service. The balance of resources for fruits. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278> (Access date: 28.05.23). (In Rus.).
26. *Ushachev I.G., Maslova V.V., Kolesnikov A.V.* Increasing the volume of agro-industrial production to ensure food security and increase the export potential of the agro-industrial sector of Russia. *Economy of Regions*. 2022; 4: 1178–1193. (In Rus.).

Велибекова Луиза Аликовна, старший научный сотрудник, канд. экон. наук, доцент, ORCID0000–0003–2104–3424, Институт социально-экономических исследований ДФИЦ РАН; 367030, Российская Федерация, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75; e-mail: l.a._velibecova@mail.ru; тел.: (928) 579–16–65)

Luiza A. Velibekova, CSc (Econ), Senior Research Associate, Associate Professor, Institute of social economic researches of the DFRC of the RAS (8th floor, 75, Yaragskogo Str., Makhachkala, 367030, Russian Federation; phone: (928) 579–16–65; E-mail: l.a._velibecova@mail.ru; ORCID: 0000–0003–2104–3424)

ПОТРЕБЛЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 1998–2022 ГОДЫ: ВЫЗОВЫ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ

Р.А. МИГУНОВ, А.А. СЮТКИНА, Л.И. ХОРУЖИЙ, Н.Ф. ЗАРУК, Е.С. КОЛОМЕЕВА,
М.В. КАГИРОВА, Н.В. АРЗАМАСЦЕВА, Н.А. СЕРГЕЕВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Исследована динамика потребления продовольствия в Российской Федерации за 1998–2022 гг. Методологической основой представленной работы является комплексный подход, в рамках которого рассмотрены длительные ряды динамики потребления продуктов питания в Российской Федерации, основные макроэкономические показатели и взаимосвязи с ними, относящиеся к вопросам развития продовольственных рынков в нашей стране. Отмечен прирост потребления продовольствия на душу населения за 1998–2022 гг.: фруктов и ягод – на 89,6%; мяса и мясопродуктов – на 62,6%; масла растительного – на 42,2%; овощей и бахчевых – на 35,2%; яиц и яйцепродуктов – на 24,0%; сахара – на 12,7%; молока и молочных продуктов – на 8,2%. Отмечено также сокращение потребления: картофеля – на 20,7%; хлебных продуктов – на 2,2%. Оценено потребление основных продуктов питания в сравнении с рациональными нормами питания: выше нормы – сахар, масло растительное, мясо и мясопродукты, хлебные продукты, яйца и яйцепродукты; ниже нормы – картофель, молоко и молочная продукция, овощи и бахчевые, фрукты и ягоды. Подтверждена гипотеза о том, что с ростом доходов населения увеличивается потребление дорогих продуктов питания в рационе, улучшается качество продовольствия и возможно снижение потребления низкокачественных товаров и/или товаров Гиффена в рационе населения. Представлено влияние 7 основных показателей макроэкономической трансформации на потребление 9 основных продуктов питания. Установлена целесообразность научной проработки концепции изменения политики государственного регулирования аграрного сектора с поддержки предложения на поддержку спроса/потребления, разработку институтов и институциональных механизмов внутренней продовольственной помощи в России.

Ключевые слова: сельское хозяйство, растениеводство, животноводство, специализация, локализация, экономический рост, вызовы, институты, институциональная среда.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075–15–2022–747 от 13 мая 2022 г. о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с п. 4 ст. 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации (внутренний номер – МК-3783.2022.2).

Введение

Сравнительный и институционально-эволюционный экономический анализ является важным направлением развития исследований, в том числе в области сельского хозяйства, поскольку позволяет оценивать степень развития хозяйственных отношений в различных регионах и в изменившихся условиях. Для Российской Федерации практическая значимость подобных межрегиональных сопоставлений обуславливается многими факторами, в том числе в части потребления продуктов питания, и может быть основой для корректировки отдельных направлений аграрной политики. В сельском хозяйстве вопросы потребления продуктов питания получили

особое распространение. Современные исследования направлены на изучение различных аспектов:

– Рыночное равновесие на рынке продовольствия и основные макроэкономические показатели [9, 13, 18].

– Трансформации в потреблении продуктов питания в региональном аспекте [5, 6, 8, 12, 23].

– Потребление продуктов питания и продовольственная безопасность [17, 21, 22, 25].

Однако исследованию длительной динамики потребления продуктов питания в региональном разрезе (по федеральным округам) в Российской Федерации уделяется меньшее внимание, что и обусловило выбор темы исследований.

Цель исследований: рассмотреть вопросы трансформации потребления продуктов питания в Российской Федерации, предложить институциональные механизмы по решению возникающих вызовов.

Задачи, вытекающие из поставленной цели:

1. Исследовать динамику потребления основных продуктов питания в Российской Федерации за 1998–2022 гг.

2. Соотнести динамику потребления продовольствия с рациональными нормами потребления.

3. Показать влияние основных показателей макроэкономической трансформации на потребление основных продуктов питания.

4. Предложить институциональные ответы на возникающие вызовы в потреблении основных продуктов питания в современной России.

Материал и методы исследований

Методологической основой представленной работы является комплексный подход, в рамках которого рассмотрены длительные ряды динамики потребления продуктов питания в Российской Федерации, основные макроэкономические показатели и взаимосвязи между ними, связанные с вопросами развития продовольственных рынков в нашей стране.

В исследованиях использовались следующие показатели¹:

– При расчете показателей, отражающих потребление продуктов питания на душу населения, использовался показатель «Потребление основных продуктов питания (в расчете на душу населения)»² (единица измерения – кг на душу населения; периодичность – годовая; длина временного ряда – 1998–2022 гг.; источник – Федеральная служба государственной статистики). Расчет производился по следующим укрупненным группам:

- ✓ молоко и молочная продукция;
- ✓ сахар;
- ✓ картофель;
- ✓ масло растительное;
- ✓ мясо и мясопродукты;

¹ Расчет по Российской Федерации и федеральным округам без учета статистической информации по Донецкой Народной Республике (ДНР), Луганской Народной Республике (ЛНР), Запорожской и Херсонской областям.

² Определяется с учетом потребления как произведенных в стране, так и импортированных продуктов, независимо от вида потребления и способа продажи продуктов населению. При расчетах потребления продуктов на душу населения используются данные о фонде личного потребления и среднегодовой численности населения в соответствующем году.

- ✓ овощи и бахчевые;
- ✓ фрукты и ягоды;
- ✓ хлебные продукты;
- ✓ яйца и яйцепродукты (рис. 1).

В качестве отражающих макроэкономические трансформации использовались следующие показатели (табл. 1):

– ПК1 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах 2022 года (окончательные данные)»³ (единица измерения – трлн руб. в ценах 2022 г.; периодичность – годовая; длина временного ряда – 1998–2022 гг.; источник – расчеты авторов по данным Федеральной службы государственной статистики).

– ПК2 «Индексы производства продукции сельского хозяйства (окончательные данные) (процент) в хозяйствах всех категорий по отношению к уровню 1990 года»⁴ (единица измерения –%; периодичность – годовая; длина временного ряда – 1998–2022 гг.; источник – Федеральная служба государственной статистики).

– ПК3 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах (окончательные данные) в ценах 2022 года в расчете на посевные площади сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий»⁵ (единица измерения – тыс. руб./га; периодичность – годовая; длина временного ряда – 1998–2022 гг.; источник – расчеты авторов по данным Федеральной службы государственной статистики).

– ПК4 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах (окончательные данные) в ценах 2022 года в расчете на среднегодовую численность занятых в сельском хозяйстве»⁶ (единица измерения – тыс. руб./чел.; периодичность – годовая; длина временного ряда – 1998–2022 гг.; источник – расчеты авторов по данным Федеральной службы государственной статистики).

– ПК5 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах (окончательные данные) в ценах 2022 года в расчете на душу постоянного населения» (единица измерения – тыс. руб./чел.; периодичность – годовая; длина временного ряда – 1998–2022 гг.; источник – расчеты авторов по данным Федеральной службы государственной статистики).

³ Продукция сельского хозяйства представляет собой сумму данных об объеме продукции растениеводства и животноводства всех сельхозпроизводителей, включая хозяйства индивидуального сектора (хозяйства населения, крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели), в стоимостной оценке по сопоставимым ценам 2022 г.

⁴ Индекс производства продукции сельского хозяйства – относительный показатель, характеризующий изменение объема произведенных продуктов растениеводства и животноводства в сравниваемых периодах. Для исчисления индекса производства продукции сельского хозяйства используется показатель ее объема в сопоставимых ценах предыдущего года.

⁵ Показатель отражает уточненные данные о размерах посевных площадей сельскохозяйственных культур с учетом их фактического сельскохозяйственного использования; формируется по хозяйствам всех категорий на основе сплошного обследования по ф. № 29-сх сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства; с применением выборочного метода обследования.

⁶ К занятым относятся лица, которые выполняли любую деятельность, связанную с производством товаров или оказанием услуг за оплату или прибыль. В численность занятых включаются также лица, временно отсутствовавшие на рабочем месте в течение короткого промежутка времени и сохранившие связь с рабочим местом во время отсутствия. Данные о среднегодовой численности занятых в экономике формируются по основной работе гражданского населения один раз в год при составлении баланса трудовых ресурсов на основе интеграции нескольких источников: сведений организаций, материалов выборочного обследования рабочей силы, данных органов исполнительной власти. В среднегодовую численность занятых включаются работающие иностранные граждане, как постоянно проживающие, так и временно находящиеся на территории Российской Федерации.

– ПК6 «Валовой региональный продукт в постоянных ценах 2011 года на душу населения»⁷ (единица измерения – тыс. руб./чел.; периодичность – годовая; длина временного ряда – 2004–2020 гг.; источник – расчеты авторов по данным Федеральной службы государственной статистики).

– ПК7 «Рост реальной заработной платы относительно уровня 2011 года (процент)»⁸ (единица измерения – %; периодичность – годовая; длина временного ряда – 2011–2022 гг.; источник – расчеты авторов по данным Федеральной службы государственной статистики).

Для расчета соотношения объемов потребляемых продуктов питания с необходимыми рациональными нормами потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (рис. 2), использовалась следующая формула:

$$\%ПЗН = \frac{П}{НП} \times 100\%,$$

где %ПЗН – соотношение потребления продуктов питания с рациональными нормами потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, %; П – фактическое потребление продуктов питания в конкретном регионе на душу населения, кг; НП – норма потребления конкретных пищевых продуктов, кг.

Норма потребления пищевых продуктов рассчитана на основании приказа Минздрава РФ от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» (зерновые – 96,0 кг; масличные – 24,0 кг; сахар – 8,0 кг; мясо – 72,0 кг; яйца – 14,4 кг; свежее молоко – 108,0 кг; сыр – 7,0 кг; рыба – 22,0 кг) [16].

Для расчета коэффициента корреляции (табл. 1) использовалась функция КОРРЕЛ в программе Microsoft Excel. Для оценки уровня корреляции использовались следующие значения:

- при $r \geq 0,85$ – связь очень тесная, прямая;
- при $0,70 \leq r < 0,85$ – связь тесная, прямая;
- при $0,50 \leq r < 0,70$ – связь средняя, прямая;
- при $r < 0,50$ – связь слабая, прямая;
- при $r \leq -0,85$ – связь очень тесная, обратная;
- при $-0,85 < r \leq -0,70$ – связь тесная (сильная), обратная;
- при $-0,70 < r \leq -0,50$ – связь средняя, обратная;
- при $r < -0,50$ – связь слабая, обратная [10].

Для расчета коэффициента вариации, который показывает степень изменчивости по отношению к среднему показателю выборки, использовалась следующая формула (табл. 1):

$$v_{\sigma} = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%,$$

где v_{σ} – значение коэффициента вариации, %; σ – стандартное отклонение выборки (функция в программе Microsoft Excel – СТАНДОТКЛОН(ЗНАЧ; ЗНАЧ)); μ – среднее выборки (функция в программе Microsoft Excel – СРЗНАЧ(ЗНАЧ; ЗНАЧ)).

⁷ Объем валового регионального продукта в расчете на одного жителя субъекта Российской Федерации рассчитывается как отношение валового регионального продукта в постоянных ценах 2011 г. к среднегодовой численности постоянного населения.

⁸ Реальная начисленная заработная плата характеризует покупательную способность заработной платы в отчетном периоде в связи с изменением цен на потребительские товары и услуги по сравнению с базисным периодом.

Совокупность считается:

- однородной при коэффициенте вариации $u_s \leq 10\%$;
- достаточно однородной при $10\% < u_s \leq 20\%$
- достаточно разнородной при $20\% < u_s \leq 33\%$
- разнородной при $u_s > 33\%$ [15].

Для анализа использованы данные Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС).

Результаты и их обсуждение

Потребление основных продуктов питания в Российской Федерации в исследуемый период (1998–2022 гг.) показывает разнонаправленную динамику:

✓ В среднем за 2018–2022 гг. по сравнению с 1998–2002 гг. (1998–2002 гг. – это период постепенного восстановительного роста аграрного сектора после сложных климатических условий прежнего периода; 2018–2022 гг. – это период роста сельскохозяйственного производства в условиях импортозамещения [2–4, 6, 7, 14]):

– увеличилось потребление – фруктов и ягод на 89,6%, мяса и мясопродуктов на 62,6%, масла растительного на 42,2%, овощей и бахчевых на 35,2%, яиц и яйцепродуктов на 24,0%, сахара на 12,7%, молока и молочных продуктов на 8,2%;

– в то же время сократилось потребление картофеля на 20,7% и хлебных продуктов на 2,2% (рис. 1).

✓ Одновременно в 2018–2022 гг. отмечается сравнению с 2013–2017 гг. (2013–2017 гг. – это предшествующий импортозамещению период начала реализации второй Госпрограммы развития сельского хозяйства) тенденция:

– увеличения прироста потребления молока и молочных продуктов (до 0,6% с –3,3%); овощей и бахчевых (до 3,8% с 1,8%); яиц и яйцепродуктов (до 4,8% с 2,0%);

– сокращения прироста потребления продуктов питания для масла растительного (до 1,2% с 3,6%); мяса и мясопродуктов (до 3,0% с 7,2%); фруктов и ягод (до 1,3% с 7,4%);

– абсолютного сокращения в потреблении сахара (–1,0%), картофеля (–5,5%), хлебных продуктов (–1,2%).

Сами ряды данных по потреблению продуктов питания являются:

– однородными для хлебных продуктов ($u_s = 1,4\%$), молока и молочной продукции ($u_s = 4,0\%$), сахара ($u_s = 5,3\%$), яиц и яйцепродуктов ($u_s = 7,9\%$), картофеля ($u_s = 9,7\%$);

– достаточно однородными для овощей и бахчевых ($u_s = 11,3\%$), масла растительного ($u_s = 13,0\%$), мяса и мясопродуктов ($u_s = 18,2\%$);

– достаточно разнородными для фруктов и ягод ($u_s = 22,8\%$), что связано с почти двукратным ростом показателя за исследуемый период.

Важным аспектом анализа потребления продовольствия в Российской Федерации в историко-эволюционном аспекте является анализ потребления продуктов питания и устойчивости этого потребления во временном разрезе в сравнении с рациональными нормами потребления пищевых продуктов (рис. 2).

В 2022 г. в среднем в России потребление (рис. 2) на уровне или выше норм рационального питания осуществлялось по 5 основным продуктам питания, % от норм:

- сахар (488%);
- масло растительное (115%);
- мясо и мясопродукты (105%);
- хлебные продукты (120%);
- яйца и яйцепродукты (111%).

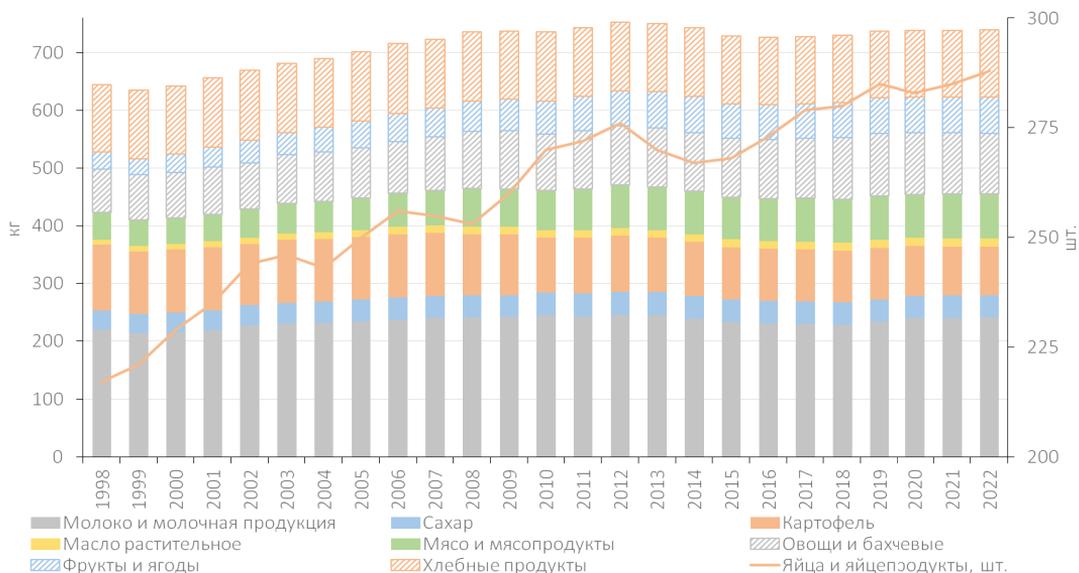


Рис. 1. Потребление основных продуктов питания в Российской Федерации за 1998–2022 гг., кг на душу населения в год (рассчитано авторами на основе данных Единой межведомственной информационно-статистической системы ЕМИСС – <https://fedstat.ru/> [19])

По 4 основным продуктам потребление было меньше рекомендуемой нормы, % от нормы:

- картофель (93%);
- молоко и молочная продукция (75%);
- овощи и бахчевые (74%);
- фрукты и ягоды (63%).

Долгосрочная динамика (1998–2022 гг.) потребления основных продуктов питания является положительной по 8 номенклатурным группам и отрицательной по картофелю.

Таким образом, отмеченная тенденция увеличения темпов потребления молока и молочных продуктов, овощей и бахчевых, фруктов и ягод позволяет восполнять недостатки в потреблении продуктов питания и приближаться к физиологической норме. Увеличение потребления мяса и мясопродуктов, яиц и яйцопродуктов при потреблении выше нормы позволяет восполнять недостатки рациона, связанные с недопотреблением остальных основных продуктов питания.

В этой части могут быть сформированы рекомендации по увеличению спроса и предложения на следующих товарных рынках основных продуктов питания: фрукты и ягоды; овощи и бахчевые; картофель; молоко и молочная продукция. Более детальный анализ также показывает, что в отдельных группах продуктов питания (например, на мясном рынке) необходимо уделить особое внимание не столько объемам потребления, сколько его структуре.

В условиях отмечаемого роста доходов, в том числе заработной платы населения (рис. 3), подобная тенденция подтверждает гипотезу, высказанную в 1857 Э. Энгелем [1] и заключающуюся в том, что с ростом доходов населения увеличивается потребление дорогих продуктов питания в рационе, улучшается качество продовольствия и возможно снижение потребления низкокачественных товаров и/или товаров Гиффена в рационе населения. Данная тенденция отмечается авторами при анализе и потребления продуктов питания в разрезе 10-децильных групп населения в России [17], и конкретных групп продовольствия [11, 25].

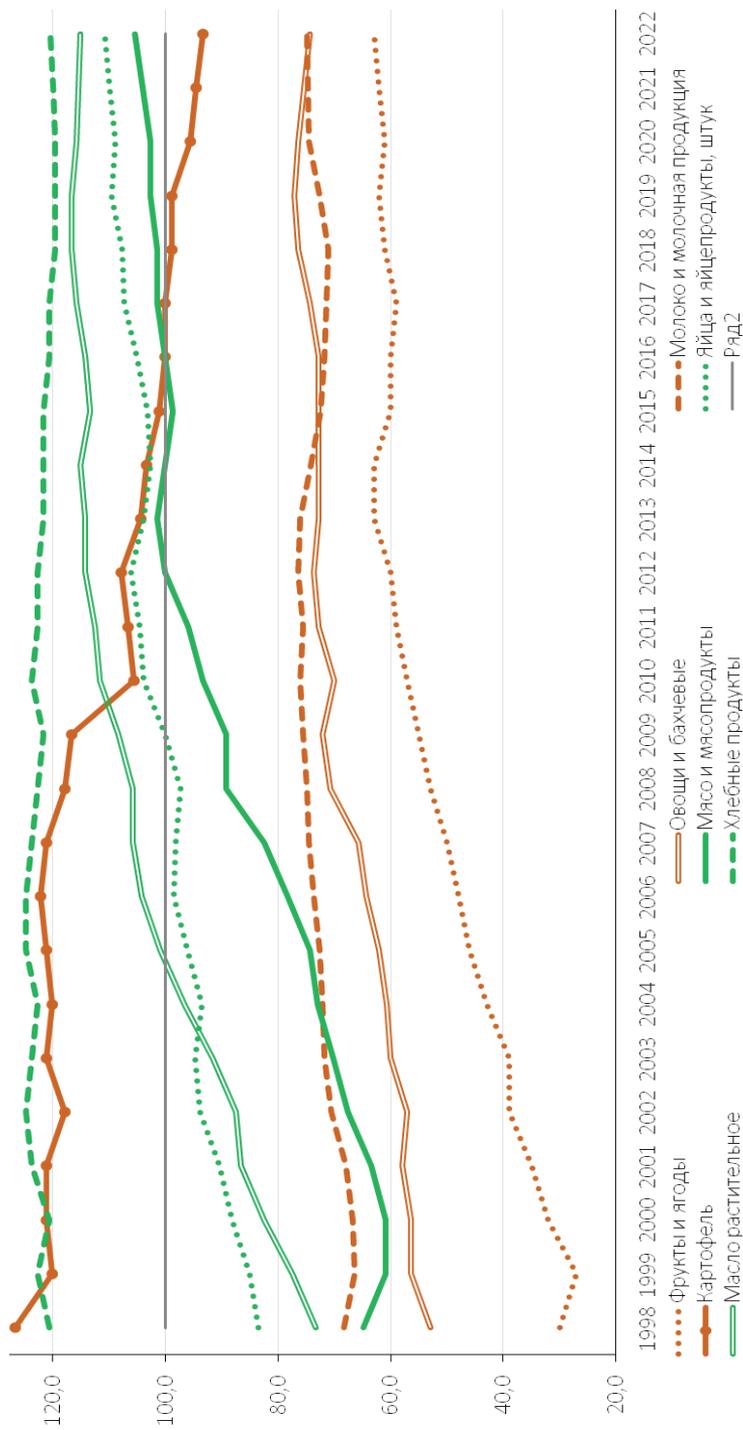


Рис. 2. Потребление основных продуктов питания в Российской Федерации за 1998–2022 гг. в сравнении с необходимыми рациональными нормами потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, % (расчитано авторами на основе данных Единой межведомственной информационно-статистической системы ЕМИСС – <https://fedstat.ru/> [19])

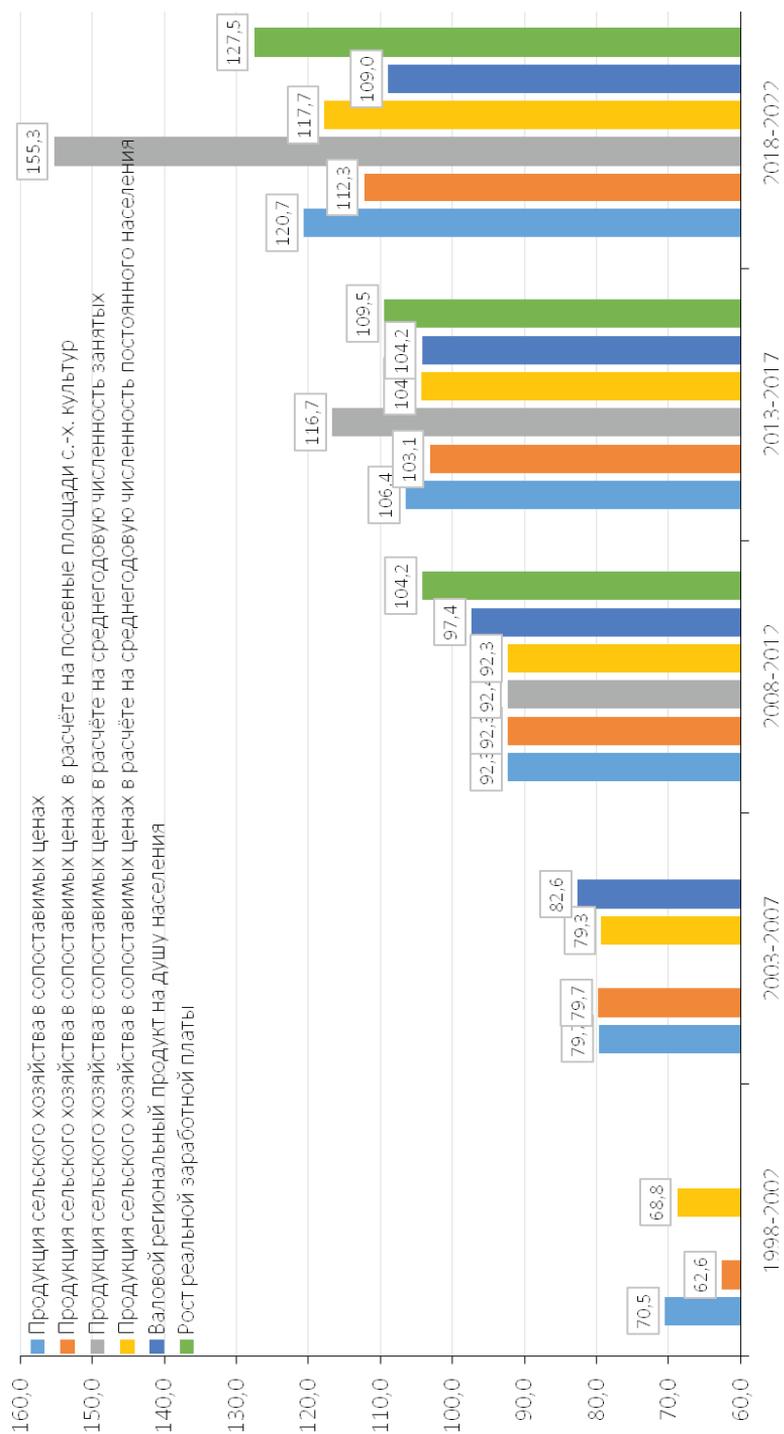


Рис. 3. Эффект и эффективность использования производственного потенциала сельского хозяйства в Российской Федерации за 1998–2022 гг., %, где показатели 2011 г. = 100%; представлены средние данные за несколько лет (рассчитано авторами на основе данных Единой межведомственной информационно-статистической системы ЕМИСС – <https://fedstat.ru/> [19])

За исследуемый период происходила положительная, хотя и неоднородная динамика развития показателей эффекта и эффективности развития сельского хозяйства в России. Так, рост валовой продукции сельского хозяйства в 2018–2022 гг. составил 20,7% по сравнению с 2011 г., в то время как показатели эффективности отрасли выросли на 12,3% в расчете на единицу посевных площадей, на 55,3% – в расчете на среднегодовую численность занятых, на 17,7% – в расчете на численность населения.

Таким образом, эффективность использования трудовых ресурсов повышалась быстрее эффективности использования земли, подушное производство в аграрной сфере возрастало быстрее, чем в среднем экономика (подушное ВРП), рост реальной заработной платы (27,5%) обгонял рост подушное производство продуктов питания (17,7%). Рост в тот же период мирового сельскохозяйственного производства на 65%, подушное мирового производства в аграрной сфере на 24% показывает, что в отечественном аграрном секторе имеются значительные резервы для роста как на экстенсивной, так и на интенсивной основе.

В работе на основе комплекса статистических данных по 9 основным продуктам питания построены ряды данных по потреблению за период 1998–2022 гг. (рис. 1), а также по основным макроэкономическим показателям развития отрасли и экономики: ПК1; ПК2; ПК3; ПК4; ПК5; ПК6; ПК7 (рис. 3). Далее на основании возникающих временных рядов данных были подсчитаны коэффициенты корреляции между всеми показателями (ПК1; ПК2; ПК3; ПК4; ПК5; ПК6; ПК7) и всеми основными продуктами питания (табл. 1).

Полученные данные позволяют судить о следующем:

- производство валовой продукции сельского хозяйства (ПК1) показывает очень тесную (К, МР, МЯИМП, ОИБ, ФИЯ, ЯИЯ), тесную (С), среднюю (МОИМП, ХП) связь с потреблением всех основных продуктов питания;

- индексы производства продукции сельского хозяйства (ПК2) не оказывают значимого статистического влияния на потребление основных продуктов питания;

- производство валовой продукции сельского хозяйства в расчете на посевные площади (ПК3) показывает очень тесную (К, МР, МЯИМП, ОИБ, ФИЯ, ЯИЯ), тесную (С), среднюю (МОИМП, ХП) связь с потреблением всех основных продуктов питания;

- производство валовой продукции сельского хозяйства в расчете на занятых (ПК4) показывает очень тесную (К, МЯИМП, ХП, ЯИЯ), тесную (МР, ОИБ), среднюю (С, ФИЯ) связь с потреблением 8 основных продуктов питания;

- подушное производство в аграрной сфере (ПК5) показывает очень тесную (К, МР, МЯИМП, ОИБ, ФИЯ, ЯИЯ), тесную (С), среднюю (МОИМП, ХП) связь с потреблением всех основных продуктов питания;

- валовое макроэкономическое производство (ПК6) показывает очень тесную (К, МР, МЯИМП, ОИБ, ФИЯ, ЯИЯ), тесную (ХП), среднюю (С) связь с потреблением 8 основных продуктов питания;

- доходы населения (ПК7) показывают очень тесную (МЯИМП), тесную (К, ХП, ЯИЯ), среднюю (МР, ОИБ, ФИЯ) связь с потреблением 7 основных продуктов питания.

В исследуемый период за 1998–2022 годы:

- рост сельскохозяйственного производства составил более 70%;

- производство сельскохозяйственной продукции как в части эффектов, так и в части эффективности оказывает значимое влияние на потребление продуктов питания;

- рост в потреблении продуктов питания по основным продуктам питания, кроме фруктов и ягод, отстаёт от этой динамики;

- по 4 основным продуктам (картофель, молоко и молочная продукция, овощи и бахчевые, фрукты и ягоды) потребление меньше рекомендуемой нормы;

- по 2 основным продуктам (картофелю и хлебным продуктам) потребление сократилось.

Таблица 1

**Значения коэффициентов корреляции потребления продуктов питания на душу населения
и основных макроэкономических показателей, ед.**

Наименования продуктов питания Основные макроэкономические показатели	1									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Молоко и молочная продукция (МоМП)	Сахар (С)	Картофель (К)	Масло растительное (МР)	Мясо и мясопродукты (МяМП)	Овощи и бахчевые (ОбВ)	Фрукты и ягоды (ФиЯ)	Хлебные продукты (ХЛП)	Яйца и яйцапродукты (ЯиЯП)	
ПК1 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах»	0,51	0,72	-0,93	0,86	0,91	0,91	0,88	-0,62	0,92	
ПК2 «Индексы производства продукции сельского хозяйства»	0,08	0,28	-0,15	0,2	0,14	0,21	0,18	0,03	0,18	
ПК3 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на посевные площади сельскохозяйственных культур»	0,62	0,85	-0,90	0,95	0,95	0,97	0,95	-0,50	0,96	
ПК4 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на среднегодовую численность занятых в сельском хозяйстве»	-0,34	-0,56	-0,95	0,74	0,88	0,77	0,56	-0,96	0,87	
ПК5 «Продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на душу постоянного населения»	0,55	0,75	-0,93	0,88	0,93	0,92	0,9	-0,59	0,94	
ПК6 «Валовой региональный продукт в постоянных ценах на душу населения»	0,02	0,67	-0,86	0,96	0,97	0,95	0,94	-0,75	0,90	
ПК7 «Рост реальной заработной платы»	0,14	-0,44	-0,82	0,63	0,92	0,65	0,68	-0,75	0,80	

Примечание. Рассчитано авторами на основе данных Единой межведомственной информационно-статистической системы ЕМИСС – <https://fedstat.ru/> [19].

Выявленные связи служат аргументами в пользу гипотезы о том, что решающим фактором роста потребления продовольствия стал рост его производства внутри страны. Вместе с тем строгая проверка этой гипотезы требует учесть весь комплекс факторов потребления, включая в их число динамику реальных доходов населения и внешней торговли продовольствием. Это предмет будущих исследований. Кроме того, проведённый анализ показал, что структура потребления всё ещё требует совершенствования. Отсюда вытекает ещё одна научная задача для предстоящих исследований: изучить целесообразность ряда корректировок экономической политики государства в аграрной сфере.

Таким образом, построенные взаимосвязи в потреблении продуктов питания и основных показателей макроэкономической трансформации позволяют сделать определенные выводы о необходимости изменения экономической политики государства в аграрной сфере, построенной на преимущественной поддержке производства, а не потребления и спроса.

Во-первых, односторонняя политика регулирования агропродовольственного рынка в России через преимущественную поддержку предложения может склонять сельскохозяйственных товаропроизводителей к выращиванию и реализации определенных видов продукции, не учитывая спроса на другие продукты или меняющиеся параметры рыночного равновесия в аграрной сфере. Это может приводить к нестабильности рыночного равновесия в сельском хозяйстве, неэффективному производству и аллокации благ, длительным кризисам в отрасли.

Во-вторых, политика поддержки производителей со стороны государства может создавать зависимость от такой помощи, снижать стимулы у предприятий к внедрению эффективных технологий, инноваций и повышению эффективности деятельности. В итоге сельское хозяйство будет постепенно проигрывать на мировом рынке и становиться неконкурентоспособным.

В-третьих, односторонняя поддержка производителей может ограничить их доступ к новым знаниям и технологиям, необходимых для устойчивого развития сельского хозяйства. Более гибкий и менее рентоориентированный подход к регулированию рынка представляет собой поддержку спроса, стимулирование инноваций и поддержку развития технологической инфраструктуры, что в конечном счете способно обеспечить долгосрочные положительные темпы экономического роста аграрной сферы.

В институциональные механизмы регулирования аграрной сферы необходимо внедрить правила, институты, институциональные механизмы, направленные на поддержку спроса и потребления продовольствия (институт поддержки спроса на продовольствие среди беременных и кормящих матерей и ранних детей; институт социального питания в школах и дошкольных учреждениях; институт адресной поддержки спроса на продовольствие среди нуждающихся граждан). Различные оценки показывают, что стоимость подобных мер поддержки составляет 300–450 млрд руб. в год [5, 13, 20], которые в итоге могут оказать большую поддержку отрасли по сравнению с поддержкой производителей.

Выводы

1. Отмечена динамика потребления основных продуктов питания в Российской Федерации за 1998–2022 гг. Увеличилось потребление: фруктов и ягод – на 89,6%; мяса и мясопродуктов – на 62,6%; масла растительного – на 42,2%; овощей и бахчевых – на 35,2%; яиц и яйцепродуктов – на 24,0%; сахара – на 12,7%; молока и молочных продуктов – на 8,2%. Сократилось потребление: картофеля – на 20,7%; хлебных продуктов – на 2,2%.

2. Исследована однородность рядов потребления продуктов питания в Российской Федерации. Так, однородными являются ряды для хлебных продуктов (1,4%), молока и молочной продукции (4,0%), сахара (5,3%), яиц и яйцепродуктов (7,9%), картофеля (=9,7%); достаточно однородными – для овощей и бахчевых (11,3%), масла растительного (13,0%), мяса и мясопродуктов (18,2%); достаточно разнородными – для фруктов и ягод (22,8%).

3. Оценено потребление основных продуктов питания в сравнении с рациональными нормами питания: сахар (488%); масло растительное (115%); мясо и мясопродукты (105%); хлебные продукты (120%); яйца и яйцепродукты (111%); картофель (93%); молоко и молочная продукция (75%); овощи и бахчевые (74%); фрукты и ягоды (63%).

4. Подтверждена гипотеза о том, что с ростом доходов населения увеличивается потребление дорогих продуктов питания в рационе, улучшается качество продовольствия и возможно снижение потребления низкокачественных товаров и/или товаров Гиффена в рационе населения.

5. Показано влияние 7 основных показателей макроэкономической трансформации (продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах; индексы производства продукции сельского хозяйства; продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на посевные площади сельскохозяйственных культур; продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на среднегодовую численность занятых в сельском хозяйстве; продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на душу постоянного населения; валовой региональный продукт в постоянных ценах на душу населения; рост реальной заработной платы) на потребление 9 основных продуктов питания (молоко и молочная продукция; сахар; картофель; масло растительное; мясо и мясопродукты; овощи и бахчевые; фрукты и ягоды; хлебные продукты; яйца и яйцепродукты).

6. Установлена целесообразность научной проработки концепции изменения политики государственного регулирования аграрного сектора с поддержки предложения на поддержку спроса / потребления, разработку институтов и институциональных механизмов внутренней продовольственной помощи в России.

Библиографический список

1. Anker Richard. Engel's Law Around the World 150 Years Later, Working Papers, Political Economy Research Institute, University of Massachusetts at Amherst. – 2011. – URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:uma:periwp:wp247>.

2. *Gaysin R.S., Migunov R.A.* Land Property from a Position of Political Economy // *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*. – 2022. – Pp. 3–9. – DOI: 10.1007/978–981–19–1125–5_1.

3. *Migunov R.A., Gaysin R.S.* Institutional mechanisms for unrelated agricultural support in the Russian Federation and the Federal Republic of Germany // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. – 2021. – Vol. 19, № 5. – Pp. 955–962. – DOI: 10.22124/cjes.2021.5274.

4. *Гайсин Р.С., Кирюшин О.И., Мигунов Р.А., Ротенко Е.С.* Аграрные циклы. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2016. – 143 с.

5. *Гайсин Р.С., Мигунов Р.А.* Институты поддержки потребления и спроса на продовольствие в США и России // *Российский экономический журнал*. – 2018. – № 2. – С. 104–116. – EDN XQHKKL.

6. *Гайсин Р.С., Мигунов Р.А.* Неравносесный рост производства и потребления продовольствия в России // *Экономика сельского хозяйства России*. – 2018. – № 3. – С. 13–16. – EDN YVODEI.

7. *Гайсин Р.С., Мигунов Р.А.* Развитие институтов несвязанной поддержки доходов сельхозпроизводителей: опыт Германии и уроки для России // Экономика сельского хозяйства России. – 2017. – № 10. – С. 2–10. – EDN ZMZLYH.
8. *Елагина А.С.* Диспаритет доступности продовольствия для городского и сельского населения // Теории и проблемы политических исследований. – 2017. – Т. 6, № 1В. – С. 312–322. – EDN XVJERV.
9. *Елагина А.С.* Оценка доступности продовольствия в Российской Федерации // Теории и проблемы политических исследований. – 2016. – № 4. – С. 192–200. – EDN XHWUUR.
10. *Зинченко А.П.* Статистика: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 080502.65 «Экономика и управление на предприятии АПК» / Международная ассоциация «Агрообразование». – М.: Издательство «КолосС», 2007. – 556 с. – EDN QOOSAR.
11. *Ипатов А.В., Степанян С.Г.* Продовольственная безопасность Российской Федерации в условиях санкционной политики государства: критерии оценки и показатели // Вектор экономики. – 2017. – № 9 (15). – С. 22. – EDN ZMIPJF.
12. *Куимов В.В., Щербенко Е.В.* Продовольственный рынок Сибири: возможно ли экспортировать в страны Азиатско-Тихоокеанского региона? // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Гуманитарные науки». – 2015. – Т. 8, № 5. – С. 166–179. – EDN TPIFRH.
13. *Мигунов Р.А.* Институциональная среда устойчивого экономического роста сельского хозяйства: Дис. ... канд. экон. наук. – Москва, 2018. – 194 с. – EDN URXKBQ.
14. *Мигунов Р.А.* Институциональные преобразования сельского хозяйства РСФСР и их влияние на экономический рост отрасли (1950–1990 гг.) // Проблемы современной экономики. – 2016. – № 2 (58). – С. 227–231. – EDN WOOFBX.
15. *Полякова В.В., Шаброва Н.В.* Основы теории статистики: Учебное пособие / Министерство образования и науки Российской Федерации; Уральский федеральный университет. – 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург: Изд-во Уральского федерального университета, 2015. – 148 с.
16. Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Минздрава РФ от 19 августа 2016 г. № 614. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=381786>, свободный (дата обращения: 19.06.2023).
17. *Мигунов Р.А., Сюткина А.А., Зарук Н.Ф., Коломеева Е.С.* Продовольственная безопасность в контексте наличия, доступности, использования и устойчивости потребления продовольствия в России в 2019–2021 гг. // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 1. – С. 2–10. – DOI: 10.32651/231–2. – EDN HDYIFU.
18. *Решетникова Е.Г.* Стабильный внутренний спрос на продовольствие как фактор устойчивого развития национального агропродовольственного комплекса // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 1 (385). – С. 103–106. – DOI: 10.55186/25876740_2022_65_1_103. – EDN PWJVTO.
19. Статистические данные единой межведомственной информационно-статистической системы. – [Электронный ресурс]. – URL: www.fedstat.ru, свободный.
20. *Ушачев И.Г., Колесников А.В.* Экономическая доступность продовольствия для населения Российской Федерации // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2021. – № 4. – С. 59–77. – DOI: 10.52180/2073–6487_2021_4_59_77. – EDN DJFHLB.
21. *Фудина Е.В.* Развитие сельского хозяйства и продовольственная безопасность России // Успехи современной науки. – 2015. – № 5. – С. 55–57. – EDN VBQKLP.

22. Черешнев В.А., Позняковский В.М. Проблема продовольственной безопасности: национальные и международные аспекты // Индустрия питания. – 2016. – № 1 (1). – С. 6–14. – EDN YHWOQL.

23. Шелковников С.А., Чепелева К.В. Формирование спроса на экспортоориентированную продукцию АПК Сибири // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 4 (388). – С. 338–343. – DOI: 10.55186/25876740_2022_65_4_338. – EDN VZZDWJ.

24. Широков С.Н., Трушкина И.Р. Подходы к оценке объемов производства и потребности в зерне и обеспечение продовольственной безопасности государства // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 4 (382). – С. 50–54. – DOI: 10.24412/2587-6740-2021-4-50-54. – EDN KXYODZ.

25. Шкиотов С.В., Маркин М.И. Влияние реальных располагаемых денежных доходов населения на экономическую доступность продовольствия в России // Теоретическая экономика. – 2021. – № 6 (78). – С. 119–125. – DOI: 10.52957/22213260_2021_6_119. – EDN DRBDCK.

FOOD CONSUMPTION IN THE RUSSIAN FEDERATION FOR 1998–2022: CHALLENGES AND INSTITUTIONAL RESPONSES

R.A. MIGUNOV, A.A. SYUTKINA, L.I. KHORUZHIY, N.F. ZARUK, E.S. KOLOMEEVA,
M.V. KAGIROVA, N.V. ARZAMASTSEVA, N.A. SERGEEVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The article studies the dynamics of food consumption in the Russian Federation for 1998–2022. The methodological basis of the presented work is a comprehensive approach, which takes into account the long-term dynamics of food consumption in the Russian Federation, the main macroeconomic indicators and their interrelations in connection with the issues of the development of the food market in our country. For the period 1998–2022, the per capita consumption of food products has increased: fruit and berries by 89.6%, meat and meat products by 62.6%, vegetable oil by 42.2%, vegetables and melons by 35.2%, eggs and egg products by 24.0%, sugar by 12.7%, milk and milk products by 8.2%; the consumption of potatoes has decreased by 20.7%, bread products by 2.2%. The consumption of staple foodstuffs was assessed in relation to the dietary intake levels: above the norm: sugar, vegetable oil, meat and meat products, bread products, eggs and egg products; below the norm: potatoes, milk and dairy products, vegetables and melons, fruit and berries. The hypothesis was confirmed that as the income of the population increases, the consumption of expensive foods in the diet increases, the quality of food improves and the consumption of low quality and/or Giffen goods in the diet of the population may decrease. The influence of seven main indicators of macroeconomic transformation on the consumption of nine staple foodstuffs is shown. The concept of changing the policy of state regulation of the agrarian sector from supply support to demand/consumption support, developing institutions and institutional mechanisms of domestic food aid in Russia is proposed.

Key words: agriculture, crop production, livestock breeding, specialisation, localisation, economic growth, challenges, institutions, institutional environment.

Acknowledgements. This work was supported by the Ministry of Education and Science of Russia under agreement No. 075–15–2022–747 dated 13.05.2022 on granting from the federal budget in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation (internal number MK-3783.2022.2).

References

1. *Anker R. Engel's Law Around the World 150 Years Later. Working Papers. Political Economy Research Institute, University of Massachusetts at Amherst, 2011. <http://EconPapers.repec.org/RePEc:uma:periwp:wp247>.*
2. *Gaysin R.S., Migunov R.A. Land Property from a Position of Political Economy. Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. 2022: 3–9. DOI 10.1007/978-981-19-1125-5_1.*
3. *Migunov R.A., Gaysin R.S. Institutional mechanisms for unrelated agricultural support in the Russian Federation and the Federal Republic of Germany. Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021; 19; 5: 955–962. DOI 10.22124/cjes.2021.5274.*
4. *Gaysin R.S., Kiryushin O.I., Migunov R.A., Rotenko E.S. Agricultural cycles. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet – MSKha im. K.A. Timiryazeva, 2016: 143. ISBN978-5-9675-1439-5. EDN WSSFBF (In Rus.)*
5. *Gaysin R.S., Migunov R.A. Institutions for supporting consumption and demand for food in the USA and Russia. Russian Economic Journal. 2018; 2: 104–116. EDN XQH-KKL (In Rus.)*
6. *Gaysin R.S., Migunov R.A. Unbalanced growth of food production and consumption in Russia. Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii. 2018; 3: 13–16. EDN YVODEI (In Rus.)*
7. *Gaysin R.S., Migunov R.A. Development of institutions for unrelated income support for agricultural producers: German experience and lessons for Russia. Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii. 2017; 10: 2–10. EDN ZMZLYH (In Rus.)*
8. *Elagina A.S. Disparity in food availability for urban and rural populations. Teorii i problemy politicheskikh issledovaniy. 2017; 6; 1B: 312–322. EDN XVJERV (In Rus.)*
9. *Elagina A.S. Assessment of food availability in the Russian Federation. Teorii i problemy politicheskikh issledovaniy. 2016; 4: 192–200. EDN XHWUUR (In Rus.)*
10. *Zinchenko A.P. Statistics: a textbook for students of higher educational institutions studying in specialty 080502.65 “Economics and management in agro-industrial enterprises”. Mezhdunarodnaya assotsiatsiya “Agroobrazovaniye”. Moscow: Izdatel'stvo KolosS, 2007: 556. ISBN978-5-9532-0380-7. EDN QOOSAR (In Rus.)*
11. *Ipatova A.V., Stepanyan S.G. Food security of the Russian Federation in the conditions of the state sanctions policy: assessment criteria and indicators. Vektor ekonomiki. 2017; 9(15): 22. EDN ZMIPJF (In Rus.)*
12. *Kuimov V.V., Shcherbenko E.V. Food market of Siberia: is it possible to export to the countries of the Asia-Pacific region? Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2015; 8; S: 166–179. EDN TIIFRH (In Rus.)*
13. *Migunov R.A. Institutional environment of sustainable economic growth in agriculture. CSc thesis: 08.00.01. Moscow, 2018: 194. EDN URXKBQ (In Rus.)*
14. *Migunov R.A. Institutional transformations of agriculture in the RSFSR and their impact on the economic growth of the industry (1950–1990). Problemy sovremennoy ekonomiki. 2016; 2(58): 227–231. EDN WOBFX (In Rus.)*
15. *Polyakova V.V., Shabrova N.V. Fundamentals of the theory of statistics: [textbook]. 2nd ed., rev. and additional. M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Ural. feder. un-t. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2015: 148. (In Rus.)*
16. *Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated August 19, 2016 No. 614 “On approval of recommendations on rational standards for the consumption of food products that meet modern requirements for a healthy diet.” [Electronic source]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=381786> (Access date: 19.06.23). (In Rus.)*

17. *Migunov R.A., Syutkina A.A., Zaruk N.F., Kolomeeva E.S.* Food security in the context of the availability, accessibility, use and sustainability of food consumption in Russia in 2019–2021. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2023; 1: 2–10. DOI 10.32651/231–2. EDN HDYIFU (In Rus.)
18. *Reshetnikova E.G.* Stable domestic demand for food as a factor in the sustainable development of the national agro-food sector. *International Agricultural Journal*. 2022; 1(385): 103–106. DOI 10.55186/25876740_2022_65_1_103. EDN PWJVTO (In Rus.)
19. Statistical data of the unified interdepartmental information and statistical system. [Electronic source]. URL: www.fedstat.ru (In Rus.)
20. *Ushachev I.G., Kolesnikov A.V.* Economic accessibility of food for the population of the Russian Federation. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk*. 2021; 4: 59–77. DOI 10.52180/2073–6487_2021_4_59_77. EDN DJFHLB (In Rus.)
21. *Fudina E.V.* Development of agriculture and food security of Russia. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2015; 5: 55–57. EDN VBQKLP (In Rus.)
22. *Chereshnev V.A., Poznyakovskiy V.M.* Problem of food security: national and international aspects. *Food Industry*. 2016; 1(1): 6–14. EDN YHWOQL (In Rus.)
23. *Shelkovnikov S.A., Chepeleva K.V.* Formation of demand for export-oriented products of the agro-industrial sector of Siberia. *International Agricultural Journal*. 2022; 4(388): 338–343. DOI 10.55186/25876740_2022_65_4_338. EDN VZZDWJ (In Rus.)
24. *Shirokov S.N., Trushkina I.R.* Approaches to assessing production volumes and needs for grain and ensuring food security of the state. *International Agricultural Journal*. 2021; 4(382): 50–54. DOI 10.24412/2587–6740–2021–4–50–54. EDN KXYODZ (In Rus.)
25. *Shkiotov S.V., Markin M.I.* Effect of real disposable monetary income of the population on the economic availability of food in Russia. *Teoreticheskaya ekonomika*. 2021; 6(78): 119–125. DOI 10.52957/22213260_2021_6_119. EDN DRBDCK (In Rus.)

Мигунов Ришат Анатольевич, канд. экон. наук, доцент кафедры политической экономии и мировой экономики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: migunov@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–07–48

Сюткина Анастасия Анатольевна, специалист, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a.sytkina@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–07–48

Хоружий Людмила Ивановна, д-р экон. наук, профессор, директор Института экономики и управления АПК, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: hli@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–12–50

Зарук Наталья Федоровна, д-р экон. наук, профессор кафедры бухгалтерского учета, финансов и налогообложения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: zaruk@rgau-msha.ru; тел.: (926) 134–21–84

Колomeева Елена Сергеевна, канд. экон. наук, доцент кафедры бухгалтерского учета, финансов и налогообложения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kolomeeva@rgau-msha.ru; тел.: (925) 071–61–14

Кагирова Мария Вячеславовна, канд. экон. наук, доцент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА

имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mkagirova@rgau-msha.ru; тел.: (910) 464-45-12

Арзамасцева Наталия Вениаминовна, канд. экон. наук, доцент кафедры политической экономики и мировой экономики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: narzamasceva@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976-07-48

Сергеева Наталья Анатольевна, старший преподаватель кафедры иностранных и русского языков, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: sergeeva_nat@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976-23-13

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 123434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Rishat A. Migunov, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-07-48; E-mail: migunov@rgau-msha.ru)

Anastasia A. Syutkina, specialist, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-07-48; E-mail: a.sytkina@rgau-msha.ru)

Lyudmila I. Khoruzhiy, DSc (Econ), Professor, Director of the Institute of Economics and Management in Agribusiness, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-12-50; E-mail: hli@rgau-msha.ru)

Natalya F. Zaruk, DSc (Econ), Professor of the Department of Accounting, Finance and Taxation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (926) 134-21-84; E-mail: zaruk@rgau-msha.ru)

Elena S. Kolomeeva, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Accounting, Finance and Taxation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (925) 071-61-14; E-mail: kolomeeva@rgau-msha.ru)

Maria V. Kagirova, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (910) 464-45-12; E-mail: mkagirova@rgau-msha.ru)

Natalia V. Arzamastseva, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Political Economy and World Economy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-07-48; E-mail: narzamasceva@rgau-msha.ru)

Natalya A. Sergeeva, senior lecturer of the Department of Russian and Foreign Languages, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-23-13; E-mail: sergeeva_nat@rgau-msha.ru)

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

- Мамонтов В.Г., Беляева С.А., Шмакова К.А. ИК-спектры поглощения фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного Курской области..... 5

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

- Ладыженская О.В., Аниськина Т.С., Симахин М.В. Совершенствование технологии размножения жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) одревесневшими черенками.... 20
- Макаров С.С., Чудецкий А.И., Кузнецова И.Б., Орлова Е.Е., Зубик И.Н., Козлова Е.А. Особенности органогенеза труднокультивируемых низкорослых сортов вишни обыкновенной (*Prunus cerasus* L.) в культуре *in vitro* 33

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- Белошапкина О.О., Савоськина О.А., Чебаненко С.И., Тараканов Р.И., Ф.С.-У. Джалилов Развитие снежной плесени озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья с учетом технологий обработки почвы и погодных условий разных лет 47
- Соломонова Е.В., Ембатунова Е.Ю., Черятова Ю.С., Монахос С.Г. Масличность рапса: ботаническая природа, биохимические особенности и пищевой потенциал..... 58

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

- Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Физиологические аспекты созревания и продления срока хранения сочных плодов 75

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

- Абилов А.И., Козменков П.Л., Иолчиев Б.С., Устименко А.В. Качественные характеристики замороженно-оттаянного семени (обычное и разделенное по полу) у быков-производителей голштинской черно-пестрой породы и возраст полового созревания полученных от них телочек 95
- Пронина Г.И., Быков Д.В., Уколова А.В., Ульяновкин А.Е., Карасев А.Н., Тутрикова М.А., Акимушкина М.А., Канаева К.А. Идентификация популяций клеток крови рыб на основе сверточной нейронной сети для составления лейкограммы..... 110
- Трухачев В.И., Селионова М.И., Загарин А.Ю. Использование фитобиотиков в кормлении моногастричных животных (обзор)..... 126

ЭКОНОМИКА

- Бирюкова Т.В., Ворожейкина Т.М., Энкина Е.В., Ашмарина Т.И., Ягудаева Н.А. Совершенствование маркетинговой деятельности как основа развития стратегического потенциала рынка органической продукции..... 144
- Велибекова Л.А. Обеспечение населения России отечественной плодово-ягодной продукцией..... 157
- Мигунов Р.А., Сюткина А.А., Хоружий Л.И., Зарук Н.Ф., Коломеева Е.С., Кагирова М.В., Арзамасцева Н.В., Сергеева Н.А. Потребление продовольствия в Российской Федерации за 1998–2022 годы: вызовы и институциональные ответы..... 172

CONTENTS

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE AND ECOLOGY

- Mamontov V.G., Belyaeva S.A., Shmakova K.A.* Infrared absorption spectra of granulometric element fractions of typical virgin chernozem of the Kursk region..... 5

BOTANY, POMICULTURE

- Ladyzhenskaya O.V., Anys'kyna T.S., Simakhin M.V.* Improving the technology of reproduction of sweet-berry honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) with woody cuttings..... 20
- Makarov S.S., Chudetskiy A.I., Kuznetsova I.B., Orlova E.E., Zubik I.N., Kozlova E.A.* Peculiarities of organogenesis of hard cultured low-growing cultivars of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) in *in vitro* culture 33

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

- Beloshapkina O.O., Savos'kina O.A., Chebanenko S.I., Tarakanov R.I., F.S.-U. Dzhalilov* Development of snow mold of winter wheat in the conditions of the Central Non-Chernozem region with regard to tillage technologies and weather conditions of different years..... 47
- Solomonova E.V., Yembaturova E.Yu., Cheryatova Yu.S., Monakhos S.G.* Oil yield of rapeseed plant – botanical nature, biochemical features and nutritional potential..... 58

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

- Panfilova O.F., Pil'shchikova N.V.* Physiological aspects of ripening and extending the shelf life of fleshy fruits 75

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

- Abilov A.I., Kozmenkov P.L., Iolchiev B.S., Ustimenko A.V.* Qualitative characteristics of frozen-thawed semen (normal and sexed) from sires of the Holstein black-and-white breed and the age of puberty of the heifers born from them 95
- Pronina G.I., Bykov D.V., Ukolova A.V., Ul'yankin A.E., Karasev A.N., Tutrikova M.A., Akimushkina M.A., Kanaeva K.A.* Identification of fish blood cell populations on the basis of a convolutionary neural network for compiling a leukogram..... 110
- Trukhachev V.I., Selionova M.I., Zagarin A.Yu.* Use of phytobiotics in feeding monogastric animals (review)..... 126

ECONOMY

- Biryukova T.V., Vorozheykina T.M., Enkina E.V., Ashmarina T.I., Yagudaeva N.A.* Improving marketing activities as a basis for the development of the strategic potential of the organic market..... 144
- Velibekova L.A.* Providing the population of russia with domestic fruit and berry products..... 157
- Migunov R.A., Syutkina A.A., Khoruzhiy L.I., Zaruk N.F., Kolomeeva E.S., Kagirowa M.V., N.V. Arzamastseva, N.A. Sergeeva* Food consumption in the russian federation for 1998–2022: challenges and institutional responses..... 172

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

e-mail: izvtsha@rgau-msha.ru

тел.: (499) 976–07–48

Подписано в печать 30.08.2023 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная

Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 11,9 печ. л.

Тираж 500 экз.

Отпечатано в ООО «ЭйПиСиПублишинг»

127550, г. Москва, Дмитровское ш., д. 45, корп. 1, оф. 8

Тел.: (499) 976–51–84