

Индекс 70390

2024

ИЗВЕСТИЯ ТСХА

2024

4

Известия ТСХА. 2024. № 4



# ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
АКАДЕМИИ

4

Москва 2024

# 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  
2024

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. Шуваринов**;  
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Ю.А. Юлдашбаев**

*Редакция*

Научный редактор – **С.С. Макаров**

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](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  
2024

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 – **Sergey S. Makarov**  
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](https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf)

Articles submitted by postgraduates are exempt from the processing charge

ДВА СЛАВНЫХ ЮБИЛЕЯ В ТИМИРЯЗЕВСКОЙ АКАДЕМИИ:  
К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Д.Д. ИВАНЕНКО И Е.Н. ГАПОНА

Г.А. СМОЛИНА, С.П. ТОРШИН

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

*Статья посвящена памяти двух советских профессоров Тимирязевской академии: физика-теоретика Дмитрия Дмитриевича Иваненко и физикохимика Евгения Никитича Гапона, – которые предложили нейтрон-протонную модель строения атомного ядра. Показано становление выдающихся ученых как исследователей и педагогов. Описан вклад Д.Д. Иваненко и Е.Н. Гапона в развитие ядерной физики.*

**Ключевые слова:** *ученый, наука, ядерная физика, физическая химия, 120 лет со дня рождения.*

Первая половина XX в. ознаменовалась бурным развитием наук о строении материи вообще, и атома – в частности. Не осталась в стороне от этого прогресса и Тимирязевская академия. Два профессора ТСХА: физик-теоретик Дмитрий Дмитриевич Иваненко и физикохимик Евгений Никитич Гапон – внесли огромный вклад в ядерную физику, предложив признанную во всем мире протон-нейтронную модель строения атомного ядра, известную как модель Иваненко-Гапона. Однако не только это открытие объединяло великих ученых.

Оба будущих профессора – одногодки. Они родились в 1904 г. на юге Российской империи: Евгений Никитич Гапон – 23 января в селе Василевка Екатеринославской губернии (позже – Днепропетровская область), а Дмитрий Дмитриевич Иваненко – 29 июля в Полтаве.

Перед Первой мировой войной семья Гапон переехала в Полтаву. Там, обучаясь в Полтавской мужской гимназии (Александровском реальном училище), и познакомилась Евгений Гапон и Дмитрий Иваненко. Гимназия была классической, с изучением немецкого и латинского языков. Здесь было хорошо поставлено изучение русской литературы, истории, философии. Старший класс гимназии был преобразован в колледж двух направлений: гуманитарного и естественного; физико-математического, и друзья выбрали последнее. Они с увлечением участвовали в работе философского кружка «Наука и жизнь», организованного Дмитрием Иваненко, которого за знания и эрудицию называли «профессором». Оба окончили гимназию в 1920 г., получив превосходное по тем временам образование [1–4].

Дальнейшие судьбы ученых складывались по-разному, но на всю жизнь они сохранили теплые дружеские отношения.

В течение следующих четырех лет Евгений Гапон работал в различных советских учреждениях Полтавы. В 1924 г. он поступил на химический факультет Харьковского государственного университета, где сразу же проявил себя талантливым исследователем. Поэтому уже на втором курсе Е. Гапона зачислили одновременно и аспирантом на кафедру неорганической химии, где он работал под руководством профессора Г.Е. Мухина.

В 1929 г. Е.Н. Гапон был избран профессором и заведующим кафедрой химии в Харьковском медицинском институте. В это же время он стал заведующим физико-химической лабораторией Украинской главной палаты мер и весов.

Осенью 1930 г. Евгений Никитич Гапон был избран по конкурсу заведующим кафедрой физической химии Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. Позднее, в 1933 г., она была реорганизована в кафедру физической и коллоидной химии, которую возглавлял Е.Н. Гапон до последних дней своей жизни [1].

За время работы в Тимирязевке Е.Н. Гапон читал лекции и во многих других вузах. С 1932 г. он работал заведующим физико-химической лабораторией Всесоюзного института удобрений, агропочвоведения и агротехники имени К.К. Гедройца (ныне Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова). В течение 1933–1935 гг. он читал курс «Строение материи» и факультативный курс «Строение атомного ядра» в Московском государственном педагогическом институте, а с 1936–37 учебного года – курс физической и коллоидной химии в Московском высшем техническом училище рыбного хозяйства (Мосрыбвузе). В то же время Евгений Никитич преподавал курс физической химии в Харьковском химико-технологическом институте.

Дмитрий Иваненко после окончания гимназии был библиотекарем, а затем – учителем физики в одной из полтавских школ, работая при этом в Полтавской астрономической лаборатории. Одновременно он учился в Полтавском педагогическом институте, не окончив который, поступил в Харьковский университет. Однако его не удовлетворял уровень преподавания физики, и в 1923 г. Дмитрий Иваненко перевелся в Ленинградский университет [3, 4].

С 1927 по 1930 гг. Д.Д. Иваненко был аспирантом, а затем – научным сотрудником Физико-математического института АН СССР. В 1929 г. Дмитрий Дмитриевич был направлен в Харьков (в то время столицу Украины) для организации Украинского физико-технического института (УФТИ) как филиала Ленинградского физтеха, где стал первым руководителем теоретического отдела. Одновременно он преподавал в Харьковском университете и Механико-машиностроительном институте, где стал профессором и заведующим кафедрой теоретической физики. В 1931 г. Дмитрий Дмитриевич в качестве старшего научного сотрудника вернулся в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ) и с 1933 г. стал работать заведующим кафедрой физики Ленинградского педагогического института имени М.В. Покровского [3, 4].

В начале 1930-х гг. жизненные пути химика Е.Н. Гапона и физика Д.Д. Иваненко вновь пересеклись, и теперь уже на научном поприще. Это были годы интенсивных исследований и открытий в области ядерной физики, и оба ученых задумались о строении атомного ядра. Было опубликовано несколько их совместных статей, развивающих идеи устройства микромира.

Ученые предложили идею распределения протонов и нейтронов в атомном ядре по уровням и оболочкам в некоторой аналогии с построением периодической системы элементов Д.И. Менделеева. До открытия нейтрона в феврале 1932 г. Джеймсом Чедвиком все мировые ученые придерживались модели Э. Резерфорда, согласно которой ядра атомов состоят из протонов и электронов.

В соответствии с новой моделью ядро атома состоит из протонов и нейтронов, которые, как и электроны, относятся к элементарным частицам. Эта модель опиралась на две основные количественные характеристики ядер: порядковый номер в периодической системе химических элементов  $Z$ , соответствующий количеству протонов, и атомное число  $A$ , равное сумме протонов и нейтронов. Протон – частица с зарядом  $+1$  и относительной массой  $1$ ; нейтрон – частица без электрического заряда и относительной массой  $1$ . Обе частицы обладают одинаковым спином  $\pm 1/2$ . Число протонов в ядре атомов одного элемента постоянно, а количество нейтронов, которое

и определяет разнообразие изотопов, может быть разным и определяется как разность между атомным числом  $A$  и количеством протонов  $Z$  [5, 6].

В качестве развития данной модели авторы выдвинули концепцию ядерных оболочек – первую модель строения ядра Иваненко-Гапона, сыгравшую фундаментальную роль в развитии ядерной физики. Двое советские ученых предложили это первыми, что отметил в своем докладе Нобелевский лауреат – немецкий физик В.К. Гейзенберг, выступая на Сольвеевском конгрессе в 1933 г. Он ссылаясь на короткую, в 20 строк, заметку о протон-нейтронной модели атомного ядра, опубликованную Д.Д. Иваненко в английском журнале «Nature» через два месяца после открытия нейтрона. Д.Д. Иваненко и Е.Н. Гапону было в то время всего по 28 лет.

Поражает интенсивность работы и широта научных интересов молодых ученых. Например, за период с 1925 по 1932 гг. в советских и международных периодических изданиях было опубликовано 58 научных статей Е.Н. Гапона. Не менее активно публиковался и Д.Д. Иваненко. Он свободно владел несколькими иностранными языками (английским, немецким, французским и итальянским) и, по воспоминаниям соотечественников, во время докладов на международных конференциях легко переходил с одного языка на другой [3, 4].

Достаточно рано оба ученых стали докторами наук. Евгений Никитич Гапон получил ученую степень доктора химических наук в 1936 г., причем присудили ее без защиты диссертации по совокупности экспериментальных и теоретических работ по кинетике химических реакций, в которых он рассматривал скорость полимеризации и кинетику кристаллизации.

Дмитрий Дмитриевич Иваненко защитил докторскую диссертацию в 1940 г. на тему «Основы теории ядерных сил» и получил ученую степень доктора физико-математических наук.

Еще раз жизненные пути ученых пересеклись в середине 1940-х гг., когда по рекомендации Е.Н. Гапона в 1944 г. Д.Д. Иваненко поступил на работу в Тимирязевскую сельскохозяйственную академию (ТСХА), где его избрали заведующим кафедрой физики.

Сложность в поиске работы в тот период была связана с тем, что ранее (в 1935 г.) Д.Д. Иваненко был арестован и осужден как «социально опасный элемент» (возможно, за близкое знакомство с «невозвращенцем» физиком Г.А. Гамовым). Ученый был направлен в Карагандинский исправительно-трудовой лагерь, однако через год по ходатайству С.И. Вавилова лагерь был заменен ссылкой, и в последующие годы Д.Д. Иваненко работал старшим научным сотрудником Томского физико-технического института, а также был профессором и заведующим кафедрой теоретической физики Томского университета. В 1939–1942 гг. он работал в Уральском государственном университете (г. Свердловск), где был заведующим кафедрой теоретической физики, а в 1940–1941 гг. – профессором и заведующим кафедрой теоретической физики Киевского государственного университета имени Т.Г. Шевченко.

После возвращения в Москву Д.Д. Иваненко поддержал его гимназический друг Евгений Никитич Гапон, и Дмитрий Дмитриевич получил не только работу, но и ведомственную жилплощадь. Во время работы в Тимирязевской академии он жил в общежитии № 3 по адресу: Лиственничная аллея, дом 16 (две комнаты в так называемом «профессорском тупике») [2].

Будучи заведующим кафедрой физики ТСХА, Д.Д. Иваненко организовал биофизические исследования в Тимирязевке и всячески содействовал разработке и реализации метода радиоизотопных индикаторов в биологии и сельском хозяйстве. В частности, он, используя свои связи с физиками-ядерщиками, в первую очередь с И.В. Курчатовым – руководителем лаборатории № 2 «Атомного проекта» («лабдва»), доставал радиоактивные изотопы для работы. Первой меткой был радиоактивный изотоп фосфора  $^{32}\text{P}$ , исследования с которым увенчались публикацией двух статей по распределению фосфора

в растениях и по ионному обмену в журнале «Доклады АН СССР» с участием Д.Д. Иваненко и Е.Н. Гапона. С самого начала работ по применению меченых атомов одним из партнеров была кафедра физической и коллоидной химии, которой руководил Е.Н. Гапон.

Вот как писал Владимир Вацлавович Рачинский (впоследствии профессор, заведующий кафедрой прикладной атомной физики и радиохимии ТСХА) о первой встрече с профессором Д.Д. Иваненко, когда пришел на кафедру физики: «Это тот самый Иваненко, который предложил протонно-нейтронную модель атомного ядра! Я хорошо знал фамилию этого крупного ученого еще в школе. Фатально, но это факт. Передо мной был ученый с мировой известностью – Дмитрий Дмитриевич Иваненко. И вот судьба свела меня с ним» [2]. В.В. Рачинский стал аспирантом на кафедре физики, и его руководителем был Д.Д. Иваненко. Вторым своим учителем В.В. Рачинский считал Е.Н. Гапона, который активно развивал хроматографический метод исследований. Владимир Вацлавович писал: «...профессор Е.Н. Гапон как физико-химик предложил мне заняться применением метода радиоактивных индикаторов в изучении динамики сорбции и хроматографических процессов» [2]. Так появился радиохроматографический метод – сочетание метода радиоактивных индикаторов с хроматографией.

В апреле–августе 1945 г. Дмитрий Дмитриевич Иваненко в звании полковника был командирован в Германию руководителем специальной научной группы для оценки состояния ее ядерной программы. После отчета по результатам поездки руководители ядерного проекта СССР несколько раз предлагали Д.Д. Иваненко участвовать в проекте в качестве руководителя «альтернативной» группы, но он от этого предложения категорически отказался.

Дмитрий Дмитриевич Иваненко и Евгений Никитич Гапон активно защищали хромосомную теорию наследственности. В 1946 г. Д.Д. Иваненко организовал биофизический семинар, на котором поддерживал идеи Э. Шрёдингера – известного физика, автора книги «Что такое жизнь» о квантовой теории генов. После августовской сессии ВАСХНИЛ в 1948 г. Д.Д. Иваненко в числе многих профессоров вынужденно уволился из ТСХА.

В 1957 г. в ТСХА была открыта радиоизотопная лаборатория, а в 1960 г. – кафедра прикладной атомной физики и радиохимии (ныне сектор радиологии кафедры агрономической, биологической химии и радиологии), которой до 1991 г. руководил В.В. Рачинский. Все это время над его столом вместо портретов руководителей страны висела большая фотография Д.Д. Иваненко.

К сожалению, очень рано оборвалась жизнь Евгения Никитича Гапона. Он умер в Москве в 1950 г. в возрасте 46 лет, похоронен на Ваганьковском кладбище. Сделать Е.Н. Гапон успел многое.

В научной работе Евгений Никитич обладал весьма широким кругом интересов: от медицины до фотографии и проблем агрохимии и почвоведения. Коллега Е.Н. Гапона по Тимирязевке И.И. Гунар, выступая после смерти ученого с докладом, сказал об агрономическом значении его работ: «Профессор Е.И. Гапон оставил глубокий след в учении о поглотительной способности почв, развив далее классические исследования академика К.К. Гедройца. Оригинальное и теоретически обоснованное уравнение обменной адсорбции Е.Н. Гапона (1932) является наиболее универсальным и наиболее приложимым к почвенному катионному обмену, чем все другие уравнения, предлагавшиеся до и после 1932 г.» [1].

Евгений Никитич является разработчиком методов определения обменной и гидролитической кислотности почв, им были исследованы адсорбционные свойства алюмосиликатов. Работы Е.Н. Гапона по хроматографии имеют также огромное значение для решения важных вопросов генетического почвоведения и теории и практики удобрения. Все его агрономические работы являются не просто оригинальными, а подлинно новаторскими, с глубоким проникновением в сущность изучаемых явлений и со смелыми и широкими выводами.

Дмитрий Дмитриевич Иваненко намного пережил своего коллегу.

С 1943 г. и до последних дней Д.Д. Иваненко был профессором кафедры теоретической физики Московского университета. В 1944 г. он организовал семинар по теоретической физике, которым руководил в течение 50 лет и на котором выступали не только крупные отечественные, но и многие ведущие зарубежные ученые, нобелевские лауреаты. Д.Д. Иваненко был одним из самых эрудированных физиков-теоретиков в стране, и на семинарах рассматривался весьма широкий круг вопросов. С Иваненко было интересно – это признавали все, даже его недоброжелатели [3].

С 1950 по 1963 гг. Дмитрий Дмитриевич Иваненко был старшим научным сотрудником Института истории естествознания и техники АН СССР. За всю научную карьеру было опубликовано и издано более 300 его научных работ.

Как своеобразное признание научных заслуг Д.Д. Иваненко, нобелевские лауреаты оставили ставшие знаменитыми изречения на стенах его кабинета № 4–59 на физическом факультете МГУ: «Физический закон должен обладать математической красотой» (П. Дирак, 1956); «Природа в своей сущности является простой» (Х. Юкава, 1959); «Противоположности не являются противоречиями, но взаимно дополняют друг друга» (Н. Бор, 1961); «Время предшествует всему существующему» (И. Пригожин, 1987); «Физика является экспериментальной наукой» (С. Тинг, 1988); «Природа самосогласованна в своей сложности» (М. Гелл-Манн, 2007) [3, 4].

После болезни, продолжавшейся около 9 лет, 30 декабря 1994 г. Д.Д. Иваненко умер. Его предсмертными словами было: «А все-таки я победил!» [3, 4]. Похоронен Дмитрий Дмитриевич на Кунцевском кладбище в Москве.

Д.Д. Иваненко и Е.Н. Гапон – крупнейшие ученые XX в., первооткрыватели протонно-нейтронной модели атомного ядра. Несмотря на то, что за это открытие Нобелевскую премию так и не присудили, ближе всего к ней были, несомненно, профессора-химики Дмитрий Дмитриевич Иваненко и Евгений Никитич Гапон.

### Библиографический список

1. *Баутин В.М., Белопухов С.Л.* Евгений Никитич Гапон: Материалы к биобиблиографии. Серия «Выдающиеся ученые (выпускники, профессора) Петровской (Тимирязевской) академии, Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева». – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2016. – 70 с.
2. *Рачинский В.В.* Моя жизнь: Автобиографический очерк. – М.: МСХА, 1992. – 135 с.
3. *Сарданашвили Г.А.* Дмитрий Иваненко – суперзвезда советской физики: Не написанные мемуары. – М.: Либроком, 2010. – 313 с.
4. *Сарданашвили Г.А.* 110 лет со дня рождения Дмитрия Дмитриевича Иваненко // Советский физик. – 2014. – № 6. – С. 3–11.
5. *Семичин В.И.* Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева. – М.: Химия, 1972. – 187 с.
6. *Gapon E., Iwanenko D.* // Zur Bestimmung der isotopenzahl. Die Naturwissenschaften. – 1932. – Bd. 20. – S. 792–793.

TWO GLORIOUS ANNIVERSARIES AT THE TIMIRYAZEV ACADEMY:  
TO THE 120<sup>TH</sup> ANNIVERSARIES OF D.D. IVANENKO AND E.N. GAPON

G.A. SMOLINA, S.P. TORSHIN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The article is dedicated to the memory of two Soviet professors of the Timiryazev Academy, theoretical physicist Dmitry D. Ivanenko and physical chemist Evgeniy N. Gapon, who proposed the neutron-proton model of the atomic nucleus structure. The formation of outstanding scientists*

as researchers and teachers is shown. The contribution of D.D. Ivanenko and E.N. Gapon to the development of nuclear physics is described.

**Keywords:** scientist, science, nuclear physics, physical chemistry, 120th anniversary.

## References

1. Bautin V.M., Belopukhov S.L. *Evgeniy Nikitich Gapon: materials for biobibliography.* (Series: Outstanding scientists (graduates, professors) of the Petrovskaya (Timiryazev) Academy, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2016:70. (In Russ.)
2. Rachinskiy V.V. *My life: autobiographical sketch.* Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 1992;135. (In Russ.)
3. Sardanashvili G.A. *Dmitri Ivanenko – superstar of Soviet Physics: unwritten memoirs.* Moscow, Russia: Librocom, 2010:313. (In Russ.)
4. Sardanashvili G.A. 110 years since the birth of Dmitry Dmitrievich Ivanenko. *Sovetskiy fizik.* 2014;6:3–11. (In Russ.)
5. Semishin V.I. *Periodic system of chemical elements of D.I. Mendeleev.* Moscow, USSR: Khimiya, 1972:187. (In Russ.)
6. Gapon E., Iwanenko D. Zur Bestimmung der isotopenzahl. *Die Naturwissenschaften.* 1932;20:792–793. (In Germ.)

## Сведения об авторах

**Смолина Галина Алексеевна**, канд. биол. наук, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–40–24; e-mail: g\_smolina@mail.ru

**Торшин Сергей Порфирьевич**, д-р биол. наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–40–24; e-mail: sptorshin@rambler.ru

## Information about the authors

**Galina A. Smolina**, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Agrochemistry, Biochemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–40–24; e-mail: g\_smolina@mail.ru)

**Sergey P. Torshin**, DSc (Bio), Professor at the Department of Agrochemistry, Biochemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–40–24; e-mail: sptorshin@rambler.ru)

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ЛИСТЬЕВ  
КЛОНОВОГО ПОДВОЯ КУБАНЬ-86 В УСЛОВИЯХ ДАГЕСТАНАЗ.М. АСАДУЛАЕВ<sup>1</sup>, З.Р. РАМАЗАНОВА<sup>1,2</sup>, Д.М. АНАТОВ<sup>1</sup><sup>1</sup> Горный ботанический сад – обособленное структурное подразделение  
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН;<sup>2</sup> Дагестанский государственный педагогический университет)

В статье обсуждается анатомическое строение пластинки и черешка листа растений клонового подвоя яблони Кубань-86 (АП-1) в зависимости от их произрастания на различных высотных уровнях Горного Дагестана и в городских условиях. Обоснован паратипический характер изменений, возникающих в эколого-генетическом эксперименте с клоновыми растениями, в пределах нормы реакции. Анализируется связь адаптивных изменений с условиями произрастания растений и местом прикрепления листа в кроне (солнечная или теневая сторона), выделены лабильные и устойчивые признаки. В качестве таксоноспецифических признаков листа АП-1 предложены извилистость стенок клеток эпидермы, типы простых и железистых трихом, аномоцитный тип устьичного комплекса, углубление устьиц относительно эпидермы, овальная форма поперечного сечения черешка с городчатыми краями, вместилища с липофильным секретом во флоэмной части и наличие друз оксалата кальция в коровой паренхиме. Показаны более высокая изменчивость признаков черешка по сравнению с показателями признаков листовой пластинки и информативность показателей тканей склеренхимы, ксилемы и колленхимы. Рассмотрены возможности количественного анализа анатомических признаков листьев и черешка и перспективность петиолярной анатомии гибрида АП-1 в оценке пластичности показателей под влиянием контрастных внешних условий вдоль высотного градиента. В пределах кроны выявлена специфичность изменений анатомической структуры тканей черешка на освещенность. При этом толщина большинства механических тканей больше у световых листьев в горных условиях, а на низменности – у теневых. Последнее объясняется высокой световой и термической нагрузкой, которой подвержены листья на южной стороне кроны.

**Ключевые слова:** *Prunus divaricata* × *Persica vulgaris* (АП-1), анатомическое строение, листовая пластинка и черешок, условия Равнинного и Горного Дагестана.

**Введение**

Живые организмы постоянно находятся под воздействием изменяющихся во времени и в пространстве различных факторов среды, изменение которых обусловлено глобальными климатическими или иными причинами. В то же время каждый организм стремится к расширению своего ареала и к освоению новых территорий благодаря распространению диаспор. В последнем случае часть из них может попасть в неблагоприятные для жизни вида условия, где они могут выжить только благодаря значительным перестройкам всех механизмов жизнеобеспечения. Возникающие при этом в организмах изменения могут иметь как генотипическую, так

и паратиписическую природу [13]. Считается, что приспособление вида к новым условиям (если это возможно в пределах нормы реакции) происходит «...двумя способами: изменением в биотическом составе популяций или пластичностью (толерантностью) самих биотипов» [19].

Наиболее часто значительным перемещениям по территории и воздействию критических условий среды подвергаются растения, культивируемые человеком для решения определенных хозяйственных задач. Ясно, что при этом приспособление к новым условиям происходит на основе второго способа – пластичности биотипов, и оценка адаптированности к определенной среде сортов или форм однолетних или малолетних видов решается относительно быстро. В этом направлении известны давние начало «Зеленой революции» эксперименты по «челночной селекции» Нормана Борлауга [22] на основе формирования экологического вектора эдафических и климатических условий [20].

Вместе с тем проверка адаптированности древесных растений к новым условиям при интродукции, особенно плодовых культур, сталкивается с определенными трудностями. Во-первых, плодовые растения вступают в плодоношение поздно, и не всегда успешное произрастание самих растений в новых условиях означает получение качественных плодов. Во-вторых, в настоящее время выращивание садов большинства плодовых культур (яблоня, груша, абрикоса, черешня, персик и др.) во всем мире основано на получении привитых растений. При этом для создания садов с сильнорослыми деревьями в качестве подвоев используются сеянцы, а при создании интенсивных садов со среднерослыми или слаборослыми деревьями – клоновые подвои. В обоих случаях актуальной остается проблема устойчивости и адаптированности подвоев к различным условиям произрастания и совместимости привитых компонентов [8, 16].

Алычово-персиковый гибрид (*Prunus divaricata* × *Persica vulgaris*) Кубань 86, или АП-1, созданный Г.В. Ереминым, И.М. Рядновой и Ю.А. Гнездиловым на Крымской опытно-селекционной станции ВНИИР им. Вавилова как клоновый подвой, обладает достаточно морозостойкой корневой системой, не образует поросли и рекомендуется для использования на юге России в качестве клонового подвоя разных косточковых культур. Кроме того, растение АП-1 имеет эстетическую привлекательность во время цветения и по окраске листьев, что делает его перспективным декоративным растением для городского озеленения.

По результатам многолетних испытаний, подвой АП-1 в последние годы находит все большее распространение в различных плодородных регионах России, в том числе в Дагестане. Растения, привитые на АП-1, завозятся спонтанно в республику и садоводами-любителями, особенно из Краснодарского края. Необходимо признать, что условия Краснодарского края и других садоводческих регионов несколько отличаются от условий для садоводства в Дагестане, где косточковые культуры представлены в основном во внутренигорной, более засушливой части, с орошением или на богаре.

В связи с неизученностью растений АП-1 в условиях Дагестана как перспективного подвоя прогнозирование параметров изменчивости морфологических и анатомических признаков вызывает научный и практический интерес. Одновременно ставится вопрос о зависимости возникающих изменений от расположения тех или иных органов в пределах побега и кроны, возраста дерева или же от негативного воздействия различных поллютантов. Полученные при этом данные позволят дифференцировать изменения, происходящие в листьях, побегах и других органах растений, в зависимости от естественного или антропогенного характера воздействий и разработать рекомендации по использованию и размещению АП-1 в насаждениях

различного назначения и различной антропогенной нагрузки. Действительно, ранее в условиях Дагестана было показано [2], что анатомические изменения древесных растений отражают их адаптивный потенциал в стрессовых условиях. Например, степень развития склеренхимы и других тканей корней и стеблей клоновых подвоев яблони, груши и айвы были признаны имеющими диагностическую ценность при оценке их экологической пластичности.

Для изучения степени устойчивости растений на основе адаптивных изменений их органов нами взяты листья от растений АП-1, произрастающих в условиях Низменного Дагестана вдоль автодороги в поселке Ленинкент (Махачкала), в условиях Внутреннегорного Дагестана (с. Цудахар) и в условиях Среднегорного Дагестана (Гунибское плато). Поскольку изменчивость признаков листа изучена у клонов (генетически идентичных растений) АП-1, выращенных в контрастных экологических условиях вдоль высотного градиента в эколого-генетическом эксперименте, наблюдаемая фенотипическая изменчивость является информативной.

На первом этапе исследований изучены морфолого-анатомические признаки листьев растений, произрастающих в условиях г. Махачкалы, для дальнейшего их использования в системных исследованиях при выращивании в различных условиях Дагестана. На втором этапе оценена информативность количественных показателей этих же признаков листовой пластинки и черешка, полученных в результате эколого-генетического эксперимента на трех высотных уровнях произрастания.

Изучение анатомических признаков пластинки и черешка листьев, а в перспективе – побега и корня АП, позволит решить некоторые теоретические и прикладные вопросы, касающиеся, в частности, адаптивности этого подвоя к условиям Горного Дагестана, при его использовании в качестве подвоя и его способности формировать устойчивые привойно-подвойные комбинации не только с персиком и алычой, но и с абрикосом и другими косточковыми культурами. Кроме того, полученные данные позволят провести сравнительную оценку анатомических изменений, происходящих в листьях АП под действием антропогенных факторов в условиях г. Махачкалы.

Перспективным методом диагностики анатомических изменений и подтверждения подлинности растительных объектов является петиолярная анатомия. По мнению специалистов, анатомическое строение основных органов растения: корня, стебля и листьев – является относительно постоянным и типичным для двудольных растений, однако строение черешка листа отличается большим разнообразием признаков, а также видовой специфичностью, позволяющей проводить узкоселективный анализ.

Петиолярная анатомия на сегодняшний день является одним из основных эффективных методов стандартизации при фармацевтическом анализе растительного материала и для диагностики близкородственных видов [11]. Ее методы и полученные данные успешно применены при диагностике и идентификации таксономической принадлежности видов рода *Populus* (*P. nigra* L., *P. laurifolia* Ledeb. и их естественного гибрида *P. × irtyschensis* Chang Y.) [10], видов копеечников (*Hedysarum razoumovianum* DC.) и *H. grandiflorum* Pall.), собранных в Кинельском районе Самарской области [17], при исследовании и идентификации анатомического строения черешков листьев 16 видов рода *Carum* [7] и травы женьшеня [12].

**Цель исследований:** описание анатомического строения листьев клоновых растений АП-1 и оценка информативности количественных показателей морфолого-анатомических признаков листьев, полученных в эколого-генетическом эксперименте, при их адаптации к различным условиям произрастания в Низменном и Горном Дагестане.

## Материал и методы исследований

Исходные маточные растения АП-1 произрастают в саду крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ) «Питомник» в окрестностях г. Махачкалы (Низменный Дагестан). Там же в 2015 г. растения АП-1 были размножены одревесневшими черенками. Полученные саженцы были высажены для эколого-генетического эксперимента в условиях названного выше КФХ (далее – П), в придорожной озеленительной полосе в поселке Ленинкент (далее – Д), на Цудахарской и Гунибской экспериментальных базах Горного ботанического сада ДФИЦ РАН (далее – ЦЭБ и ГЭБ соответственно), расположенных во Внутреннегорном и Среднегорном Дагестане. Условия ЭБ отличаются рядом климатических и почвенных характеристик. Среднее количество осадков на ЦЭБ составляет 440 мм, на ГЭБ – 619 мм. Почвы – горностепные на известняках на территории ЦЭБ, горно-луговые и черноземовидные – на известняках на территории ГЭБ.

Для Махачкалы характерен полупустынный климат. Осадков выпадает от 250 до 350 мм в год, и в течение года они распределены неравномерно, больше – в осенний период. Острый недостаток осадков для растений наблюдается здесь в летний период. Ветры в Махачкале продолжительные, с преобладанием юго-восточных (летом) и северо-западных (зимой). Почвы – светло-каштановые.

Листья для анатомических исследований были взяты на четырех точках: 1 – ЦЭБ (1100 м н.у.м.); 2 – ГЭБ (1700 м н.у.м.); 3 – П, г. Махачкала (50 м н.у.м., условно оптимальная точка); 4 – Д, г. Махачкала (50 м н.у.м., с высокой техногенной нагрузкой) – на третий год после посадки с растений, которые за это время приспособились к новым условиям произрастания.

Исследованы 3 морфологических признака, 18 анатомических признаков листовой пластинки и 22 анатомических признака черешка растений гибрида АП-1. Число клеток, устьиц, трихом посчитаны в поле зрения микроскопа девятикратно в 3 повторностях ( $N = 27$ ) с последующим пересчетом на  $1 \text{ мм}^2$  поверхности эпидермы. Метрические измерения проводили у 9 листьев с каждой из сторон кроны (световой южной и теневой северной) в 10 повторностях ( $N = 90$ ).

Листья для изучения брали с ортотропных побегов одной генерации (восьмые листья от основания годичного вегетативного побега), на одной высоте от уровня земли и у растений одного возраста.

На анатомическое строение черешка оказывают влияние два важных фактора. Во-первых, черешок участвует в транспорте веществ, обеспечивая непрерывный ток воды и минеральных веществ к листовой пластинке и отток пластических веществ к стеблю. Во-вторых, черешок постоянно противодействует механическим нагрузкам в виде ветра, дождя и веса самой листовой пластинки. В Махачкале, где ветровая нагрузка на растения является чрезвычайно высокой, эти факторы имеют направленное воздействие на внутреннее строение (соотношение тканей) черешка.

Фиксацию материала и приготовление временных микропрепаратов производили по общепринятой методике анатомических исследований [4]. Основные структурные элементы тканей листа описывали в соответствии с работками И.А. Самылиной, О.Г. Аносовой [18].

Работа проводилась в Лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений ГорБС ДФИЦ РАН. Измерения морфометрических параметров тканей и клеток производили на оптическом микроскопе Levenhuk D870T с помощью окуляр-микрометра. Микропрепараты фотографировали с помощью оптического микроскопа Ломо-АТ 054 и видеоокуляра DCM 510 SCOP. Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием прикладной компьютерной программы Microsoft Office Excel 2019 и StatSoft Statistica 13.3.

## Результаты и их обсуждение

*Анатомо-морфологические особенности строения листьев АП-1.* Общее анатомическое строение изучено на листьях АП-1, собранных в окрестностях г. Махачкалы, так как независимо от высоты над уровнем моря и места произрастания деревьев отличия наблюдаются только в количественных показателях.

Прежде всего изучены покровные ткани листовой пластинки с использованием парадермальных срезов. Выявлено, что клетки верхней эпидермы изодиаметрические, имеют многоугольную форму с прямыми стенками (длина – 34,8 мкм, ширина – 25,9 мкм), равномерно утолщенные, вдоль жилок полигональные (рис. 1). Число клеток на 1 мм<sup>2</sup> поверхности составляет 1374,5 шт. Кутикула адаксиальной эпидермы продольно-морщинистая, выступы слабо выражены и в форме прямых ребер направлены по длине клеток. Абаксиальная эпидерма мелкоклеточная (длина – 21 мкм, ширина – 14,6 мкм), клетки имеют многоугольную форму со слегка извилистыми стенками. Число клеток на 1 мм<sup>2</sup> составляет 2986,5 шт., что в 2 раза превышает показатели верхней эпидермы. Листья – гипостоматного типа. Волоски, простые длинные, остроконусовидные и шиловидные, серповидноизогнутые, расположены вдоль жилок листа.

Тип устьичного аппарата аномоцитный. Число устьиц на 1 мм<sup>2</sup> листовой поверхности составляет 357,5 шт. (длина – от 22,5 до 35, ширина – от 17,5 до 27,5 мкм). На поперечных срезах толщина листовой пластинки составила 176,5 мкм. Высота клеток абаксиальной эпидермы (14,9 мкм) меньше, чем у адаксиальной (23,9 мкм). В клетках мезофилла располагаются кристаллы в виде друз. Палисадная ткань двурядная, клетки вытянутые: высота составляет 24 мкм, ширина – 7 мкм. Губчатая ткань 4-рядная, клетки ее плотно прижаты друг к другу, что больше характерно для структуры листа ксерофитов. Длина черешка листа составляет 0,97 см, диаметр – 1,5 мм, форма – желобчатая, с вытянутыми с верхней стороны краями (рис. 2). Эпидерма с верхней (вогнутой) стороны черешка имеет единичные простые остроконусовидные одноклеточные волоски – такие же, как на нижней стороне листовой пластинки. Кутикула черешка хорошо развита. Клетки эпидермы имеют овальную или округлую форму с размерами от 14 до 26 мкм.

Колленхима – пластинчатая 4–5-рядная. Во многих клетках коровой паренхимы содержатся кристаллы солей в виде друз (рис. 3). Межклетники коровой паренхимы небольшие, клетки крупные (17,5–82,5 мкм) в 3–5 слоев. Эндодерма выраженная, толщиной 32,7 мкм. Склеренхима прерывистая, развита неравномерно и сосредоточена в местах, где дилатируются сердцевидные лучи. Толщина ее составляет в среднем 144,2 мкм и состоит из клеток различных размеров: от 7,5 до 57,5 мкм.

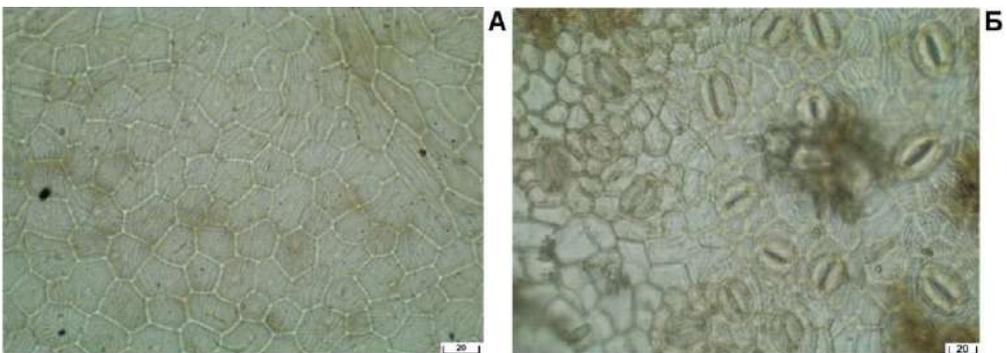
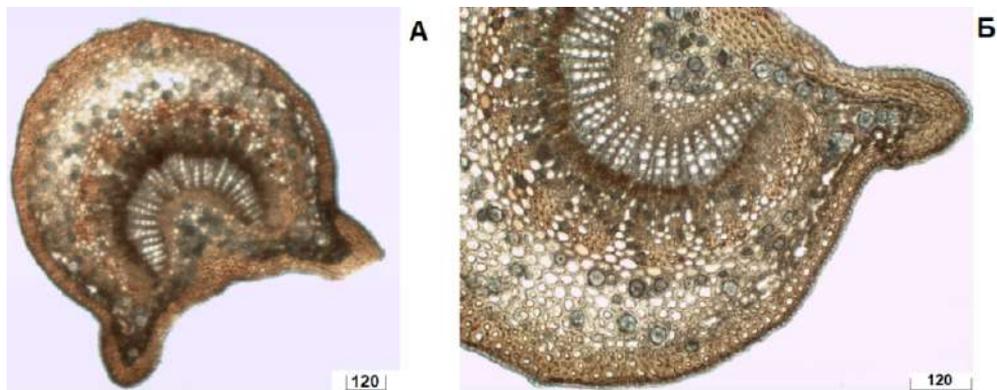
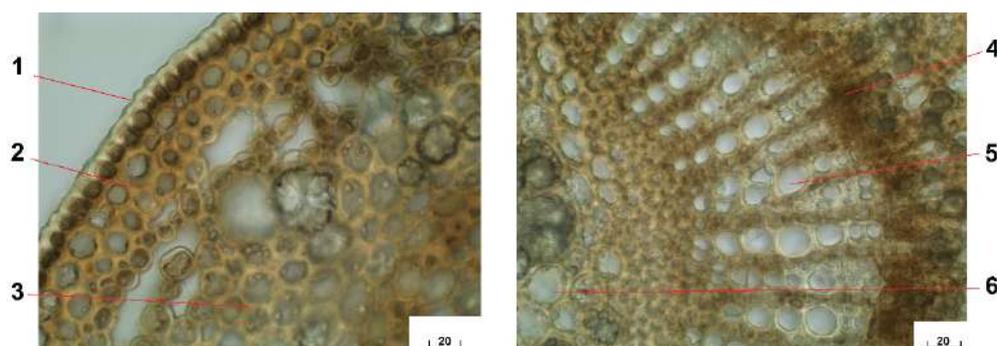


Рис. 1. Верхняя (А) и нижняя (Б) эпидермы листьев АП-1



**Рис. 2.** Поперечный срез черешка АП:  
А – общая форма; Б – соотношение тканей



**Рис. 3.** Ткани черешка АП:  
1 – эпидерма; 2 – колленхима; 3 – коровая паренхима;  
4 – флоэма; 5 – ксилема; 6 – перимедуллярная зона

В центральной части черешка расположен один коллатеральный пучок. Форма проводящего пучка с адаксиальной стороны – подковообразно-вогнутая. Клетки протофлоэмы визуально отличаются от метафлоэмы: они крупнее и заполнены кристаллами солей. Толщина ее составляет в среднем 100,3 мкм. Ксилема образована большим числом рядов (до 45), в каждом из которых в среднем имеется 5–12 сосудов. Ближе к перимедуллярной зоне и к флоэме сосуды мельче, в центре пучка они крупнее. Толщина ксилемы составляет 198 мкм. Перимедуллярная зона – выраженная, составляет по центру проводящего пучка 63,7 мкм.

Поскольку изученные растения АП представляют собой клоны с одинаковой генетической основой, то полученная информация по фенотипической изменчивости морфолого-анатомических признаков строения листьев вдоль высотного градиента является информативной.

*Количественная оценка изменчивости анатомических признаков листовой пластинки вдоль высотного градиента.* Адаптационный потенциал растительного организма в различных условиях произрастания проявляется в преобразованиях тканей и органов, которые имеют генетически обусловленные пределы. У древесных растений колебание параметров морфолого-анатомических признаков листьев имеет большую зависимость от места их расположения на побеге или в кроне. Поэтому для унифицирования паратипических внутрикронных колебаний признаков и оценки влияния внешних условий нами были мобилизованы листья одной генерации и на одной высоте от уровня земли у растений одного возраста. Естественно, что

на признаках листа отражаются и контрастные условия, складывающиеся на южной и северной сторонах крон деревьев. Поэтому формирование выборки морфологически близких листьев явилась основой достоверной и объективной интерпретации анатомических изменений, которые наблюдаются в листьях в зависимости от высоты над уровнем произрастания деревьев (высотный градиент) и контрастных условий на солнечной или теневой сторонах кроны.

При оценке морфологических показателей листовой пластинки АП-1 в зависимости от высотных уровней произрастания оказалось, что в трех точках изучения (ГЭБ, ЦЭБ, П) основные признаки имеют небольшой размах фенотипического реагирования с незначительной (9,5–13,9%) или средней (20,8%) изменчивостью (табл. 1). Относительная устойчивость показателей листьев указывает на наличие эндогенных механизмов, нивелирующих последствия от воздействия различных внешних факторов и контролирующих размеры элементов листа независимо от условий произрастания в пределах нормы реакции.

В то же время отсутствие больших различий в размерах листьев может быть следствием относительной стабильности условий мест произрастания: в г. Махачкале, в окрестностях селения Цудахар Внутреннегорного Дагестана и на Гунибском плато Среднегорного Дагестана. Однако известно, что последнее не является таковым. Условия Низменного, Внутреннегорного и Среднегорного Дагестана значительно отличаются как по уровню освещенности в силу различий высотных уровней, так и по распределению, количеству осадков и температурному режиму (Акаев и др., 1996). Из элементов листа существенные различия ( $\eta^2 = 13,2$ ) выявлены только в развитии черешка листьев. Это подтверждает существующее мнение о том, что особенности строения и развития черешка более информативны с точки зрения реакции организма на меняющиеся условия среды (Куркин и др., 2014).

Одновременно нами была поставлена задача оценки различий в развитии листьев и их внутренней структуры в зависимости от расположения на световой или теневой сторонах кроны деревьев (табл. 2). Анализ полученных данных показывает, что в условиях Низменного Дагестана (П) листья на разных сторонах кроны достоверно различаются по длине. При этом листья с северной стороны кроны более развиты, чем листья с южной стороны, что можно объяснить большей прогреваемостью последних на солнечной стороне. В целом можно констатировать, что на низменности листья крупнее на теневой стороне, а в Горном Дагестане – на световой стороне кроны.

Таблица 1

**Некоторые метрические и статистические характеристики морфологических признаков листьев АП вдоль высотного градиента (50, 1100, 1700 м н.у.м.)**

Признаки (N = 27)	$\bar{x} \pm S_x$ , см			$\eta^2$ , %	CV, %		
	ГЭБ	ЦЭБ	П		ГЭБ	ЦЭБ	П
Длина пластинки	7,5±0,24	7,8±0,19	7,9±0,23	4,1	13,9	10,2	12,4
Ширина пластинки	3,2±0,09	3,3±0,07	3,4±0,17	2,8	11,7	9,5	20,8
Длина черешка	0,92±0,03	0,88±0,03	0,99±0,03	13,2**	12,1	13,0	12,0

**Примечание.** Здесь и в остальных таблицах отличия достоверны: \*P > 0,95; \*\*P > 0,99; \*\*\*P > 0,999.

Меристические показатели элементов эпидермы листовой пластинки растений АП, произрастающих в условиях Низменного, Внутреннегорного и Среднегорного Дагестана, представлены в таблице 3. Вариабельность этих показателей незначительна, хотя несколько выше по сравнению с морфологическими признаками листа. Наибольшие различия выявлены в количестве эпидермальных клеток на единице площади на нижней стороне листьев. Так, на ЦЭБ этот показатель меньше на 1 мм<sup>2</sup>, чем в ГЭБ. Однако количество устьиц на единице поверхности листа на нижней эпидерме больше у растений на ЦЭБ, чем на ГЭБ. Различия по количеству клеток на верхней эпидерме намного ниже и доказаны между базами и питомником.

Общепризнано, что плотность и размеры устьиц на единице поверхности листа связаны с регулированием газообмена и транспирации и отражаются на оптимальной продуктивности фотосинтеза растений в соответствующих условиях [15]. Выявлено, что по сравнению с крупными мелкие устьица закрываются быстрее при потере влаги листом [3]. Однако в работах ряда исследователей результаты по изучению зависимости параметров устьиц от условий произрастания вдоль высотного градиента являются противоречивыми: одни авторы наблюдали уменьшение плотности устьиц и увеличение их размеров, другие не выявили каких-либо общих тенденций зависимости этих признаков вдоль высотного градиента [3]. Тем не менее они считают, что высокая плотность устьиц и соответственно меньшие их размеры у мезофитов в экстремальных условиях обитания являются адаптивным признаком [21], и рассматривают эту зависимость как функциональную адаптацию, необходимую для усиления транспирации и ослабления перегрева [9].

Таблица 2

**Количественные показатели морфологических признаков листа АП –1 в зависимости от сторон кроны и уровней произрастания**

Признаки, см (n = 27)	ГЭБ		ЦЭБ		П	
	юг	север	юг	север	юг	север
Длина пластинки	7,9±0,32	7,1±0,34	7,8±0,30	7,9±0,24	7,4±0,30	8,4±0,27*
Ширина пластинки	3,2±0,13	3,1±0,13	3,3±0,09	3,3±0,12	3,1±0,21	3,7±0,22
Длина черешка	0,96±0,02*	0,89±0,05	0,94±0,03*	0,82±0,03	0,97±0,04	1,01±0,04
Диаметр черешка	–	–	–	–	1,5,4±0,03	1,6±0,04*

Таблица 3

**Количественные показатели анатомических признаков эпидермы листа АП-1**

Число элементов на 1 мм <sup>2</sup> , шт.	ГЭБ		ЦЭБ		П	
	$\bar{x} \pm s_x$	V, %	$\bar{x} \pm s_x$	V, %	$\bar{x} \pm s_x$	V, %
Кл вэ	1640,5±29,61	13,3	1588,0±30,22	14,0	1374,5±56,18***	30,0
Кл нэ	3089,8±34,21***	8,1	2944,4±46,24	11,5	2986,5±66,99	16,5
Устьиц нэ	347,9±7,12	15,0	402,6±9,70***	17,7	357,5±9,07	18,6

**Примечание.** Сокращения для всех представленных таблиц: вэ – верхняя эпидерма; нэ – нижняя эпидерма; кл – клетка; тк – ткани; ниж – нижняя; верх – верхняя.

Приспособление листьев АП к почвенно-климатическим условиям на территории ЦЭБ, где среднегодовое количество осадков меньше, чем на территории ГЭБ, а средняя дневная температура значительно выше, выразилось в увеличении количества устьиц на нижней эпидерме листовой пластинки, а в «Питомнике», где растения АП-1 выращивают в условиях орошения, показатели ниже.

Известно также, что мезофиты адаптируются к неблагоприятным условиям за счет уменьшения размеров клеток эпидермы и устьиц при увеличении их количества [5]. АП считается мезофитом, поэтому приспособление к высокой инсоляции (южная сторона) проявляется в увеличении во всех точках произрастания клеток на верхней и нижней эпидермах и количества устьиц на нижней эпидерме на единицу поверхности листовой пластинки.

В целом различия морфометрических показателей структурных элементов покровной ткани на парадермальном срезе доказаны у 8 признаков в 9 случаях из 32, и показатели этих признаков выше у теневых листьев, кроме длины клеток нижней эпидермы над жилками (табл. 4). В «Питомнике» и на ГЭБ различия выявлены по 3 признакам из 8, а у листьев с «Дороги» различия выявлены только у признака «Ширина клеток верхней эпидермы». В целом различий больше у показателей признаков нижней эпидермы (6 случаев), чем у верхней эпидермы (3 случая).

Таблица 4

**Морфометрические показатели структурных элементов покровной ткани листа АП-1 на разных уровнях произрастания и значимость различий в зависимости от сторон кроны (парадермальны́й срез)**

Признаки, мкм	П	Д	ГЭБ	ЦЭБ
Длина кл вэ	34,8±0,77	33,8±0,58	30,3±0,60	32,0±0,59
Ширина кл вэ	25,9±0,54	24,9±0,39*	23,0±0,37	23,1±0,36
Длина кл вэ над жилками	50,5±1,03	51,9±0,81	43,5±0,84	47,7±0,86
Ширина кл вэ над жилками	19,2±0,32***	19,4±0,28	18,7±0,26*	18,4±0,31
Длина кл нэ	21,0±0,43*	21,8±0,48	20,8±0,41	20,9±0,43
Ширина кл нэ	14,6±0,30**	15,2±0,30	14,6±0,29	14,4±0,27
Длина кл нэ над жилками	44,5±0,90	45,8±0,74	36,0±0,66	39,9±0,80*
Ширина кл нэ над жилками	15,6±0,23	16,1±0,24	15,8±0,27	15,4±0,21*
Длина устьиц нэ	28,7±0,28	28,8±0,27	29,4±0,25**	28,3±0,21
Ширина устьиц нэ	21,0±0,16	21,0±0,18	21,5±0,15***	21,4±0,14
Число побочных кл	5,7±0,07	5,9±0,07	6,1±0,08	6,1±0,08
Индекс формы устьиц	1,37±0,01	1,37±0,01	1,37±0,01	1,33±0,01

У структурных элементов покровной ткани листа АП-1 различия доказаны для длины и ширины клеток над жилками нижней эпидермы на ЦЭБ, для ширины клеток верхней эпидермы над жилками и длины и ширины устьиц на ГЭБ, для длины и ширины клеток и ширины клеток над жилками нижней эпидермы в «Питомнике», и только для ширины клеток верхней эпидермы – в условиях «Дороги», у остальных признаков различия являются недостоверными (табл. 4). При этом уровень варьирования показателей большинства признаков средний, кроме признаков «Длина и ширина устьиц нижней эпидермы». Для последних характерна низкая (9,9 и 10,5%) варибельность, которая указывает на генетическую детерминированность показателей устьиц у АП-1.

В зависимости от условий среды могут меняться не только общие размеры клеток устьичных комплексов листа, но и их индексные характеристики. Так, индекс формы устьиц, отражающий отношение длины устьица к ширине и специфику дыхательной активности, у листьев АП принимает следующие значения: в условиях ГЭБ – 1,37; в условиях ЦЭБ – 1,33; «Питомник» – 1,37; «Дорога» – 1,37. Как видим, данные показатели дыхательного аппарата листа мало отличаются у изученных растений.

Анатомические различия элементов мезофилла листа АП-1 вдоль высотного градиента более выражены и по многим показателям доказаны (табл. 5). Большинство морфометрических признаков внутренней структуры листовой пластинки имеет низкий уровни изменчивости (5,8–15,0%).

Толщина кутикулы на нижней стороне листовой пластинки имеет повышенный уровень варьирования (23,0–32,4%) относительно верхней стороны (14,8–25,3%). Кутикула верхней и нижней эпидермы толще достоверно у листьев в условиях ЦЭБ. Эти признаки можно считать адаптивными, способствующими повышению устойчивости растений в засушливых условиях среды. Толщина столбчатого и губчатого мезофилла увеличивается с высотой над уровнем моря, соответственно толщина листа больше в условиях ГЭБ по сравнению с условиями ЦЭБ, и такое утолщение листовой пластинки происходит за счет развития всех тканей при одновременном уменьшении ее размеров [3, 5].

Отмеченное утолщение пластинки в зависимости от интенсивности солнечной инсоляции наблюдается у изученных образцов листьев АП-1 на южной стороне кроны во всех точках произрастания, кроме «Дороги». Специфичность изменений структуры листьев на освещенность в условиях техногенной нагрузки можно объяснить одновременным влиянием и других отрицательных факторов, в том числе поллютантов.

Таблица 5

**Морфометрическая характеристика анатомической структуры мезофилла листа АП-1 и значимость различий в зависимости от сторон кроны (поперечный срез листа)**

Признаки, мкм	ГЭБ		ЦЭБ		П	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	CV, %
Толщина лист пласт	160,2±1,11***	9,3	149,7±1,30***	11,7	176,5±0,76***	5,8
Высота кл вэ	22,7±0,21	12,4	21,6±0,25**	15,0	23,9±0,21**	11,8
Высота кл нэ	13,9±0,15	14,4	13,5±0,14	13,8	14,9±0,15	13,6
Толщина палисадной тк	58,2±0,56***	12,8	55,5±0,70***	17,0	65,6±0,42***	8,5
Толщина губчатой тк	60,9±0,63***	13,8	55,2±0,58	14,2	65,4±0,52	10,8
Толщина верх кутикулы	2,7±0,04	18,6	2,7±0,05***	25,3	2,3±0,03	14,8
Толщина ниж кутикулы	1,8±0,04*	28,8	2,2±0,05***	32,4	1,5±0,03***	23,0

Реакция кутикулы у образцов, взятых с разных точек произрастания, различается в пределах кроны. Толщина верхней и нижней кутикул достоверно больше у световых листьев с точек ЦЭБ и «Дорога», чем у теневых с точек ГЭБ и «Питомник». Чем жестче условия произрастания (ЦЭБ и «Дорога»), тем толще кутикула с южной стороны кроны, и наоборот (ГЭБ и «Питомник»). В целом на нижней стороне изменение толщины кутикулы доказано для всех точек произрастания АП-1. При объединении данных признаков поперечного среза листовой пластинки для всей выборки различия не доказаны только для признака «Высота клеток нижней эпидермы».

Важным приспособительным признаком наряду с количеством устьиц является количество трихом, которые также влияют на скорость транспирации листьев. Однако количественную характеристику признаков трихом, а также их размеров не удалось отразить в работе в связи с неравномерностью опушения листовой пластинки АП и приуроченностью трихом к жилкам.

В некоторых источниках литературы обсуждается мнение о том, что чем пассивнее реакция на тот или иной фактор среды, тем выше адаптивный потенциал растительного организма, и наоборот. По этим показателям предложено выделять признаки чувствительные (биоиндикаторные) и устойчивые [21]. В нашем эксперименте коэффициент вариации морфолого-анатомических признаков листьев алычово-персикового гибрида не показал зависимость от условий произрастания. Тем не менее по уровню вариации показателей признаки листа АП-1, произрастающих в разных экологических условиях, подразделены нами на группы: с низкой (CV до 15%) и средней вариабельностью (от 16 до 35%).

К признакам с высоким адаптивным потенциалом (к устойчивым признакам) отнесены признаки «Длина листовой пластинки», «Высота клеток эпидермы», «Толщина столчатого и губчатого мезофилла листа», «Длина черешка». К чувствительным отнесены признаки «Число клеток эпидермы», «Число устьиц», «Ширина листовой пластинки», «Толщина верхней и нижней кутикул». Признаки с изменчивостью выше 36% не выявлены.

Анализ структурных особенностей листовой пластинки АП-1 позволяет на основе характеристики анатомических признаков, отражающих влияние внешних условий, определить экологическую пластичность в пределах генетической нормы. На основе таких выявленных признаков, как наличие трихом, мелкоклеточность, погруженные устьица, наличие друз и плотно расположенный мезофилл листа, можно говорить о ксероморфности структуры листовой пластинки АП-1, что важно для успешности произрастания этого подвоя и привитых на нем сортов в относительно засушливых условиях Внутреннегорного Дагестана.

Полученные результаты могут быть использованы при интродукции растений на научной основе, при проведении работ по поиску растений-мониторов, чувствительных к воздействию поллютантов, и в генетико-селекционных исследованиях.

*Петиолярная анатомия АП-1 вдоль высотного градиента.* Анатомическое строение вегетативных органов растений: корня, стебля, листа – является относительно постоянным и типичным для двудольных растений. Однако строение черешка листа (петиолярная анатомия), имея видовую специфичность, отличается большим разнообразием диагностических признаков, позволяющих проводить анализ возможных адаптаций в связи с условиями произрастания [7, 10, 12, 17].

Таким образом, в связи с общепризнанными адаптационными изменениями, которые характерны для черешка при изменении условий произрастания, изучение особенностей строения черешка листа АП-1 вдоль высотного градиента в Дагестане представляет как теоретический, так и практический интерес.

При характеристике структурных элементов листовых черешков важно прежде всего выявить экологическую обусловленность морфометрических параметров выборок вдоль высотного градиента произрастания растений АП-1. Проанализировано было 22 признака (табл. 6).

**Средние показатели, мкм, вариация признаков черешка листьев  
с высотных уровней произрастания АП-1 и различия между сторонами кроны  
(поперечный срез черешка) (N = 540)**

Признаки	П, мкм	CV, %	ЦЭБ, мкм	CV, %	ГЭБ, мкм	CV, %	Д	CV, %	F
Толщина кутикулы	4,5	18,7	4,2	22,6	3,8*	29,5	4,6**	17,9	25,5
Высота кл эп	22,0	13,4	20,3	15,3	20,0	17,1	20,7	15,7	12,9
Ширина кл эп	22,6*	21,2	21,4*	22,5	19,1***	20,2	21,2	20,6	19,8
Толщина колл	115,2	14,9	102,7**	15,9	92,9***	19,8	107,7	14,2	55,6
Танг диам кл колл	33,9***	26,4	30,3	29,2	27,8**	27,8	29,8	25,4	16,9
Рад диам кл колл	30,0***	27,8	26,8	30,1	24,4*	28,5	25,6	25,7	18,3
Толщина кор паренх	225,0***	23,3	204,1**	17,6	195,1*	26,1	176,5***	24,4	34,4
Танг диам кл кор пар	46,6	32,6	42,9	28,3	37,6	30,2	38,7	27,4	19,7
Рад диам кл кор пар	38,8**	31,7	36,6	28,4	32,0	31,0	31,5	26,5	21,0
Толщина энд	32,7	31,9	40,1***	34,6	32,2**	36,4	30,6*	32,5	24,0
Танг диам кл энд	28,9	20,3	33,0***	30,5	27,6***	28,9	26,5	19,1	25,6
Рад диам кл энд	46,1*	22,3	38,2***	28,0	38,4***	21,8	43,3	17,2	30,7
Толщина склер	144,2***	19,8	90,4***	21,2	89,5***	20,3	143,4	15,2	349,1
Танг диам кл склер	21,0**	51,0	18,8	43,7	15,0	60,0	17,6	45,5	13,5
Рад диам кл склер	14,1**	44,5	13,3	39,0	10,9*	53,0	12,0	42,7	11,2
Толщина флоэмы	100,3***	18,5	110,0	23,9	98,7*	23,5	96,0*	25,0	12,5
Толщина ксилемы	198,0*	15,6	158,8	13,7	131,2***	13,3	176,7	12,1	263,8
Рад диам сосудов	16,8	36,8	19,1	36,9	17,8	37,0	15,1	38,1	12,4
Танг диам сосудов	15,9	29,4	17,3	28,9	16,4	30,5	13,6	33,2	20,3
Толщина пер зоны	63,7***	25,4	65,0***	26,6	59,2	20,0	48,4	25,0	48,1
Танг диам кл пер зоны	13,0*	31,1	13,2	33,2	12,1	31,1	11,0	26,8	12,1
Рад диам кл пер зоны	10,0*	29,7	10,6	30,1	9,7	31,4	8,2	29,5	21,9

**Примечание.** Сокращения здесь и в других таблицах: толщ – толщина; кл – клетка; эп – эпидерма; колл – колленхима; танг – тангентальный; рад – радиальный; кор – коровая; диам – диаметр; пар – паренхима; склер – склеренхима; энд – эндодерма; пер – перимедулярный. По критерию F отмечены эффекты, значимые на уровне  $p < 0,05$ .

Наиболее существенные изменения были обнаружены в черешках на разных высотных уровнях в развитии склеренхимы, ксилемы и колленхимы. На долю этих признаков приходится до 70% от всей изменчивости учетных признаков, и более развитыми оказались они в условиях Низменного Дагестана (Махачкала).

В условиях Махачкалы в отличие от других условий произрастания у деревьев АП-1 происходит увеличение показателей 15 признаков из 22 учетных. При этом варибельность показателей CV признаков («кроме ширины клеток эпидермы» и «тангентального диаметра клеток колленхимы») снижается. Такое снижение является однозначно следствием воздействия более высоких температур в летний период в условиях Низменного Дагестана. Не коснулись больших изменений размеры сосудов (при значительном увеличении размеров всей ксилемы черешка) и перимедуллярной зоны. Последний признак более развит в условиях Внутреннегорного Дагестана. В условиях ГЭБ разброс показателей заметно выше у 13 признаков, что больше, чем в двух других условиях. По остальным 9 признакам различия показателей CV являются незначительными.

Можно утверждать, что условия ГЭБ ввиду большего количества атмосферных осадков в летний период и снижения температуры воздуха с высотой над уровнем моря оказались более благоприятными для произрастания АП-1. И по развитию признаков, и по изменчивости их параметров условия ЦЭБ оказались промежуточными для растений АП-1.

Если разместить места произрастания растений АП-1 в порядке снижения общих благоприятных условий от Гунибского плато, где высотные условия по влажности и температуре считаются более благоприятными для произрастания деревьев (лесная зона), затем «Питомник», где осуществляется регулярный полив, и Цудахарская ЭБ с относительно засушливыми условиями, характерными для Внутреннегорного Дагестана, и, наконец, у «Дороги» в поселке Ленинкент, где АП растут вблизи асфальтового покрытия, то можно прокомментировать полученный убывающий ряд цифр по значимости различий между северной и южной сторонами крон (14, 14, 8, 4): происходит постепенное снижение разброса показателей анатомических признаков по мере ухудшения условий произрастания. В условиях «Дороги» различия сохранились только у признаков «Толщина кутикулы», «Толщина коровой паренхимы», «Толщина эндодермы» и «Толщина флоэмы (табл. 6).

Из 4 точек произрастания у «Дороги» (в условиях техногенной нагрузки) подавляющее большинство анатомических признаков черешка, как и листовой пластинки, не имеет достоверных различий. В «Питомнике» (условно фоновый), наоборот, уровень достоверности различий большинства показателей признаков теневых и световых листьев высокий, что можно рассматривать как проявление нормы реакции в более широких пределах. В условиях же техногенной нагрузки порог реализации показателей снижается. Антропогенное загрязнение городской среды и высокая прогреваемость асфальтового покрытия приводят к снижению варибельности морфолого-анатомических показателей признаков листьев АП-1.

Морфометрическая характеристика тканей черешков листьев АП-1 в пределах кроны показала специфичность влияния изменений анатомической структуры на освещенность (табл. 7).

Известно, что прочность черешков листьев обуславливается развитием механических тканей. В нашем случае толщина большинства механических тканей больше у световых листьев в точке ГЭБ, а в точках «Питомник» и ЦЭБ – у теневых. В условиях г. Махачкалы склеренхима значительно толще, что, возможно, связано не столько с высокой инсоляцией, сколько с ветровыми нагрузками, которые испытывают листья деревьев. Аналогично реагируют на освещенность и проводящие ткани, в том числе ксилема, которая наряду с транспортной выполняет и механическую функцию.

Таблица 7

**Средние показатели признаков черешка листьев объединенной выборки  
и выборок с высотных уровней произрастания АП-1 (ГЭБ, ЦЭБ, Махачкала)  
в зависимости от экспозиции сторон кроны**

Признаки, мкм	Д		ЦЭБ		ГЭБ		П		Ф	Ф
	север	юг								
Толщ кутикулы	4,5	4,8	4,3	4,1	4,0	3,6	4,5	4,4	5,6	23,4
Высота кл эп	20,6	20,8	20,6	19,9	20,0	20,1	21,8	22,2	4,9	9,0
Ширина кл эп	20,7	21,6	22,2	20,7	18,1	20,0	23,4	21,8	25,1	3,2
Толщина колл	109,1	106,3	98,9	106,5	84,3	101,4	115,9	114,4	69,8	9,3
Танг диам кл колл	30,0	29,7	31,3	29,3	26,1	29,4	36,7	31,1	23,8	–
Рад диам кл колл	25,7	25,5	27,4	26,3	23,3	25,6	32,2	27,8	21,6	–
Толщина кор паренх	195,9	157,1	212,1	196,1	187,1	203,0	249,8	200,2	25,7	41,1
Танг диам кл кор пар	39,4	38,0	43,8	42,1	36,4	38,8	48,4	44,8	14,0	6,6
Рад диам кл кор пар	32,4	30,6	37,5	35,7	31,2	32,8	41,3	36,3	17,0	6,5
Толщина энд	28,7	32,4	32,6	47,6	29,8	34,6	33,5	31,9	4,5	36,9
Танг диам кл энд	26,1	27,0	28,4	37,6	25,1	30,1	29,5	28,3	12,4	29,2
Рад диам кл энд	44,0	42,6	42,3	34,1	35,3	41,6	48,0	44,2	31,3	22,9
Толщина склеренхимы	142,8	144,1	95,3	85,6	84,5	94,6	154,3	134,0	223,3	167,7
Танг диам кл склер	16,8	18,4	19,3	18,3	13,7	16,3	23,2	18,8	18,3	–
Рад диам кл склер	11,8	12,2	13,6	12,9	9,9	11,8	15,4	12,8	17,2	–
Толщина флоэмы	99,9	92,1	108,9	111,2	94,4	103,0	108,2	92,4	6,6	20,6
Толщина ксилемы	179,6	173,7	157,2	160,3	124,0	138,4	202,6	193,4	181,7	96,2
Рад диам сосудов	15,4	14,9	18,3	19,9	18,1	17,5	17,2	16,3	3,7	10,7
Танг диам сосудов	13,9	13,3	16,9	17,8	16,3	16,5	16,3	15,5	6,7	15,3
Толщина пер зоны	49,6	47,2	56,9	73,1	57,6	60,8	69,6	57,8	34,2	52,5
Танг диам кл пер зоны	10,9	11,2	12,8	13,6	12,3	11,8	13,7	12,3	8,8	6,4
Рад диам кл пер зоны	8,1	8,3	10,4	10,9	10,1	9,3	10,5	9,6	13,5	11,0

**Примечание.** По критерию F отмечены эффекты, значимые на уровне  $p < 0,05$ .

Развитие проводящих тканей находится в прямой зависимости от действия ряда факторов (количества осадков, температуры, техногенной нагрузки). С повышением показателей этих факторов снижается активность камбия и, соответственно, уменьшается прирост проводящих тканей. При этом прирост ксилемы больше зависит от количества осадков, а прирост флоэмы – от температуры [6]. Полученные нами результаты в двух точках произрастания (в различных городских условиях «Питомник» и «Дорога») также подтверждают эту закономерность. У растений, произрастающих в условиях Внутреннегорного и Среднегорного Дагестана (ГЭБ, ЦЭБ), наоборот, показатели признаков «Толщина флоэмы и ксилемы» выше у световых листьев, причем различия достоверны по обоим показателям. Возможно, это связано прежде всего с климатическими факторами (в горах недостаток тепла испытывают листья с северной стороны кроны). С высотой над уровнем моря параметры флоэмы по северной стороне уменьшаются, а по южной стороне – увеличиваются. В итоге в объединенной выборке высота не оказывает достоверного влияния на ее параметры. Такая же тенденция прослеживается и в развитии перимедуллярной зоны и эндодермы.

В Низменном Дагестане наблюдается общее снижение варибельности параметров признаков у листьев, собранных с южной стороны кроны, по сравнению листьями, собранными с северной стороны, хотя у растений, выращенных у дороги, не все однозначно, особенно по толщине кутикулы и эндодермы (табл. 8). В то же время с высотой над уровнем моря (Внутреннегорный и Среднегорный Дагестан) у признаков «Толщина эндодермы», «Тангентальный диаметр клеток эндодермы», «Толщина флоэмы» и «Толщина перимедуллярной зоны» наблюдается увеличение показателей у листьев, расположенных на южной стороне кроны, хотя и для этих же признаков с северной стороны кроны различия также доказаны (кроме показателей эндодермы). Развитие колленхимы у листьев на северной стороне кроны вносит в общую дисперсию более весомый вклад, чем развитие этой ткани у листьев, собранных с южной стороны кроны ( $F = 100,3$  и  $12,0$  соответственно).

В объединенной выборке только у 5 признаков (толщина кутикулы, высота клеток эпидермы, радиальный диаметр склеренхимы, толщина эндодермы и тангентальный диаметр ее клеток) происходит увеличение показателей CV у листьев со световой стороны кроны. Незначительно увеличились и показатели перимедуллярной зоны. В целом значительно выше изменчивость признаков черешка по сравнению с показателями признаков листовой пластинки.

Общий разброс изменчивости у 176 изученных показателей следующий: CV менее 15% – у 4 признаков в 10 случаях; CV от 15 до 30% – у 20 признаков и в 108 случаях, что составляет 61,4%; CV более 30% – у 14 признаков и в 57 случаях. На всех уровнях выращивания АП высокое колебание значений имеют 2 признака: тангентальный и радиальный диаметры клеток склеренхимы. Это связано с включением в ткань на более поздних этапах развития, кроме склеренхимных волокон и склереид, которые, как известно, могут принимать разнообразные формы, что сказывается на колебании общих параметров ткани на поперечном срезе. Особенно информативными являются показатели двух признаков: ксилемы и колленхимы. На каждой точке произрастания у обоих признаков значения CV относительно низкие: у первого признака показатели колеблются в пределах от 11,7 до 15,9%, у второго – от 11,0 до 17,8%. При этом значения CV объединенной выборки выше: от 20,1 до 24,6% в первом случае и от 17,3 до 19,8% – во втором, то есть в конкретных условиях среды показатели этих признаков весьма стабильны, но при изменении условий параметры изменяются до какого-то нового уровня и вновь стабилизируются. Можно сказать, что толщина ксилемы и колленхимы чувствительна к изменению высотных условий произрастания АП-1, и морфометрические параметры этих уровней являются индикационными.

**Вариабельность (CV, %) показателей  
анатомических признаков черешка листьев АП-1 с разных сторон кроны  
на разных высотных уровнях произрастания**

Признаки	ГЭБ		П		ЦЭБ		Общее	
	север	юг	север	юг	север	юг	север	юг
Толщ кутикулы	25,0	33,4	19,6	17,7	18,9	25,9	21,5	26,7
Высота кл эп	18,1	16,1	14,0	12,8	13,5	16,9	15,6	15,9
Ширина кл эп	18,3	20,5	20,2	21,8	21,9	22,6	23,1	21,9
Толщина колл	17,8	17,3	15,7	14,1	11,0	17,6	19,8	17,3
Танг диам кл колл	27,6	26,9	24,8	25,4	30,1	27,8	30,6	26,7
Рад диам кл колл	28,1	28,3	28,1	24,9	29,3	31,0	31,5	28,2
Толщина кор паренх	33,0	17,7	23,2	15,2	17,9	16,3	27,4	16,5
Танг диам кл кор пар	31,2	29,1	36,0	27,7	28,0	28,8	34,4	29,0
Рад диам кл кор пар	33,1	29,0	31,8	30,0	26,9	29,9	32,6	30,0
Толщина энд	40,4	31,6	33,5	30,0	28,5	28,7	34,4	35,2
Танг диам кл энд	22,0	30,5	20,3	20,2	21,0	29,9	22,1	30,7
Рад диам кл энд	22,4	18,5	22,7	21,1	23,2	29,3	26,1	25,0
Толщина склеренхимы	16,9	21,4	19,9	16,6	14,8	25,9	33,5	28,7
Танг диам кл склер	42,7	68,7	50,9	47,9	47,4	39,3	53,4	52,3
Рад диам кл склер	37,7	60,4	43,7	43,0	42,6	34,7	46,2	46,5
Толщина флоэмы	26,5	19,8	17,2	16,1	23,9	24,0	23,4	22,0
Толщина ксилемы	12,2	12,0	15,9	15,0	11,7	15,0	24,6	20,1
Рад диам сосудов	36,0	38,1	38,2	35,3	40,4	33,4	38,2	36,4
Танг диам сосудов	33,3	27,6	29,6	29,1	28,7	28,9	30,5	29,1
Толщина пер зоны	18,4	21,0	24,9	21,6	21,1	24,7	24,1	25,1
Танг диам кл пер зоны	29,0	33,3	32,0	28,7	32,2	33,9	31,4	32,7
Рад диам кл пер зоны	30,7	31,8	30,1	28,5	26,7	32,9	29,2	32,0
CV до 15%	1	1	1	3	4	1	0	0
CV 15–30%	12	13	13	16	13	15	11	14
CV более 30%	9	8	8	3	5	6	11	7

Существующие различия между признаками черешка вдоль высотного градиента (50, 1100 и 1750 м н.у.м.) уточнены и по итогам дисперсионного анализа. Максимальную долю изменчивости обеспечивают признаки колленхимы, ксилемы и склеренхимы. Эти же признаки, как было показано выше, имеют минимальную изменчивость внутри выборок и максимальную – в объединенной выборке (табл. 9). При этом данные отличия как у листьев с северной стороны, так и у листьев с южной стороны кроны, с высотой над уровнем моря снижаются ( $r = -0,47; -0,70; -0,75$  соответственно). Таковой является общая тенденция и по большинству признаков.

Таблица 9

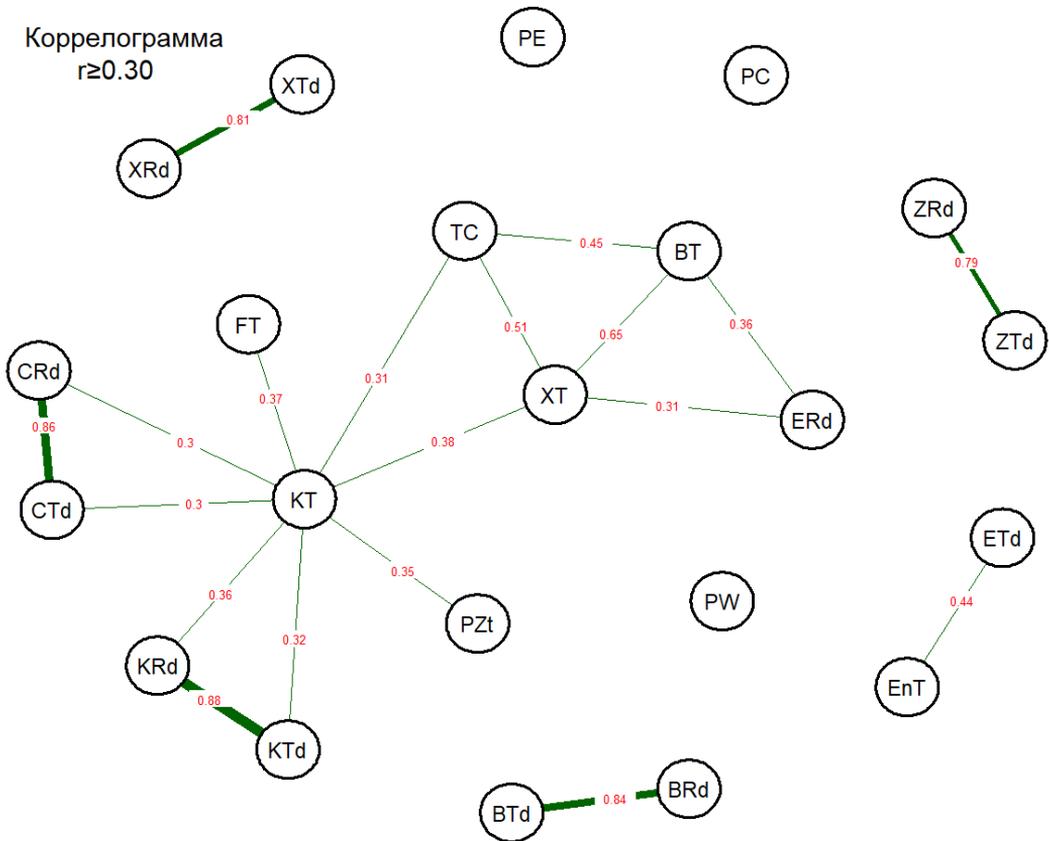
**Компоненты дисперсии и регрессии по показателям черешка АП-1 объединенной выборки вдоль высотного градиента**

Признаки	$\eta^2$ , %	$r^2$ , %	$r_{xy}$	$\Delta r$
Толщ кутикулы	6,9***	6,3***	-0,25***	91,3
Высота кл эп	6,8***	6,4***	-0,25***	94,1
Ширина кл эп	9,8***	8,8***	-0,30***	89,8
Толщина колл	21,8***	21,7***	-0,47***	99,5
Танг диам кл колл	8,0***	8,0***	-0,28***	100,0
Рад диам кл колл	7,8***	7,8***	-0,28***	100,0
Толщина кор паренх	6,7***	6,6***	-0,26***	98,5
Танг диам кл кор пар	7,5***	7,0***	-0,27***	93,3
Рад диам кл кор пар	6,2***	5,5***	-0,23***	88,7
Толщина энд	8,2***	0,1	0,02	1,2
Танг диам кл энд	7,4***	0,1	-0,02	1,4
Рад диам кл энд	12,2***	10,3***	-0,32***	84,4
Толщина склеренхимы	56,5***	49,3***	-0,70***	87,3
Танг диам кл склер	6,4***	5,9***	-0,24***	92,2
Рад диам кл склер	5,3***	4,4***	-0,21***	83,0
Толщина флоэмы	4,6***	0,0	0,00	0,0
Толщина ксилемы	56,8***	56,7***	-0,75***	99,8
Рад диам сосудов	2,0**	0,7	0,08	35,0
Танг диам сосудов	1,5*	0,3	0,06	20,0
Толщина пер зоны	2,6***	1,0*	-0,10*	38,5
Танг диам кл пер зоны	1,4*	0,7	-0,08	50,0
Рад диам кл пер зоны	1,6*	0,1	-0,03	6,3



**Количественный учет достоверных корреляционных связей признаков черешка в объединенной выборке**

Учетные признаки	Обозначения	ГЭБ	ЦЭБ	Д	П	Сев.	Юг	$r \geq 0,3$
Толщ кутикулы	PC	1	7	2	4	7	6	0
Высота кл эп	PE	1	4	4	2	12	4	0
Ширина кл эп	PW	3	3	3	8	17	6	0
Толщина колл	TC	7	7	10	12	10	9	1
Танг диам кл колл	CTd	7	6	5	13	17	8	2
Рад диам кл колл	CRd	8	5	5	13	18	12	2
Толщина кор паренх	KT	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>8</b>
Танг диам кл кор пар	KTd	4	8	5	7	14	6	2
Рад диам кл кор пар	KRd	5	9	9	10	17	10	2
Толщина энд	EnT	7	8	5	5	11	11	1
Танг диам кл энд	ETd	8	7	3	7	14	11	1
Рад диам кл энд	ERd	8	7	8	12	16	10	2
Толщина склеренхимы	BT	8	7	7	19	16	15	3
Танг диам кл склер	BTd	2	5	7	8	15	8	1
Рад диам кл склер	BRd	1	6	6	9	16	6	1
Толщина флоэмы	FT	9	12	4	16	17	14	1
Толщина ксилемы	XT	12	10	11	9	10	12	4
Рад диам сосудов	XRd	2	3	8	9	5	6	1
Танг диам сосудов	XTd	4	2	11	7	7	7	1
Толщина пер зоны	PZt	3	11	5	15	18	12	1
Танг диам кл пер зоны	ZTd	2	2	1	10	10	8	1
Рад диам кл пер зоны	ZRd	1	2	2	10	10	9	1
Общее число корреляций		114	144	132	222	310	210	36



**Рис. 5.** Структура корреляций анатомических признаков черешка

Из указанных на рисунке признаков «Толщина кутикулы – PC», «Высота клеток эпидермы – PE» и «Ширина клеток эпидермы – PW» не связаны ни с одним из учтенных признаков. Некоторые связи являются чисто функциональными: например, радиальный и тангентальный диаметры перимедуллярной зоны, склеренхимы, сосудов и др. Таких связей с показателями  $r \geq 0,3$  оказалось 16 из 36. Отрицательными являются только отношения между толщиной склеренхимы, тангентальным диаметром эндодермы и толщиной перимедуллярной зоны, то есть с высотой над уровнем моря по мере снижения размеров склеренхимы, что достоверно показано для растений АП-1, тангентальный диаметр эндодермы и толщина перимедуллярной зоны увеличиваются. При этом толщина склеренхимы положительно связана с радиальным диаметром эндодермы и толщиной ксилемы. Кроме того, показана положительная связь коровой паренхимы не только с элементами, из которых сложена сама, но и с флоэмой, ксилемой и перимедуллярной зоной.

## Выводы

1. Количественный анализ анатомических признаков пластинки и черешка листьев гибрида АП-1 позволил выявить размах показателей (пластичность) под влиянием контрастных внешних условий вдоль высотного градиента (от 50 до 1700 м н.у.м.) и адаптивный характер выявленных особенностей. Полученные данные по структурным признакам листьев, выращенных в различных условиях, позволили определить пределы генетической нормы, что можно использовать в дальнейшем и при оценке

сортов различных косточковых культур с учетом производственных задач питомниководства и садоводства.

2. Адаптивные изменения анатомического строения листьев позволяют растениям, произрастающим в сложных экологических условиях, проявлять устойчивость к неблагоприятным факторам среды для реализации своей онтогенетической программы. Из признаков листовой пластинки АП-1 чувствительными к условиям среды оказались число клеток нижней эпидермы, количество устьиц, длина клеток верхней и нижней эпидермы над жилками, толщина листовой пластинки, толщина губчатой ткани, толщина верхней и нижней кутикулы, а у черешка – толщина колленхимы, склеренхимы и ксилемы. Вышеперечисленные, наиболее чувствительные к условиям произрастания признаки можно использовать в качестве индикаторов.

3. Чрезмерное развитие склеренхимы в условиях Низменного Дагестана и высокая положительная коррелятивная связь этой ткани с колленхимой и ксилемой можно связать с постоянным воздействием сильных ветров. Зависимость строения тех или иных частей растения от характера испытываемых ими нагрузок показана с использованием многих примеров [14].

4. В качестве таксоноспецифических признаков листа АП-1 предложены извилистость стенок клеток эпидермы, типы простых и железистых остроконусовидных, шиловидных и серповидноизогнутых трихом, аномоцитный тип устьичного комплекса, углубление устьиц относительно эпидермы, овальная форма поперечного сечения черешка с городчатыми краями, вместилища с липофильным секретом во флоэмной части и наличие друз оксалата кальция в коровой паренхиме.

5. Снижение вариабельности показателей CV признаков черешков (кроме ширины клеток эпидермы и тангентального диаметра клеток колленхимы) в условиях Низменного Дагестана является следствием более высоких температур в летний период. В условиях ГЭБ разброс показателей заметно выше, чем на ЦЭБ и в Махачкале. Можно утверждать, что условия ГЭБ ввиду большего количества атмосферных осадков в летний период и снижения температуры воздуха с высотой над уровнем моря оказались более благоприятными для произрастания АП-1. И по развитию признаков, и по изменчивости их параметров условия ЦЭБ оказались промежуточными для растений АП-1.

6. В пределах кроны дерева ткани черешка показали специфичность изменений анатомической структуры на освещенность. При этом толщина большинства механических тканей больше у световых листьев в точках ЦЭБ и ГЭБ, а в «Питомнике» – у теневых. Объясняются такие изменения высокой световой и термической нагрузкой, которой подвержены на южной стороне кроны листья деревьев в условиях г. Махачкалы. Аналогично реагируют на освещенность и проводящие ткани. Известно, что чем сильнее действие негативного фактора, тем ниже камбиальная активность и, соответственно, уменьшается толщина ксилемы и флоэмы. С высотой над уровнем моря параметры флоэмы по северной стороне уменьшаются, а по южной стороне – увеличиваются. Такой же является тенденция и в развитии перимедуллярной зоны и эндодермы.

7. В объединенной выборке только у 5 признаков (толщина кутикулы, высота клеток эпидермы, радиальный диаметр склеренхимы, толщина эндодермы и тангентальный диаметр ее клеток) происходит увеличение показателей CV. Незначительно увеличились и показатели перимедуллярной зоны. По сравнению с показателями признаков листовой пластинки изменчивость признаков черешка возросла значительно. Общий разброс из 176 возможных показателей является следующим: CV менее 15% – у 4 признаков в 10 случаях; CV от 15 до 30% – у 20 признаков и в 108 случаях, что составляет 61,4%; CV более 30% – у 14 признаков и в 57 случаях.

8. Изменчивость признаков черешка по сравнению с показателями признаков листовой пластинки значительно выше на всех уровнях выращивания АП-1, доля признаков с CV от 15 до 30% составила 61,4%. Высокое колебание значений имеют признаки клеток склеренхимы, что связано с включением в эту ткань склереид. Особенно информативной является изменчивость показателей ксилемы и колленхимы. У обоих признаков в каждой из 3 точек значения CV относительно низкие. При этом значения CV объединенной выборки выше, то есть в конкретных условиях среды показатели этих признаков являются стабильными, но при изменении условий параметры перестраиваются до какого-то нового уровня и вновь стабилизируются. Отсюда вытекает, что толщина ксилемы и колленхимы чувствительна к изменению высотных условий произрастания АП, а их морфометрические параметры являются индикационными.

### Библиографический список

1. Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С. Физическая география Дагестана: Учебное пособие. – Махачкала: ДГПУ «Школа», 1996. – 382 с.
2. Асадулаев З.М., Юсупов Г.Д. Выращивание клоновых подвоев и саженцев яблони, груши и айвы. – Махачкала: ДГПУ, 2005. – 224 с.
3. Бабоша А.В., Кумахова Т.Х., Рябченко А.С., Комарова Г.И. Полиморфизм устьиц листьев яблони *Malus domestica* Borkh. в горах и на равнине // Известия РАН. Серия «Биология». – 2020. – № 4. – С. 361–374.
4. Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы: Справочник. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 312 с.
5. Василевская В.К. Формирование листа засухоустойчивых растений. – Ашхабад: Изд-во АН ТССР, 1954. – 183 с.
6. Гамалей Ю.В. Природа транспортных сетей сосудистых растений. Контроль их развития в онтогенезе // Материалы Международной конференции «Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под действием факторов среды». – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. – С. 89–94.
7. Захарова Е.А. Сравнительная анатомия черешков представителей *Carum* s.l. (Ariaceae) // Ботанический журнал. – 2015. – № 7. – С. 676–687.
8. Трунов Ю.В., Гудковский В.А., Каширская Н.Я. и др. Интенсивные сады яблони средней полосы России: Монография / Под ред. Ю.В. Трунова. – Мичуринск-Наукоград РФ: ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина, 2016. – 192 с.
9. Крохмаль И.И. Анатомо-морфологические характеристики листа некоторых видов рода *Samolus* L. при интродукции в условиях юго-востока Украины // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2011. – Т. 24 (63), № 1. – С. 97–108.
10. Климов А.В., Прошкин Б.В. Идентификация видов и гибридов *Populus* L. по признакам петиолярной анатомии // Проблемы изучения растительного покрова Сибири: Сборник трудов VII Международной научной конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2020. – С. 58–60.
11. Курриянова Е.А. Сравнительное фармакогностическое исследование представителей рода тополь (*Populus* L.): Автореф. дис. ... канд. фарм. наук. – Самара, 2020. – 23 с.
12. Куркин В.А., Акушская А.С., Рыжов В.М., Тарасенко Л.В., Топоркова П.Д. Петиолярная анатомия в рамках анатомо-морфологического исследования перспективного лекарственного сырья травы женьшеня // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–6. – С. 1274–1278.
13. Магомедмирзаев М.М., Гасанова Н.Г. Количественная оценка факторов изменчивости размерных признаков в популяциях растений (на примере

альгичи) // Генетика и эволюция природных популяций растений: Сборник статей. – Махачкала, 1975. – Вып. 1. – С. 26–37.

14. Паутов А.А. Закономерности филломорфогенеза вегетативных органов растений: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2009. – 218 с.

15. Пирогова Д.В., Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М. Анализ особенностей анатомо-морфологического строения листьев некоторых древесных растений // Сельскохозяйственная биология. – 2008. – № 1. – С. 116–122.

16. Трунов Ю.В., Самощенко Е.Г., Дорошенко Т.Н. и др. Плодоводство: учебник / Под ред. Ю.В. Трунова, Е.Г. Самощенко. – М.: КолосС, 2012. – 415 с.

17. Попова И.А., Плаксина Т.И., Рыжов В.М., Тарасенко Л.В. Новое в диагностике краснокнижных видов растений рода *Hedysarum* // Modern Phytomorphology. – 2013. – № 3. – С. 207–211.

18. Самылина И.А., Аносова О.Г. Фармакогнозия. Атлас: Учебное пособие. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – Т. 1. – 192 с.

19. Синская Е.Н. Учение о виде и таксонах: Конспект лекций. – Л.: Изд-во ВИР, 1961. – 46 с.

20. Сюков В.В., Менбаев А.И. Экологическая селекция растений: типы и практика (обзор) // Известия Самарского научного центра РАН. – Т. 17, № 4 (3). – 2015. – С. 463–466.

21. Уразгильдин Р.В. Классификация адаптивных стратегий древесных растений к техногенному загрязнению (на примере липы сердцевидной *Tilia cordata* Mill.) // Аграрная Россия. – 2009. – № 1. – С. 205–209.

22. Borlaug N.E. Wheat breeding and its impact on world food supply // Proc. 3<sup>rd</sup> Intern. Wheat Genetic Symp., Canberra, Australia. – 1968. – Pp. 1–36.

23. Epskamp S. et al. QGraph: Graph Plotting Methods, Psychometric Data Visualization and Graphical Model Estimation. Version 1.6.4. – 2019. Package R Development Core Team.

## MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL ADAPTATIONS OF LEAVES OF THE KUBAN-86 CLONAL ROOTSTOCK IN THE CONDITIONS OF DAGESTAN

Z.M. ASADULAEV<sup>1</sup>, Z.R. RAMAZANOVA<sup>1,2</sup>, D.M. ANATOV<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Scientific Center of Russian Academy of Sciences; <sup>2</sup>Dagestan State Pedagogical University)

*The article discusses the anatomical structure of the leaf blade and petiole of plants of the clonal rootstock of the apple tree Kuban-86 (AP-1) depending on their growth at different altitudes of mountainous Dagestan and under urban conditions. The paratypical nature of the occurrence in an ecological-genetic experiment with clonal plants within the reaction norm is substantiated. The relationship of adaptive changes with plant growth conditions and the location of leaf attachment in the crown (sunny or shady side) is analysed, and labile and stable characteristics are identified. As taxon-specific characteristics of the AP-1 leaf the authors proposed the tortuosity of the epidermal cell walls, the types of simple and glandular trichomes, the anomocytic type of the stomatal complex, the deepening of the stomata in relation to the epidermis, the oval shape of the petiole cross-section with crenate edges, containers with a lipophilic secretion in the phloem part and the presence of oxalate drusen in the cortex parenchyma. The variability of petiole characteristics is higher than that of blade characteristics and the informative value of indicators of sclerenchyma, xylem and collenchyma tissues. The possibilities of quantitative analysis of leaf and petiole anatomical characteristics and the prospects of petiole anatomy of the hybrid AP-1 in assessing the plasticity of indicators*

under the influence of contrasting external conditions along an altitudinal gradient are considered. Within the crown, the specificity of changes in the anatomical structure of petiole tissues to illumination was revealed. Furthermore, the thickness of most mechanical tissues is greater in light leaves in mountainous areas and in shaded leaves in lowland areas. The latter is explained by the high light and thermal stress to which leaves on the southern side of the crown are exposed.

**Keywords:** *Prunus divaricata* × *Persica vulgaris* (AP-1), anatomical structure, leaf blade and petiole, conditions of Plain and Mountainous Dagestan.

## References

1. Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S. *Physical geography of Dagestan*: textbook. Makhachkala, Russia: DGPU “Shkola”, 1996:382. (In Russ.)
2. Asadulaev Z.M., Yusupov G.D. *Growing clonal rootstocks and seedlings of apple, pear and quince*. Makhachkala, Russia: DGPU, 2005:224. (In Russ.)
3. Babosha A.V., Ryabchenko A.S., Komarova G.I., Kumachova T.K. Stomata polymorphism in leaves of apple trees (*malus domestica* borkh.) growing under mountain and plain conditions. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*. 2020;4:361–374. (In Russ.)
4. Barykina R.P. *Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods*: reference book. Moscow, Russia: Moscow State University, 2004:312. (In Russ.)
5. Vasilevskaya V.K. *Leaf formation of drought-resistant plants*. Ashkhabad, USSR: Izd-vo AN TSSR, 1954:183. (In Russ.)
6. Gamaley Yu.V. Nature of transport networks of vascular plants. Control of their development in ontogenesis. *Mezhdunarodnaya konferentsii “Strukturnye i funktsional’nye otkloneniya ot normal’nogo rosta i razvitiya rasteniy pod deystviem faktorov sredy”*. June 20–25, 2011. Petrozavodsk, Russia: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2011:89–94. (In Russ.)
7. Zakharova E.A. Comparative anatomy of petioles of *Carum* s. L. species (Apiaceae). *Botanicheskii zhurnal*. 2015;7:676–687. (In Russ.)
8. Trunov Yu.V., Gudkovskiy V.A., Kashirskaya N.Ya. et al. *Intensive apple orchards of the middle zone of Russia*: a monograph. Michurinsk, Russia: VNII sadovodstva im. I.V. Michurina, 2016:192. (In Russ.)
9. Krokmal I.I. Anatomical and morphological features of *Campanula* L. species leaves introduced in south-east of Ukraine. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional’nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya “Biologiya, khimiya”*. 2011;24(63)(1):97–108. (In Russ.)
10. Klimov A.V., Proshkin B.V. Identification of species and hybrids of *Populus* L. according to the signs of petiolar anatomy. *VII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya “Problemy izucheniya rastitel’nogo pokrova Sibiri”*. September 28–30, 2020. Tomsk, Russia: Tomsk State University, 2020:58–60. (In Russ.)
11. Kupriyanova E.A. Comparative pharmacognostic study of representatives of the poplar genus (*Populus* L.). CSc (Farm) thesis. Samara, Russia, 2020:23. (In Russ.)
12. Kurkin V.A., Akushskaya A.S., Ryzhov V.M., Tarasenko L.V., Toporkova P.D. Petiolar anatomy within the framework of an anatomical and morphological study of promising medicinal raw materials of ginseng herb. *Fundamental’nye issledovaniya*. 2014;5–6:1274–1278. (In Russ.)
13. Magomedmirzaev M.M., Gasanova N.G. Quantitative assessment of factors of variability of size traits in plant populations (using the example of cherry plum. In: *Genetics and evolution of natural plant populations*. Makhachkala, USSR, 1975:1:26–37. (In Russ.)
14. Pautov A.A. *Patterns of phylomorphogenesis of vegetative organs of plants*: textbook. St. Petersburg, Russia: Saint-Petersburg State University, 2009:218. (In Russ.)

15. Pirogova D.V., Suntsova L.N., Inshakov E.M. Analysis of the features of the anatomical and morphological structure of the leaves of some woody plants]. *Agricultural Biology*. 2008;1:116–122. (In Russ.)
16. Trunov Yu.V., Samoshchenkov E.G., Doroshenko T.N. et al. *Horticulture*: textbook. Moscow, Russia: KolosS, 2012:415. (In Russ.)
17. Popova I.A., Plaksina T.I., Ryzhov V.M., Tarasenko L.V. The novelties in diagnostic of redlist plants from the genus *Hedysarum*. *Sovremennaya fitomorfologiya*. 2013;3:207–211. (In Russ.)
18. Samylina I.A., Anosova O.G. *Pharmacognosy: Atlas*: textbook. Moscow, Russia: GEOTAR-Media, 2007;1:192. (In Russ.)
19. Sinskaya E.N. *The doctrine of species and taxa*: lecture notes. Leningrad, USSR: VIR, 1961:46. (In Russ.)
20. Syukov V.V., Menbaev A.I. Ecological plant breeding: types and practice (review). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015;17(4(3)):463–466. (In Russ.)
21. Urazgil'din R.V. Classification of adaptive strategies of woody plants to technogenic pollution (using the example of the heart-shaped linden *Tilia cordata* Mill.). *Agrarnaya Rossiya*. 2009;1:205–209. (In Russ.)
22. Borlaug N.E. Wheat breeding and its impact on world food supply. *3<sup>rd</sup> Intern. Wheat Genetic Symp.* Canberra, Australia, 1968:1–36.
23. Epskamp S. et al. *Qgraph: Graph Plotting Methods, Psychometric Data Visualization and Graphical Model Estimation*. Version 1.6.4. 2019, Package R Development Core Team.

### Сведения об авторах

**Асадулаев Загирбег Магомедович**, д-р биол. наук, профессор, заведующий лабораторией, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Горный ботанический сад – обособленное подразделение ДФИЦ РАН; Российская Федерация, г. Махачкала; e-mail: asgorbs@mail.ru; тел.: (928) 048–39–80

**Рамазанова Зулфира Рамазановна**, канд. биол. наук, доцент, Дагестанский государственный педагогический университет; научный сотрудник, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Горный ботанический сад – обособленное подразделение ДФИЦ РАН; Российская Федерация, г. Махачкала; e-mail: zulfiraram@mail.ru; тел.: (903) 481–29–48

**Анатов Джалалудин Магомедович**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Горный ботанический сад – обособленное подразделение ДФИЦ РАН; Российская Федерация, г. Махачкала; e-mail: djalal@list.ru; тел.: (988) 269–62–99

### Information about the authors

**Zagirbeg M. Asadulaev**, DSc (Bio), Professor, Head of the Laboratory, Dagestan Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Mountain Botanical Garden, (45 M. Gadzhieva St., Makhachkala, 367000, Russian Federation; phone: (928) 048–39–80; e-mail: asgorbs@mail.ru)

**Zulfira R. Ramazanova**, CSc (Bio), Associate Professor, Dagestan State Pedagogical University (57 M. Yaragskogo St., Makhachkala, 367003, Russian Federation; phone: (988) 269–62–99; e-mail: zulfiraram@mail.ru)

**Dzhalaludin M. Anotov**, CSc (Bio), Senior Research Associate, Dagestan Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Mountain Botanical Garden (45 M. Gadzhieva St., Makhachkala, 367000, Russian Federation; phone; e-mail: djalal@list.ru)

## ИЗУЧЕНИЕ АДАПТАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕСНЫХ ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ *EX VITRO* В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.И. КУЛИКОВА<sup>1</sup>, Л.В. ЗАРУБИНА<sup>1</sup>, В.В. СУРОВ<sup>1</sup>,  
Д.В. ДОНЯ<sup>2</sup>, Ю.В. УСТИНОВА<sup>2</sup>, Н.С. УМНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Приведены результаты исследований по изучению фенологических и морфологических особенностей лесных ягодных растений, полученных методом микроклонального размножения и адаптированных *ex vitro*, после пересадки в условия открытого грунта в Вологодском районе Вологодской области. В настоящее время в условиях импортозамещения и спроса на плодово-ягодную продукцию необходимо промышленное выращивание посадочного материала ягодных растений. В качестве объектов исследований изучали растения брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) сортов 'Костромичка' и 'Костромская розовая', голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) сортов 'Northblue' и 'Northcountry', клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) сортов 'Дар Костромы' и 'Северянка', княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) сортов 'Astra' и 'Галина'. Зимостойкость 2-летних саженцев изучаемых ягодных культур, полученных методом *in vitro*, после перезимовки в 1-й декаде мая составляла 89–100%. Растения *R. arcticus* 2-го года жизни имели высоту в среднем 9,3–10,2 см, *V. angustifolium* – 17,4–18,1 см, *V. oxycoccos* – 6,4–7,2 см, *V. vitis-idaea* – 6,2–7,0 см. Урожайность воздушно-сухой фитомассы листьев 2-летних растений *R. arcticus* составила в среднем 112,9–151,8 г/м<sup>2</sup>, *V. vitis-idaea* – 2,1–2,2 г/м<sup>2</sup>; воздушно-сухая масса листьев растений составляла 18–21% от сырой массы. На 2-летних растениях *R. arcticus* отмечено повреждение листьев крестоцветной блошкой (*Phyllotreta Stephens*). Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой адаптационной способности изучаемых ягодных растений в почвенно-климатических условиях Вологодской области.

**Ключевые слова:** ягодные растения, брусника, голубика, клюква, княженика, *Vaccinium*, *Rubus*, открытый грунт, фенологические признаки, морфологические признаки, фитомасса.

### Введение

Существующая на сегодняшний день потребность в продукции нетрадиционных для садоводства ягодных культур не обеспечивается имеющимися в стране лесными дикоросами и площадями культурных плантаций. При этом природные популяции ягодников интенсивно сокращаются в связи с повышением антропогенной нагрузки, не контролируемой эксплуатацией угодий и различными природно-климатическими изменениями [49]. Выращивание посадочного материала дикорастущих ягодных растений с целью создания новых питомников, создания маточных насаждений будет способствовать обеспечению российских производителей ягод и лекарственных растений сортовым посадочным материалом, импортозамещению в данном направлении. Высокая потребность в посадочном материале в совокупности с ограничением ввоза на территорию России саженцев, инфицированных карантинными объектами, актуализирует необходимость восстановления системы отечественного производства посадочного материала и саженцев высших категорий качества [11]. Российский рынок ягод характеризуется относительно стабильными размерами

посевных площадей и сборов, преобладанием нетоварного и мелкотоварного производства, небольшим числом крупных производителей, высокими объемами импортных поставок [6]. Снижение уровня импортозависимости относительно плодов и ягод является одним из приоритетов в государственной аграрной политике России.

Для решения проблемы производства качественного отечественного оздоровленного посадочного материала ягодных культур высших категорий качества большая роль отводится плодовому питомниководству [11], являющемуся базой для закладки ягодников чистосортным сертифицированным посадочным материалом. Российский рынок посадочного материала недостаточно развит: его доля в мире составляет не более 5–10%. Импортный посадочный материал не всегда отвечает требованиям стандарта и не адаптирован к природно-климатическим условиям страны [6]. Большинство дикорастущих ягодных растений, не имеющих пока еще широкого распространения в промышленном культивировании в России, имеют хорошие возможности вегетативного размножения [51–53, 58, 59]. Использование сортов отечественной селекции, не уступающих зарубежным аналогам по зимостойкости, крупноплодности, урожайности и устойчивости к влиянию болезней и вредителей [16, 27, 35], является наиболее целесообразным при выращивании ягодных растений в суровых климатических условиях северных регионов России.

В настоящее время сохранение биоразнообразия растений и создание коллекций *in vitro* являются одними из перспективных направлений биотехнологии. В частности, широко применяемый метод клонального микроразмножения позволяет в кратчайшие сроки получить большое количество растений при недостатке исходного материала. Клональное микроразмножение растений имеет ряд существенных преимуществ – таких, как получение генетически однородного материала, проведение работ в течение всего года, ускорение роста растений, оздоровление растений от вирусов и других инфекций, высокий коэффициент размножения, экономия площадей, занятых маточными и размножаемыми растениями, получение экологически чистого сырья. Кроме того, в условиях *in vitro* часто размножаются и укореняются те растения, которые совсем не размножаются или плохо размножаются традиционными способами [7, 8].

Результаты множества исследований по клональному микроразмножению ягодных растений – таких, как голубика [4, 9, 10, 26, 29, 31, 30, 33, 38, 44, 46, 48, 54, 56, 57, 62], брусника [4, 9, 13, 18, 38, 39, 41, 45, 48, 60–62], клюква [2, 3, 9, 17, 19, 30, 38, 42, 46, 48, 56], жимолость [20–22, 25, 29, 32, 33, 38, 43, 44], княженика [4, 5, 9, 15, 23, 24, 28, 29, 30, 33, 34, 38, 44, 47, 48, 56, 63] и других, показывают высокую эффективность и перспективы применения данного способа получения сортового посадочного материала в промышленных масштабах. При этом необходимо проведение дополнительных исследований по изучению особенностей роста и развития ягодных растений, выращенных с помощью метода культуры клеток и тканей, в открытом грунте в условиях Северо-Западного региона Европейской части России.

**Цель исследований:** изучение фенологических и морфологических особенностей ягодных растений (брусника обыкновенная, голубика узколистная, клюква болотная, княженика арктическая), полученных методом микроразмножения, при выращивании в открытом грунте в условиях Вологодской области.

### Материал и методы исследований

Исследования проводили на опытном участке на базе ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА имени Н.В. Верещагина» (Вологодский район Вологодской области) в 2022–2023 гг. В качестве объектов исследований изучали ягодные растения

2-летнего возраста, выращенные предварительно в условиях *in vitro* и адаптированные к условиям *ex vitro*: брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) сортов ‘Костромичка’ и ‘Костромская розовая’; голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Ait.) сортов ‘Northblue’ и ‘Northcountry’; клюква болотная (*Vaccinium oxycoccos* L.) сортов ‘Дар Костромы’ и ‘Северянка’; княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.) сортов ‘Astra’ и ‘Галина’. Адаптированный посадочный материал был высажен в открытый грунт. Субстрат для выращивания готовили из низового торфа и речного песка в соотношении 3:1, подкисляя его раствором лимонной кислоты до оптимальных для каждой культуры значений pH: *V. vitis-idaea* и *V. oxycoccos* – 3,8...4,5; *V. angustifolium* – 4,5...5,2; *R. arcticus* – 3,2...4,0. Схема посадки: *V. vitis-idaea* – 0,3×1,0 м, *V. angustifolium* – 1,5×2,0 м, *V. oxycoccos* – 0,4×0,4 м, *R. arcticus* – 0,4×1,0 м.

Район исследований характеризуется умеренно-континентальным климатом с умеренно-теплым летом и относительно холодной зимой. Среднегодовая температура составляет +2,4...+2,8°C при средней температуре самого холодного месяца –11°C, а самого теплого – +17°C. Продолжительность залегания снежного покрова – 165–170 дней. Среднегодовое количество осадков составляет 520–600 мм. Во время вегетации выпадает до 300 мм [1, 14, 40]. В 2022 г. осенний период по показателям температуры воздуха и количества осадков был близким к среднемугодовым значениям, а погодные условия – благоприятными для подготовки саженцев к перезимовке. На территории района преобладают дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы на породах различного состава, с кислой реакцией по всему профилю [1].

Полевую оценку зимостойкости изучаемых культур проводили по принятой методике [50] путем определения степени подмерзания побегов через 20 дней после начала вегетации растений. Фенологические наблюдения за растениями проводили по общепринятой методике [36]. При этом учитывали фазы начала и массового проявления вегетации, бутонизации, цветения, плодоношения, осеннего окрашивания листьев и дату начала периода зимнего покоя.

Для анализа морфометрических показателей брали по 10 растений каждого изучаемого вида. Для изучения сырьевой фитомассы ягодных растений в виде листьев для высушивания отбирали также с 10 растений каждого вида. Количество фитомассы лекарственного сырья с 1 растения находили умножением среднего количества побегов на 1 экземпляре на среднюю массу сырьевой части одного побега в воздушно-сухом состоянии. Урожайность фитомассы подсчитывали умножением количества экземпляров с 1 м<sup>2</sup> на ее количество с 1 экземпляра [37].

Виды насекомых, повреждающих органы исследуемых растений, и вид повреждения определяли, используя определитель [55].

Статистическую обработку экспериментальных данных производили по общепринятым методикам [12] с использованием программных средств Microsoft Office Excel 2019.

## Результаты и их обсуждение

Зимний период 2022–2023 гг. оказался достаточно многоснежным и вполне благоприятным для растений. Зимостойкость маточных насаждений ягодных растений была высокой и составила от 89% перезимовавших и тронувшихся в рост растений *V. vitis-idaea* и 92% растений *V. angustifolium* до 100% успешно перезимовавших растений *V. oxycoccos* и *R. arcticus*.

Результаты наблюдений за фенологическими изменениями (даты проявления фаз развития) изучаемых ягодных растений приведены в таблице 1.

Растения изучаемых ягодных растений, выращенные из саженцев *ex vitro*, на 2-м году жизни еще не вступали в плодоношение и, соответственно, не проходили фазы бутонизации, цветения и плодоношения. При этом раньше всех из изучаемых культур в стадию вегетации вступили растения *R. arcticus* (2-я декада апреля), позже всех – *V. oxycoccos* (2-я декада мая). Фазу окончания вегетации у растений *R. arcticus*, *V. angustifolium* и *V. oxycoccos* отмечали по началу изменения окраски листьев – в основном в 3-й декаде сентября. Раньше всех из изучаемых видов на зимний покой ушли растения *R. arcticus* (2-я декада октября), позже всех – *V. vitis-idaea* (1-я декада ноября) (рис. 1).

Таблица 1

**Даты наступления фенологических фаз развития ягодных растений 2-го года жизни в природно-климатических условиях Вологодской области**

Вид	Сорт	Фенологическая фаза			
		Вегетация			Зимний покой
		начало	массово	окончание	
<i>R. arcticus</i>	Astra	13.04	18.04	10.10	15.10
	Галина	15.04	22.04	08.10	13.10
<i>V. oxycoccos</i>	Дар Костромы	11.05	16.05	26.09	30.10
	Северянка	14.05	18.05	3.10	02.11
<i>V. angustifolium</i>	Northblue	17.04	23.04	18.10	30.10
	Northcountry	17.04	25.04	24.10	01.11
<i>V. vitis-idaea</i>	Костромичка	18.04	25.04	10.10	03.11
	Костромская розовая	20.04	26.04	12.10	03.11



а



б

**Рис. 1.** Осеннее окрашивание листьев ягодных растений 2-го года жизни, полученных методом *in vitro*, на опытном участке Вологодской ГМХА имени Н.В. Верещагина в 1-й декаде октября:  
а – *V. oxycoccos* ‘Северянка’; б – *V. angustifolium* ‘Northblue’

Морфометрические показатели изучаемых ягодных культур на 2-й год жизни приведены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 показал, что средние морфометрические показатели 2-летних растений *R. arcticus* изучаемых сортов имеют близкие значения. Побеги 2-летних растений имели высоту в среднем 9,3–10,2 см, в основном по 2 листа на одном побеге. Кроме того, в конце июня – начале июля, в период активной вегетации, на растениях *R. arcticus* обоих сортов была обнаружена крестоцветная блошка (*Phyllotreta* Stephens). Листовые пластины были массово повреждены взрослыми особями блошки (жуками), где также отчетливо были видны следы скелетирования (рис. 2). Вероятнее всего, на растения княженики данный вредитель перешел с сорной растительности семейства Капустные (*Brassicaceae*), которая в естественных полевых условиях произрастает массово и достаточно близко к опытному участку.

Таблица 2

**Морфометрические показатели культур ягодных растений 2-го года жизни в природно-климатических условиях Вологодской области**

Вид	Сорт	Высота растений, см	Число побегов, шт/растение	Средняя длина побега, см	Число листьев на 1 побеге, шт.
<i>R. arcticus</i>	Astra	10,2±1,03	9,0±0,82	–	2,0±0,24
	Галина	9,3±0,95	10,1±0,88	–	2,2±0,23
<i>V. oxycoccos</i>	Дар Костромы	6,4±0,60	5,4±0,56	14,0±1,18	–
	Северянка	7,2±0,65	5,1±0,52	13,2±1,14	–
<i>V. angustifolium</i>	Northblue	17,4±1,62	3,0±0,32	–	9,0±0,88
	Northcountry	18,1±1,76	2,4±0,22	–	7,5±0,72
<i>V. vitis-idaea</i>	Костромичка	7,0±0,68	2,2±0,25	–	11,3±1,12
	Костромская розовая	6,2±0,56	2,0±0,19	–	10,1±1,05



**Рис. 2.** Повреждение листьев 2-летних растений *R. arcticus* сорта 'Astra' крестоцветной блошкой (1-я декада июля)

Средняя высота растений *V. oxycoccos* составляла: у сорта ‘Дар Костромы’ – 6,4 см, у сорта ‘Северянка’ – 7,2 см; средняя длина побегов – 14,0 и 13,2 см соответственно. На одном растении у каждого сорта формировалось в среднем по 5 побегов.

Число побегов на одном растении *V. angustifolium* 2-го года жизни составило в среднем 3,0 шт. у сорта ‘Northblue’, 2,4 шт. – у сорта ‘Northcountry’ при средней высоте растений 17,4 и 18,1 см соответственно. При этом в среднем количество листьев на побеге у растений сорта ‘Northblue’ составляло 9,0 шт., у сорта ‘Northcountry’ – 7,5 шт.

Высота кустов *V. vitis-idaea* обоих изучаемых сортов была примерно одинаковой (6,2–7,0 см). Каждое растение брусники 2-го года жизни сформировало в среднем по 2 побега. Количество листьев на одном побеге в среднем составило 10–11 шт.

В целом можно отметить, что у каждого изучаемого ягодного растения 2-го года жизни морфометрические показатели по сортам были весьма близкими.

Результаты учета фитомассы лекарственного сырья показали, что масса листьев с одного растения *R. arcticus* в сыром состоянии составила 22–25 г, в воздушно-сухом состоянии – 4–5 г. После сушки в сухожаровом шкафу масса листьев составляла 18–20% от сырой массы. Урожайность воздушно-сухих листьев с растений *R. arcticus* сорта ‘Галина’ составила 151,8 г/м<sup>2</sup>, что на 38,9 г больше, чем у сорта ‘Астра’ (табл. 3).

Средняя масса листьев в сыром состоянии с одного куста *V. vitis-idaea* 2-го года выращивания у сорта ‘Костромичка’ составила в среднем 1,66 г, у сорта ‘Костромская розовая’ – 1,9 г, в воздушно-сухом состоянии – 0,35 г (21% от сырой) и 0,37 г (19% от сырой) соответственно. У исследуемых сортов *V. vitis-idaea* разница в урожайности листьев (2,1–2,2 г/м<sup>2</sup>) была незначительной.

Таблица 3

**Урожайность воздушно-сухой фитомассы листьев ягодных растений 2-го года жизни в природно-климатических условиях Вологодской области**

Сорт	Средняя масса сырьевой части одного побега, г		Количество фитомассы, г/растение	Количество экземпляров на 1 м <sup>2</sup> , шт.	Урожайность, г/м <sup>2</sup>
	сырая	воздушно-сухая			
<i>R. arcticus</i>					
Астра	22,46±2,24	4,18±0,42	37,62±3,21	3	112,9±10,22
Галина	25,17±2,45	5,06±0,48	50,6±4,78	3	151,8±14,60
<i>V. vitis-idaea</i>					
Костромичка	1,66±0,12	0,35±0,05	0,70±0,05	3	2,1±0,18
Костромская розовая	1,90±0,17	0,37±0,04	0,74±0,06	3	2,2±0,20

**Выводы**

Таким образом, исследуемые ягодные растения (брусника, голубика, клюква, княженика), полученные методом клонального микроразмножения, на 2-м году жизни имели высокую адаптационную способность в почвенно-климатических условиях Вологодского района Вологодской области. Зимостойкость маточных насаждений была достаточно высокой (89–100%). Все исследуемые растения на 2-й год жизни обеспечили наращивание фитомассы. Видовой состав вредителей зафиксирован

только на растениях княженики арктической, тогда как на других исследуемых культурах болезни и вредители отмечены не были.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективах выращивания адаптированного посадочного материала в промышленных садоводческих хозяйствах в целях обеспечения посадочным материалом российских производителей. Для комплексной оценки устойчивости культур к внешним факторам среды в условиях данного региона проводятся дальнейшие наблюдения.

### Библиографический список

1. Агроклиматические ресурсы Вологодской области: Справочник / Северное управление гидрометеорологической службы. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 185 с.

2. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Родин С.А. и др. Адаптация клюквы болотной *Oxycoccus palustris* Pers. к нестерильным условиям с добавлением экопрепаратов и гормонов // Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 1. – С. 52–60. DOI: 10.15372/SJFS20220105.

3. Макаров С.С., Самойленко З.А., Макарова Т.А. и др. Адаптация клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) к условиям *ex vitro* с применением гидропонного метода // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 11. – С. 104–112. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-104-112.

4. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Тяк Г.В. и др. Адаптация лесных ягодных растений к нестерильным условиям *in vivo* с применением современных биопрепаратов // Лесохозяйственная информация. – 2021. – № 3. – С. 84–91. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2021.3.07.

5. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Родин С.А. и др. Адаптация растений-регенерантов княженики арктической к условиям *ex vitro* с применением гидропонии // Сибирский лесной журнал. – 2023. – № 4. – С. 75–82. DOI: 10.15372/SJFS20230408.

6. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Кондратьева О.В. и др. Анализ состояния и перспективы направления развития питомниководства и садоводства: Научный аналитический обзор. – М.: Росинформагротех, 2019. – 88 с.

7. Макаров С.С., Антонов А.М., Куликова Е.И. и др. Биотехнология в садоводстве. Выращивание плодовых и редких ягодных растений в культуре *in vitro*. Лабораторный практикум: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2023. – 128 с.

8. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: Учебное пособие. – М.: ФБК-Пресс, 1999. – 160 с.

9. Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б. и др. Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 3. – С. 520–528. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-520-528.

10. Макаров С.С., Куликова Е.И., Кузнецова И.Б. и др. Влияние состава питательной среды на корнеобразование голубики топяной (*Vaccinium uliginosum* L.) севернороссийского происхождения в культуре *in vitro* // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 12. – С. 121–127. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-121-127.

11. Гегечкори Б.С., Дорошенко Т.Н., Щербаков Н.А. Инновационные технологии производства посадочного материала плодовых и ягодных культур: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2022. – 208 с.

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник. – Изд. 6-е. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.

13. Чудецкий А.И., Заушинцева А.В., Родин С.А. и др. Использование современных ростостимулирующих экопрепаратов при микроразмножении

- брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Лесохозяйственная информация. – 2022. – № 2. – С. 56–66. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.2.05.
14. *Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Богданова Э.Г. и др.* Климат России: Монография / Под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 654 с.
15. *Макаров С.С., Упадышев М.Т., Сунгурова Н.Р. и др.* Клональное микро-размножение лесных ягодных растений рода *Rubus* // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – Т. 54, № 1. – С. 60–70. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-1-2488.
16. *Тяк Г.В., Макаров С.С., Коренев И.А.* Создание новых сортов лесных ягодных растений и перспективы их интенсивного размножения (*in vitro*) // Лесохозяйственная информация. – 2019. – № 3. – С. 180–189. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15.
17. *Кузнецова И.Б., Макаров С.С.* Влияние концентрации ауксина ИУК и препарата Экогель на ризогенез клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) *in vitro* // Вестник БГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2022. – № 1 (66). – С. 99–104. DOI: 10.34655/bgsha.2022.66.1.013.
18. *Кузнецова И.Б., Чудецкий А.И., Тяк Г.В.* Влияние освещения на процессы побегообразования и ризогенеза брусники обыкновенной при клональном микро-размножении // Вестник Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2021. – № 3 (64). – С. 102–108. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.013.
19. *Кузнецова И.Б., Макаров С.С.* Влияние питательной среды и росторегулирующих веществ на корнеобразование клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) *in vitro* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 99–103. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-99-103.
20. *Кузнецова И.Б., Макаров С.С., Абдурасули Б.* Влияние росторегулирующих веществ на органогенез растений-регенерантов на этапе «собственно микро-размножение» при клонировании ягодных культур // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. XXXVII. – С. 198–202.
21. *Макаров С.С., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н.* Вегетативное размножение жимолости синей (*Lonicera ceruleae* L.) в условиях *in vivo* и *in vitro* // Известия ТСХА. – 2018. – № 1. – С. 82–91. DOI: 10.26897/0021-342X-2018-1-82-91.
22. *Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Смирнов В.С.* Влияние регуляторов роста на органогенез жимолости при клональном микро-размножении // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4. – С. 36–42. DOI: 10.31677/2072-6724-2018-49-4-36-42.
23. *Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Смирнов В.С.* Влияние регуляторов роста на органогенез растений при клональном микро-размножении княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Лесохозяйственная информация. – 2017. – № 2. – С. 103–108. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.2.10.
24. *Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Клевцов Д.Н.* Влияние росторегулирующих веществ на органогенез растений княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) при клональном микро-размножении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3 (89). – С. 88–92. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-88-92.
25. *Макаров С.С., Калашникова Е.А.* Влияние состава питательной среды на клональное микро-размножение жимолости съедобной // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. XLIX. – С. 217–222.
26. *Макаров С.С., Кузнецова И.Б.* Клональное микро-размножение голубики полувысокой на этапах «введение в культуру» и «собственно микро-размножение» // Вестник БГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2019. – № 3 (56). – С. 28–33. DOI: 10.34655/bgsha.2019.56.3.004.
27. *Макаров С.С., Тяк Г.В.* Княженика обыкновенная (*Rubus arcticus* L.): разработка методики проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность // Вестник Курской ГСХА. – 2023. – № 7. – С. 79–85.

28. Макаров С.С., Кузнецова И.Б. Корнеобразование *in vitro* и адаптация *ex vitro* княженики арктической при клональном микроразмножении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6 (74). – С. 52–55.
29. Макаров С.С., Родин С.А., Чудецкий А.И. Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала лесных ягодных культур *in vitro* и *in vivo*: Методические рекомендации. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2019. – 24 с.
30. Макаров С.С. Научно-методическое обоснование технологии размножения и плантационного выращивания лесных ягодных растений: Дис. ... д-ра с.-х. наук. – Пушкино, 2022. – 467 с.
31. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Суров В.В. Органогенез голубики полувисокой при клональном микроразмножении в зависимости от условий освещения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4 (90). – С. 76–79. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-76-79.
32. Макаров С.С., Калашникова 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.
33. Макаров С.С. Разработка технологии клонального микроразмножения лесных ягодных растений и введение их в культуру на выработанных торфяниках: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Пушкино, 2019. – 132 с.
34. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Смирнов В.С. Совершенствование технологии клонального микроразмножения княженики арктической // Лесохозяйственная информация. – 2018. – № 4. – С. 91–97.
35. Макеева Г.Ю., Тяк Г.В., Макеев В.А., Макаров С.С. Создание первых российских сортов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) // Современное садоводство. – 2023. – № 1. – С. 1–14. DOI: 10.52415/23126701\_2023\_0101. – Режим доступа: <https://journal-vniispk.ru/pdf/2023/1/1.pdf> (дата обращения: 07.02.2024).
36. Владимиров Д.Р., Гладилин А.А., Гнеденко А.Е. и др. Методика ведения фенологических наблюдений. – М.: Альпина Про, 2023. – 208 с.
37. Методика определения запасов лекарственных растений / Государственный комитет СССР по лесному хозяйству; Министерство медицинской и микробиологической промышленности. – М.: ЦБНТИлесхоза, 1986. – 52 с.
38. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Родин С.А., Куликова Е.И. Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала лесных ягодных растений в культуре *in vitro*. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2023. – 32 с.
39. Чудецкий А.И., Родин С.А., Зарубина Л.В. и др. Микроразмножение и особенности адаптации к условиям *ex vitro* лесных ягодных растений рода *Vaccinium* // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 3. – С. 570–581. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-3-2386.
40. Обзор агрометеорологических условий роста и развития сельскохозяйственных культур в Вологодской области. – Вологда: Вологодский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2021. – 15 с.
41. Чудецкий А.И., Макаров С.С., Кузнецова И.Б. и др. Органогенез гибридных форм брусники обыкновенной российской селекции *in vitro* в зависимости от состава питательной среды и росторегулирующих веществ // Вестник Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2023. – № 1 (70). – С. 141–149. DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.017.
42. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадышев М.Т. и др. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 67–76. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-1-67-76.

43. Куликова Е.И., Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Чудецкий А.И. Особенности культивирования российских и зарубежных сортов жимолости съедобной (*Lonicera edulis* Turcz.) in vitro // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 4. – С. 712–722. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-712-722.
44. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Хамитов Р.С. и др. Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений: Монография. – М.: Колос-С, 2023. – 152 с.
45. Чудецкий А.И., Бабич Н.А., Мелехов В.И. и др. Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений рода *Vaccinium* (брусника обыкновенная, красника): Монография. – М.: Колос-С, 2023. – 184 с.
46. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В. и др. Повышение эффективности многоцелевого лесопользования на выработанных торфяниках // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 91–102. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-91-102.
47. Макаров С.С., Тяк Г.В., Кузнецова И.Б. и др. Получение посадочного материала *Rubus arcticus* L. методом клонального микроразмножения // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2021. – № 6 (384). – С. 89–99. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-6-89-99.
48. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Кузнецова И.Б. и др. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 6. – С. 82–93. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-82-93.
49. Макаров С.С., Багаев Е.С., Цареградская С.Ю., Кузнецова И.Б. Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 6. – С. 118–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2019-6-118.
50. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под общ. ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 606 с.
51. Тяк Г.В., Макаров С.С., Калашишникова Е.А., Тяк А.В. Размножение и культивирование княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018. – Т. 52. – С. 95–99.
52. Тяк Г.В., Курлович Л.Е., Макаров С.С. и др. Размножение перспективных гибридных форм брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Вестник БГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2022. – № 1 (66). – С. 113–118. DOI: 10.34655/bgsha.2022.66.1.015.
53. Тяк Г.В., Курлович Л.Е., Макаров С.С. и др. Рекомендации по подбору способов получения посадочного материала лесных ягодных растений для выращивания на нелесных землях: Методические рекомендации. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2023. – 24 с.
54. Макаров С.С., Бабич Н.А., Куликова Е.И. и др. Ризогенез голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) in vitro в зависимости от концентрации ауксинов при клональном микроразмножении // Лесохозяйственная информация. – 2022. – № 1. – С. 74–84. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.05.
55. Сельскохозяйственная энтомология: Учебник / Сост. А.А. Мигулин и др.; Под ред. А.А. Мигулина, Г.Е. Осмоловского. – М.: Колос, 1976. – 447 с.
56. Макаров С.С., Виноградова В.С., Тяк Г.В., Бабич Н.А. Теория и практика размножения и плантационного выращивания лесных ягодных растений *Rubus arcticus* L., *Oxycoccus palustris* Pers. и *Vaccinium angustifolium* Ait.: Монография. – Караваево: Костромская ГСХА, 2021. – 394 с.

57. Макаров С.С., Феклистов П.А., Кузнецова И.Б. и др. Технологии размножения и возделывания видов и сортов голубики для создания биоресурсной коллекции // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 12. – С. 11–16. DOI: 10.53859/02352451\_2023\_37\_12\_11.

58. Тяк Г.В., Макаров С.С. Интродукция княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2021. – Т. 24. – С. 163–166.

59. Тяк Г.В., Курлович Л.Е., Макаров С.С. Размножение гибридных форм голубики узколистной одревесневшими черенками // Лесохозяйственная информация. – 2022. – № 3. – С. 95–104. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.08.

60. Чудецкий А.И., Макаров С.С., Родин С.А. и др. Укоренение *in vitro* и адаптация к нестерильным условиям российских сортов брусники обыкновенной // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 2. – С. 102–114. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08.

61. Чудецкий А.И., Макаров С.С., Родин С.А. Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала брусники и красники *in vitro* и *ex vitro*. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2022. – 20 с.

62. Чудецкий А.И. Разработка технологии микроклонального размножения лесных ягодных растений рода *Vaccinium* для плантационного выращивания на нелесных землях лесного фонда: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Пушкино, 2022. – 208 с.

63. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands // *Lesnoy zhurnal: Russian Forestry Journal*. – 2021. – № 2. – Pp. 21–29. DOI: 10.17238/0536-1036-2021-2-21-29.

## STUDY OF THE ADAPTABILITY OF FOREST BERRY PLANTS *EX VITRO* TO THE SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE VOLOGDA REGION

E.I. KULIKOVA<sup>1</sup>, L.V. ZARUBINA<sup>1</sup>, V.V. SUROV<sup>1</sup>,  
D.V. DONYA<sup>2</sup>, YU.V. USTINOVA<sup>2</sup>, N.S. UMNOV<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin;  
<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The article presents the results of studies on phenological and morphological characteristics of forest berry plants obtained by microclonal propagation and adapted ex vitro, after transplanting to open ground conditions in the Vologda district of the Vologda region. Nowadays, in the conditions of import substitution and demand for fruit and berry products, the industrial cultivation of berry planting material is necessary. The objects of research are lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) cultivars 'Kostromichka' and 'Kostromskaya Rozovaya', lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) cultivars 'Northblue' and 'Northcountry', European cranberry (*Vaccinium oxococcus* L.) cultivars 'Dar Kostromy' and 'Severyanka', arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) cultivars 'Astra' and 'Galina'. The winter hardiness of 2-year-old seedlings of the studied berry cultivars obtained by the *in vitro* method after overwintering was 89–100% in the first decade of May. The average height of 2-year-old *R. arcticus* plants is 9.3 to 10.2 cm, *V. angustifolium* – 17.4 to 18.1 cm, *V. oxococcus* – 6.4 to 7.2 cm, *V. vitis-idaea* – 6.2 to 7.0 cm. The yield of air-dry phytomass of leaves of 2-year-old *R. arcticus* plants averaged 112.9 to 151.8 g/m<sup>2</sup>, *V. vitis-idaea* – 2.1 to 2.2 g/m<sup>2</sup>; the air-dry mass of plant leaves was 18 to 21% of the wet mass. Leaf damage by the cruciferous flea beetle (*Phyllotreta* Stephens) was observed on 2-year-old *R. arcticus* plants. The results obtained indicate a rather high adaptability of the studied berry plants to the soil and climatic conditions of the Vologda region, Russia.*

**Keywords:** berry plants, lingonberry, blueberry, cranberry, arctic bramble, *Vaccinium*, *Rubus*, open ground, phenological characteristics, morphological characteristics, phytomass.

## References

1. *Agroclimatic resources of the Vologda region*. Leningrad, USSR: Gidrometeoizdat, 1972:185. (In Russ.)
2. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Rodin S.A. et al. Adaptation of European cranberry to non-sterile conditions with the addition of organic products and hormones. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2022;1:52–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/SJFS20220105>
3. Makarov S.S., Samoilenko Z.A., Makarova T.A. et al. Adaptation of American cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) to ex vitro conditions using the hydroponic method. *Bulletin of KSAU*. 2023;11:104–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-104-112>
4. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Tyak G.V. et al. Adaptation of forest berry plants to non-sterile conditions in vivo using modern biological products. *Forestry Information*. (In Russ.) 2021;3:84–91. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2021.3.07>
5. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Rodin S.A. et al. Adaptation of regenerated plants of *Rubus arcticus* L. to ex vitro conditions using hydroponics. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2023;4:75–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/SJFS20230408>
6. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Kondratieva O.V. et al. *Analysis of the state and prospects for the development of nursery farming and horticulture: a scientific analytical review*. Moscow, Russia: Rosinformagrotekh, 2019:88. (In Russ.)
7. Makarov S.S., Antonov A.M., Kulikova E.I. et al. *Biotechnology in horticulture. Growing fruit and rare berry plants in in vitro culture: Laboratory workshop*. St. Petersburg, Russia: Lan', 2023:128. (In Russ.)
8. Butenko R.G. *Biology of cells of higher plants in vitro and biotechnologies based on them*. Moscow, Russia: FBK-Press, 1999:160. (In Russ.)
9. Makarov S.S., Rodin S.A., Kuznetsova I.B. et al. Effect of light on rhizogenesis of forest berry plants during clonal micropropagation. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):520–528. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
10. Makarov S.S., Kulikova E.I., Kuznetsova I.B. et al. Influence of nutrition medium composition on root formation of bog blueberry (*Vaccinium uliginosum* L.) of Northern Russian origin in vitro culture. *Bulletin of KSAU*. 2023;12:121–127. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-121-127>
11. Gegechkori B.S., Doroshenko T.N., Shcherbakov N.A. *Innovative technologies for the production of planting material for fruit and berry crops: textbook*. St. Petersburg, Russia: Lan', 2022:208. (In Russ.)
12. Dospekhov B.A. *Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook*. Moscow, Russia: Al'yans. 2011:350. (In Russ.)
13. Chudetsky A.I., Zaushintsena A.V., Rodin S.A. et al. The use of modern growth-promoting eco-preparations for microclonal propagation of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Forestry Information*. 2022;2:56–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.2.05>
14. Kobysheva N.V., Akent'eva E.M., Bogdanova E.G. et al. *Climate of Russia: monograph*. St. Petersburg, Russia: Gidrometeoizdat, 2001:654. (In Russ.)
15. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Sungurov N.R. et al. Clonal micropropagation of wild berry plants of the genus *Rubus*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(1):60–70. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488>

16. Korenev I.A., Tyak G.V., Makarov S.S. Creation of new varieties of forest berry plants and prospects of their intensive reproduction (in vitro). *Forestry Information*. 2019;3:180–189. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15>
17. Kuznetsova I.B., Makarov S.S. Influence of auxin IAA concentration and the Ecogel preparation on rhizogenesis of European cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.) in vitro. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skikhkhozyasvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2022;1(66):99–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2022.66.1.013>
18. Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Tyak G.V. Influence of light on the shoot formation and rhizogenesis of cowberry in clonal micropropagation. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skikhkhozyasvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2021;3(64):102–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.64.3.013>
19. Kuznetsova I.B., Makarov S.S. Influence of nutrient medium and growth-regulating substances on root formation of European cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.) in vitro. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;6(92):99–103. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-99-103>
20. Kuznetsova I.B., Makarov S.S., Abdurasuli B. The influence of growth regulating substances on the organogenesis of regenerated plants on the stage actually micropropagation cloning crops. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2016;47:198–202 (In Russ.)
21. Makarov S.S., Kalashnikova E.A., Kirakosyan R.N. Vegetative reproduction of blue honeysuckle (*Lonicera ceruleae* L.) in vivo and in vitro. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2018;1:82–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-1-82-91>
22. Makarov S.S., Kuznetsova I.B. Influence of growth regulators on organogenesis of honeyberry when clonic micropropagation. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2018;4:36–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-36-42>
23. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Smirnov V.S. Effect of growth regulators on the organogenesis of plants when the clonal micropropagation of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). *Forestry Information*. 2017;2:103–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2017.2.10>
24. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Klevtsov D.N. Influence of growth-regulating substances on organogenesis of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) plants during clonal micropropagation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;3(89):88–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-88-92>
25. Makarov S.S., Kalashnikova E.A. Influence of nutrient medium composition on clonal micropropagation of honeysuckle edible. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2017;49:217–222. (In Russ.)
26. Makarov S.S., Kuznetsova I.B. Clonal micropropagation of a half-high blueberry at the stages of “introduction to culture” and “micropropagation proper”. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skikhkhozyasvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2019;3:28–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2019.56.3.004>
27. Makarov S.S., Tyak G.V. Arctic bramble (*Rubus arcticus* L.): development of a method for testing for distinctiveness, homogeneity and stability. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skikhkhozyasvennoy akademii*. 2023;7:79–85 (In Russ.)
28. Makarov S.S., Kuznetsova I.B. In vitro root formation and ex vitro adaptation of arctic bramble during clonal micropropagation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018; 6:52–55 (In Russ.)
29. Makarov S.S., Rodin S.A., Chudetsky A.I. *Guidelines for growing planting material of forest berry crops in vitro and in vivo*. Pushkino, Russia: All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, 2019:24. (In Russ.)

30. Makarov S.S. *Scientific and methodological substantiation of the technology of propagation and plantation cultivation of forest berry plants*. DSc (Ag) thesis. Pushkino, Russia, 2022:467. (In Russ.)
31. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Smirnov V.S. Organogenesis of half-highbush blueberry during clonal micropropagation depending on lighting conditions. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;4:76–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-76-79>
32. Makarov S.S., Kalashnikova E.A., Rumyantseva E.P. Productivity of edible honeysuckle depending on the technology of propagation. *Vesting of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2018;3:76–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2018.3.76>
33. Makarov S.S. *Development of technology for clonal micropropagation of forest berry plants and its introduction into cultivation on depleted peatlands*. CSc (Ag) thesis. Pushkino, Russia, 2019: 132. (In Russ.)
34. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Smirnov V.S. Improving technology of clonal micropropagation of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). *Forestry Information*. 2018;4:91–97 (In Russ.)
35. Makeeva G.Yu., Tyak G.V., Makeev V.A., Makarov S.S. Creation of the first Russian cultivars of blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Contemporary Horticulture*. 2023;1:1–14. (In Russ.) [https://doi.org/10.52415/23126701\\_2023\\_0101](https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0101)
36. Vladimirov D.R., Gladilin A.A., Gnedenko A.E. et al. *Methodology for conducting phenological observations*. Moscow, Russia: Alpina Pro, 2023:208. (In Russ.)
37. *Methodology for determining reserves of medicinal plants*. Moscow, USSR: CBNTI leskhoza, 1986:52. (In Russ.)
38. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Rodin S.A., Kulikova E.I. *Methodological recommendations for growing planting material of forest berry plants in in vitro culture*. Pushkino, Russia: All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, 2023:32. (In Russ.)
39. Chudetsky A.I., Rodin S.A., Zarubina L.V. et al. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to ex vitro conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(3):570–581. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2386>
40. *Review of agrometeorological conditions for the growth and development of agricultural crops in the Vologda region*. Vologda, Russia: Vologodskiy tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, 2021:15. (In Russ.)
41. Chudetsky A.I., Makarov S.S., Kuznetsova I.B. et al. Organogenesis of hybrid varieties of cowberry of the Russian selection *in vitro* depending on the composition of the nutrient medium and growth-regulating substances. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskhokhozyasvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2023;1:141–149. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2023.70.1.017>
42. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T. et al. Clonal micropropagation of cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):67–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
43. Kulikova E.I., Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I. Russian and foreign cultivars of honeysuckle (*Lonicera edulis* Turcz.) cultivation studies *in vitro*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):712–722. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-712-722>
44. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Khamitov R.S. et al. *Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of forest berry plants*. Moscow, Russia: Kolos-S, 2023:152. (In Russ.)

45. Chudetsky A.I., Babich N.A., Melekhov V.I. et al. *Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of forest berry plants of the genus Vaccinium (lingonberry, Kamchatka bilberry)*. Moscow, Russia: Kolos-S, 2023:184. (In Russ.)
46. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V. et al. Improving the efficiency of multipurpose forest management on depleted peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2022;3:91–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-91-102>
47. Makarov S.S., Tyak G.V., Kuznetsova I.B. et al. Obtaining planting material of *Rubus arcticus* L. by clonal micropropagation. *Russian Forestry Journal*. 2021;6(384):89–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-89-99>
48. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Kuznetsova I.B. et al. The use of lighting of various spectral ranges for clonal micropropagation of forest berry plants. *Russian Forestry Journal*. 2022;6(390):82–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
49. Makarov S.S., Bagaev E.S., Tsaregradskaya S.Yu., Kuznetsova I.B. Problems of use and reproduction of phytogenic food and medicinal forest resources on the forest fund lands of the Kostroma region. *Russian Forestry Journal*. 2019;6:118–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-118>
50. Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds.). *Program and methodology for studying varieties of fruit, berry and nut crops*. Orel, Russia: All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, 1999:606. (In Russ.)
51. Tyak G.V., Makarov S.S., Kalashnikova E.A., Tyak A.V. Reproduction and cultivation of the arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2018;52:95–99. (In Russ.)
52. Tyak G.V., Kurlovich L.E., Makarov S.S. et al. Reproduction of promising hybrid forms of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskhokhozyasvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2022;1(66):113–118. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2022.66.1.015>
53. Tyak G.V., L.E. Kurlovich, Makarov S.S. et al. *Recommendations for selecting methods for obtaining planting material of forest berry plants for cultivation on non-forest lands*. Pushkino, Russia: All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, 2023:24. (In Russ.)
54. Makarov S.S., Babich N.A., Kulikova E.I. et al. Rhizogenesis of narrow-leaved blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) *in vitro* depending on the concentration of auxins. *Forestry Information*. 2022;1:74–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.05>
55. Migulin A.A. et al. (comps.); Migulin A.A., Osmolovsky G.E. (eds.). *Agricultural entomology*. Moscow, USSR: Kolos, 1976:447. (In Russ.)
56. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Tyak G.V., Babich N.A. *Theory and practice of propagation and plantation cultivation of forest berry plants as a *Rubus arcticus* L., *Oxycoccus palustris* Pers. and *Vaccinium angustifolium* Ait.* Karavaevo, Russia: Kostroma State Agricultural Academy, 2021:394. (In Russ.)
57. Makarov S.S., Feklistov P.A., Kuznetsova I.B. et al. Technologies for propagation and cultivation of blueberry species and varieties to create a bioresource collection. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023;37(12):11–16. (In Russ.) [https://doi.org/10.53859/02352451\\_2023\\_37\\_12\\_11](https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11)
58. Tyak G.V., Makarov S.S. Introduction of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy*. 2021;24:163–166 (In Russ.)

59. Tyak G.V., Kurlovich L.E., Makarov S.S. Reproduction of hybrid forms of lowbush blueberry with lignified cuttings. *Forestry Information*. 2022;3:95–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.08>

60. Chudetsky A.I., Makarov S.S., Rodin S.A. et al. Rooting *in vitro* and adaptation to non-sterile conditions of Russian selection cultivars of lingonberry. *Forestry Information*. 2023;2:102114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08>

61. Chudetsky A.I., Makarov S.S., Rodin S.A. *Guidelines for growing lingonberry and Kamchatka bilberry planting material in vitro and ex vitro*. Pushkino, Russia: All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, 2022:20. (In Russ.)

62. Chudetsky A.I. *Development of technology for clonal micropropagation of forest berry plants of the genus Vaccinium for plantation cultivation on non-forest lands of the forest fund*. CSc (Ag) thesis. Pushkino, Russia, 2022:208. (In Russ.)

63. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;2:21–29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>

### Сведения об авторах

**Куликова Елена Ивановна**, канд. с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой растениеводства, земледелия и агрохимии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: [kulikova@list.ru](mailto:kulikova@list.ru); тел.: (172) 52–57–30

**Зарубина Лилия Валерьевна**, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры лесного хозяйства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: [liliya270975@yandex.ru](mailto:liliya270975@yandex.ru); тел.: (172) 52–57–30

**Суrow Владимир Викторович**, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства, земледелия и агрохимии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: [wladimirsurow@ Rambler.ru](mailto:wladimirsurow@ Rambler.ru); тел.: (172) 52–57–30

**Доня Денис Викторович**, канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: [prapar@rgau-msha.ru](mailto:prapar@rgau-msha.ru); тел.: (499) 977–92–73

**Устинова Юлия Владиславовна**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: [trpj@rgau-msha.ru](mailto:trpj@rgau-msha.ru); тел.: (499) 976–46–12

**Умнов Николай Сергеевич**, аспирант, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: [n.umnov@rgau-msha.ru](mailto:n.umnov@rgau-msha.ru); тел.: (499) 976–12–43

## Information about the authors

**Elena I. Kulikova**, CSc (Ag), Associate Professor, Head of the Department of Plant Growing, Agriculture and Agrochemistry, Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin (2 Schmidta St., Molochnoe, Vologda, Vologda region, 160555, Russian Federation; phone: (172) 52–57–30; e-mail: kulikova@list.ru)

**Lilia V. Zarubina**, DSc (Ag), Associate Professor, Professor at the Department of Forestry, Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin (2 Schmidta St., Molochnoe, Vologda, Vologda region, 160555, Russian Federation; phone: (172) 52–57–30; e-mail: liliya270975@yandex.ru)

**Vladimir V. Surov**, PhD (Ag), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Plant Growing, Agriculture and Agrochemistry, Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin (2 Schmidta St., Molochnoe, Vologda, Vologda region, 160555, Russian Federation; phone: (172) 52–57–30; e-mail: wladimirsurow@rambler.ru)

**Denis V. Donya**, CSc (Eng), Associate Professor at the Department of Processes and Equipment of Processing Industries, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–92–73; e-mail: priap@rgau-msha.ru)

**Yulia V. Ustinova**, CSc (Eng), Associate Professor at the Department of Technology of Storage and Processing of Livestock Products, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–46–12; e-mail: tppj@rgau-msha.ru)

**Nikolay S. Umnov**, postgraduate student, Assistant at the Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–12–43; e-mail: n.umnov@rgau-msha.ru)

МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ  
НАПЕРСТЯНКИ ПУРПУРНОЙ (*DIGITALIS PURPUREA* L.)  
И АДАПТАЦИЯ РЕГЕНЕРАНТОВ МЕТОДОМ ГИДРОПОНИКИ

П.Н. МАКАРОВ<sup>1</sup>, С.С. МАКАРОВ<sup>2</sup>, Т.А. МАКАРОВА<sup>1</sup>,  
З.А. САМОЙЛЕНКО<sup>1</sup>, Н.М. ГУЛАКОВА<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Сургутский государственный университет

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье представлены результаты разработки технологии микроклонального размножения наперстянки *Digitalis purpurea* L. с адаптацией растений в гидропонных установках системы периодического подтопления. Показано, что для культивирования растений *in vitro* с высокой степенью эффективности можно использовать питательные среды MS и WPM с полным и уменьшенным содержанием минеральных солей, дополненных цитокининами 6-БАП, 2-іР и ауксинами ИУК, ИМК в различных концентрациях. Интенсивная пролиферация побегов и ризогенез растений в культуре *in vitro* происходят на питательных средах MS и WPM уменьшенного вдвое содержания минеральных солей, в составе фитогормонов 6-БАП 0,5 мг/л и 2-іР 0,3 мг/л. На питательной среде MS полного состава минеральных солей с 6-БАП 0,5 мг/л наблюдается высокая частота образования каллуса. Применение гидропонных систем на этапе адаптации к условиям *ex vitro* обеспечивает высокую приживаемость растений. В ходе исследований выявлены анатомо-морфологические особенности растений-регенерантов в условиях *in vitro* и *ex vitro*.

**Ключевые слова:** наперстянка пурпурная, *Digitalis purpurea*, *in vitro*, *ex vitro*, микроклональное размножение, гидропоника, фитогормоны, анатомия растений.

### Введение

Наперстянка пурпурная, или пурпуровая, или красная (*Digitalis purpurea* L., семейство Норичниковые (*Scrophulariaceae*)), – двулетнее травянистое растение, широко используемое в современной фармакотерапии, садоводстве и флористике [11]. Как лекарственное растение, наперстянка (*Digitalis sp.*) является незаменимым источником важных специфических биологически активных веществ [7]. В листьях *D. purpurea* содержится более 60 различных гликозидов сердечной группы (пурпуреагликозиды А и В, дигитоксин, гитоксин, гиталоксин, гиторин, дигиталеин, дигиталин, дигипрозид и др.). Препараты, созданные на основе сердечных гликозидов, обладают кардиотонической, антиаритмической, антивирусной и противоопухолевой активностью [6, 10, 21, 29]. В надземной части растений обнаружены и другие биологически активные вещества: стероидные сапонины (дигитонин, гитонин, тигонин), флавоноиды (лютеолин, дигитолитеин), ряд органических кислот, холин и другие соединения, обуславливающие практическую значимость и широкое применение данного растения в медицине [7].

На сегодняшний день около 1/3 всех лекарственных субстанций имеют растительное происхождение. При этом промышленное получение ряда соединений (сердечных гликозидов, флавоноидов, кумаринов, эфирных масел) достигается только путем извлечения их из растительного сырья [21, 26]. На фоне острого дефицита природного лекарственного сырья наперстянки (*Digitalis sp.*) перспективным в качестве источника биологически активных веществ становится использование культуры клеток, тканей и органов растений. Методами клеточной биотехнологии в каллусных культурах клеток *Digitalis lanata* и *D. purpurea* обнаружены прогестерон, изофукостерин, 24-метилениклоартенол, стероидные гликозиды (производные гитогенина и тигогенина), антрахиноны и фенилэтаноиды [25, 27].

В настоящее время исследования в области культуры клеток и тканей растений направлены на изучение условий культивирования *in vitro*, установление их влияния на повышение продуктивности клеточной культуры *D. purpurea* [20] и получение каллусных и суспензионных культур клеток *D. purpurea* с высокой пролиферативной активностью, на оптимизацию условий культивирования *in vitro* данных культур для получения эффективного прироста массы и оценки способности к биосинтезу гликозидов дедифференцированных клеток эксплантатов растения [11, 31]. Проводятся разработки в области микроклонального размножения представителей рода *Digitalis* L.

Л.Г. Бердичевец с соавт. (2008) изучено влияние фитогормонов на рост и развитие растений в условиях *in vitro* [2]. Показано влияние питательной среды MS, дополненной цитокинином 6-БАП в концентрации 1–6 мг/л, на побегообразование *D. purpurea* и питательной среды В5 с ауксином  $\alpha$ -НУК в концентрации 0,1 мг/л на степень укоренения растений *in vitro*. Индийскими учеными изучено влияние абиотических компонентов и регуляторов роста растений (прогестерона, холестерина, сквалена, салициловой кислоты, KCl, сорбита и др.) на накопление важных для медицины кардиотонических гликозидов дигитоксина и дигоксина в культурах побегов *D. purpurea* – усиливается накопление в 2,2–11,9 раза [30]. В исследованиях Nartop и Altan (2021) показано увеличение биомассы и количества образовавшихся побегов *D. purpurea* в культуре *in vitro* при использовании биосинтетических наночастиц серебра разной концентрации. При этом количество побегов растений возрастает до 2,25 раза по сравнению с контролем (среда WPM). Выявлена оптимальная концентрация наночастиц серебра для роста микроклонов наперстянки, составляющая 2 мг/л, а скорость накопления биомассы увеличивается в 2,35 раза для сырой массы и в 2,4 раза – для сухой биомассы [28].

В российской и зарубежной литературе имеются сведения о состоянии растений-регенерантов, выращенных в условиях *in vitro* [10, 18, 19, 24]. Авторами отмечено, что у растений в условиях *in vitro* в отличие от интактных растений часто наблюдается ряд анатомо-морфологических изменений, снижающих свойства регенерантов. Наблюдается уменьшение слоев клеток в паренхиме листа, в порах которой скапливается большое количество воздуха [18]. Высокая влажность воздуха в сосуде, а также отсутствие воздействия ультрафиолетовой радиации *in vitro* приводят к уменьшению образования кутикулярного воска на листьях. У растений *in vitro* развиваются нефункциональные устьица, которые не закрываются под воздействием целого ряда специфических факторов [24]. Корни, сформировавшиеся в условиях *in vitro*, не имеют корневых волосков, проводящая система слабо развита, клетки сильно увеличены [19]. Многочисленные сведения о состоянии растений-регенерантов, выращенных в условиях *in vitro* [10, 18, 19, 24], носят обобщенный характер и не представлены для культуры *Digitalis sp.*

В источниках научной литературы содержится обсуждение проблемы адаптации растений к нестерильным условиям. Очевидно, что растения *ex vitro* максимально уязвимы по отношению к факторам внешней среды, особенно к изменениям температуры, влажности, интенсивности света, а также к наличию патогенных микроорганизмов [5]. По мнению Н.А. Вечерниной и др. (2009), в состоянии стресса останавливается рост растений, резко уменьшается активность корневой системы, снижается интенсивность фотосинтеза. Для успешной приживаемости растений необходимо создавать оптимальные сочетания факторов для роста и развития не только надземной части регенеранта, но и его корневой системы. В момент пересадки растения подвергаются прежде всего водному стрессу, что приводит к обезвоживанию тканей и разрушению мембран. Особую чувствительность растения-регенеранты проявляют к низкой влажности воздуха сразу после их удаления из сосудов для культивирования, что связано с недостатком воскового налета на листьях и стебле, нефункционирующими устьицами, сокращением поглощения воды корневой системой и сильной транспирацией [5, 23].

Несмотря на то, что в литературе имеются сведения о микроклональном размножении наперстянки (*Digitalis sp.*) [2, 30], основаны они на использовании классических способов адаптации растений к нестерильным условиям, которым присущи вышеперечисленные стрессовые факторы, поэтому данные технологии нуждаются в совершенствовании.

В настоящее время для адаптации растений-регенерантов княженики арктической, клюквы крупноплодной, эстрагона, курительского чая апробирован гидропонный метод выращивания и получены положительные результаты по приживаемости и продуктивности растений [14–17]. В литературе подобная технология для культуры наперстянки пурпурной не встречается.

**Цель исследований:** разработка технологии микроклонального размножения растений наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea*) с элементами гидропоники на этапе адаптации растений к нестерильным условиям и оценка влияния условий культивирования растений на их анатомо-морфологические признаки в культуре *in vitro* и *ex vitro*.

## Материал и методы исследований

Объектом исследований являлась наперстянка пурпурная *Digitalis purpurea* L., сорт 'Карлик красный', – травянистое прямостоячее растение высотой 35 см. В первый год жизни оно образует розетку листьев, на второй год вступает в фазу цветения и плодоношения; в условиях г. Сургута цветет с июля по август. Цветки – крупные колокольчатые, собранные в густую многоцветковую кисть. Растение светолюбивое, морозо- и засухоустойчивое.

Для введения в культуру *in vitro* материнские растения *Digitalis purpurea* выращивали из семян методом гидропоники [13]. Микроклональное размножение растений осуществляли по методике Р.Г. Бутенко, Ф.Л. Калинина и др. [4, 9]. При введении в культуру *in vitro* наперстянки пурпурной в качестве инициальных эксплантов использовали удлиненную часть главного побега длиной 1,5 см с пазушными почками. Для поверхностной стерилизации эксплантов применяли 0,1%-ный раствор сулемы ( $HgCl_2$ ) в экспозиции 5 мин с последующим 5-кратным промыванием в стерильной дистиллированной воде. Экспланты культивировали на агаризованной модифицированной питательной среде Мурасиге и Скуга (MS) с полным и половинным набором минеральных солей, дополненной 6-бензиламинопурином (6-БАП) (Acros Organics, Россия) в концентрации 0,5 мг/л, и модифицированной питательной среде

Woody plant medium (WPM) с полным и половинным набором минеральных солей, дополненной цитокинином 2-изопентиладенин (2-*iP*) (Китай) в концентрации 0,3 мг/л, на этапе укоренения – ауксинами индолилуксусной кислотой (ИУК) (Биолот, Россия) и индолил-3-масляной кислотой (ИМК) (Hebei Hontai Biotech Co., Китай) по 0,1 мг/л.

На всех этапах культивирования *in vitro* экспланты выращивали в условиях световой комнаты, где поддерживали температуру +24°C, 16-часовой фотопериод и освещение лампами с белыми и красными светодиодами, цветовая температура – 4000 К, интенсивность освещения PPFD75 мкмоль/с/м<sup>2</sup>. Состояние растений-регенерантов оценивали через 40 дней после черенкования по следующим признакам: высота растения, см; ширина и длина листьев, см; качество корней. Качество корней оценивали по 3-балльной шкале: 1 балл – слаборазвитая корневая система, имеющая один основной корень не более 20 мм или 2–3 более коротких, боковых корней нет; 2 балла – среднеразвитая корневая система, основных корней 3–4, длиной 20–50 мм, или один, но с хорошо развитыми боковыми и всасывающими корнями; 3 балла – хорошо развитая корневая система, основных корней 5 и более, длиной 20–50 мм, часто с хорошо развитыми боковыми и всасывающими корнями [12].

Частоту каллусообразования определяли по количеству эксплантов, давших каллус, от общего числа эксплантированных; интенсивность роста каллуса оценивали по шкале: «+» – низкая интенсивность роста; «++» – средняя интенсивность роста; «+++» – высокая интенсивность роста [3]. Для решения проблемы адаптации и повышения процента приживаемости растений-регенерантов в нестерильных условиях были использованы приемы беспочвенного выращивания растений [14–17]. Анатомо-морфологические признаки растений изучали микроскопическим методом [1] при помощи биологического стереоскопического микроскопа МБС-10, стереомикроскопа ZEISS Stermi 305 и микроскопа Zeiss Primo. Определение общей и рабочей адсорбирующей поверхности корней рассчитывали методом Д.А. Сабинина и И.И. Колосова [22].

Материнские растения наперстянки *D. purpurea* выращивали в гидропонных установках до 45-дневного возраста (рис. 1). Для этого в горшочки с минераловатным субстратом размером 60×60 мм осуществляли посев в количестве 10 шт/горшочек на глубину 0,1–0,3 см. Семена проращивали в темноте при температуре воздуха +23...+24°C, относительной влажности воздуха 90% в течение 9–11 дней. Затем растения выращивали в культивационном помещении, размещая на поддоны многоярусной гидропонной установки системы периодического подтопления. Для питания растений использовали полностью растворимое комплексное удобрение с микроэлементами Yara Fericare Hydro (NPK 6:14:30) (Yara International, Норвегия) и кальциевую селитру (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) (Yara International, Норвегия). Электропроводность питательного раствора варьировала в пределах 0,8–1,8 мСм/см.

Первые 10 дней культивации растений в гидропонной установке электропроводность питательного раствора составляла 0,8 мСм/см, далее, в течение следующих 10 дней, концентрацию солей увеличивали до 1,3 мСм/см, а после 20 сут. культивации – до 1,8 мСм/см. Уровень кислотности (рН) готового питательного раствора поддерживали в пределах 5,5–6,2. На протяжении всего периода выращивания растений в гидропонной установке поддерживали температуру воздуха +22...+25°C, температуру раствора – +20°C, влажность воздуха – 55–65%. Освещение производилось белыми светодиодными лампами с параметрами: световой поток – 8000 лм; цветовая температура – 4000 К; PPFD – 165 мкмоль/с/м<sup>2</sup>; 16-часовой световой режим.

Статистическую обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel 2016.



**Рис. 1.** Выращивание материнских растений *D. purpurea*:

*а* – семена в семенном отделении; *б* – растения в основном культивационном помещении

### Результаты и их обсуждение

На этапе введения в культуру *in vitro* приживаемость эксплантов *D. purpurea* составила 92%. Рост и развитие микропобегов на этапе «собственно микроразмножение» зависели от содержания минеральных солей, гормонального состава питательной среды и объема культурального сосуда.

Экспланты наперстки выращивали на модифицированных питательных средах MS и WPM в культуральных сосудах: пробирках диаметром 20 мм и колбах объемом 250 мл (рис. 2). В отличие от колб рост растений *D. purpurea* в пробирках при выращивании на средах одинакового состава сопровождался образованием каллуса, максимальной высотой растений и снижением количества побегов.

Через 6 недель культивирования на питательной среде MS полного состава минеральных солей, дополненной 6-БАП (0,5 мг/л), в колбах растения *D. purpurea* активно развивались, в 100% случаев наблюдался ризогенез. При этом качество корней оценивалось в 3 балла, тогда как в пробирках на среде того же состава корнеобразование не наблюдалось, рост растений сопровождался высокой частотой и интенсивностью роста каллуса (табл. 1).

В зависимости от объема сосуда менялись биометрические показатели растений. Максимальная высота растений-регенерантов, выращенных в пробирках, была в 4 раза выше, чем в колбах (17,3 и 4,4 см соответственно), при снижении числа побегов в 2 раза в пробирках (рис. 3). Существенных различий размерах листьев не наблюдалось.

По сравнению с полным набором минеральных солей среда  $\frac{1}{2}$  MS с 6-БАП в концентрации 0,5 мг/л способствовала увеличению количества побегов с 3 до 5 шт. и развитию корневой системы (3 балла), но в 1,5 раза снижалась высота побегов (рис. 4а). При высокой частоте каллусообразования интенсивность развития каллуса была низкой (табл. 1).

Среда WPM полного и уменьшенного в 2 раза содержания минеральных солей по морфометрическим показателям роста и развития регенерантов незначительно уступала среде MS, однако способствовала снижению образования каллуса, что важно в процессе микрклонального размножения. В колбах высота побегов растений-регенерантов на среде WPM с 2-іР 0,3 мг/л составила  $4,87 \pm 0,23$  см, в пробирках –  $6,6 \pm 0,13$  см; количество побегов –  $10,44 \pm 0,41$  и  $2 \pm 0,15$  шт/растение соответственно; качество корней – 3 и 2 балла соответственно. На среде  $\frac{1}{2}$  WPM с 2-іР 0,3 мг/л количество побегов достигало  $11,56 \pm 0,52$  шт/растение, изменений остальных показателей в процессе роста растений не выявлено.

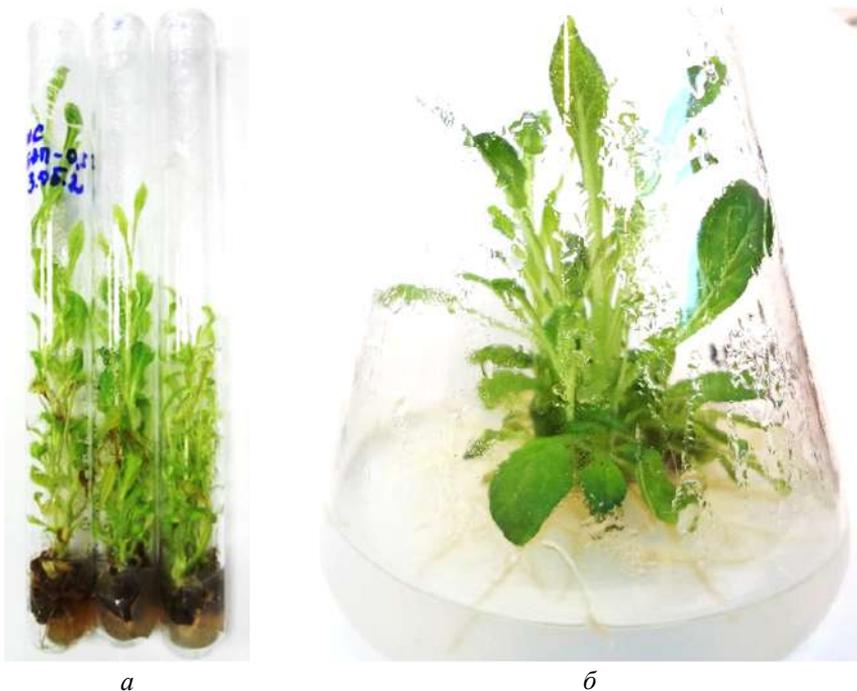


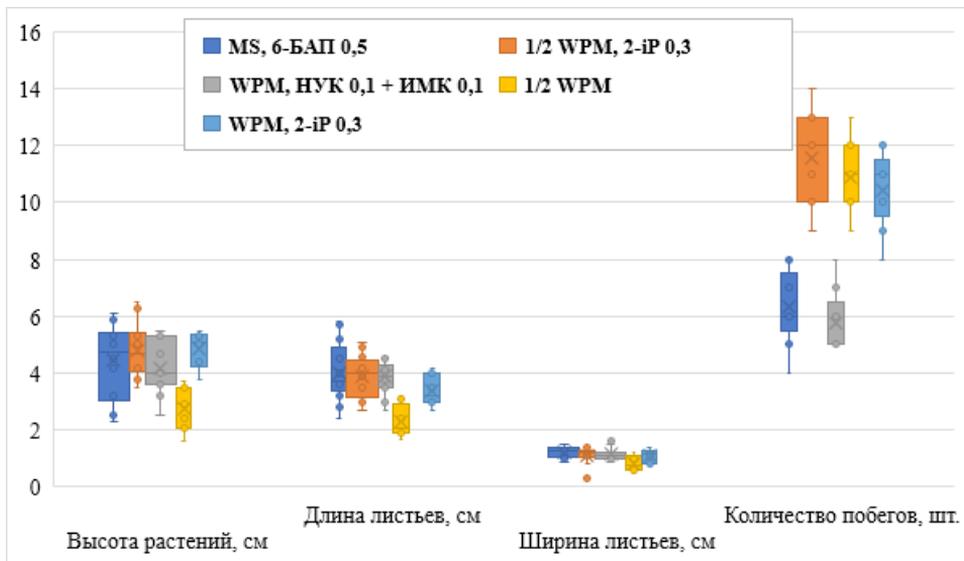
Рис. 2. Растения-регенеранты *D. purpurea* на среде MS с 6-БАП 0,5 мг/л:  
а – в пробирке; б – в колбе

Таблица 1

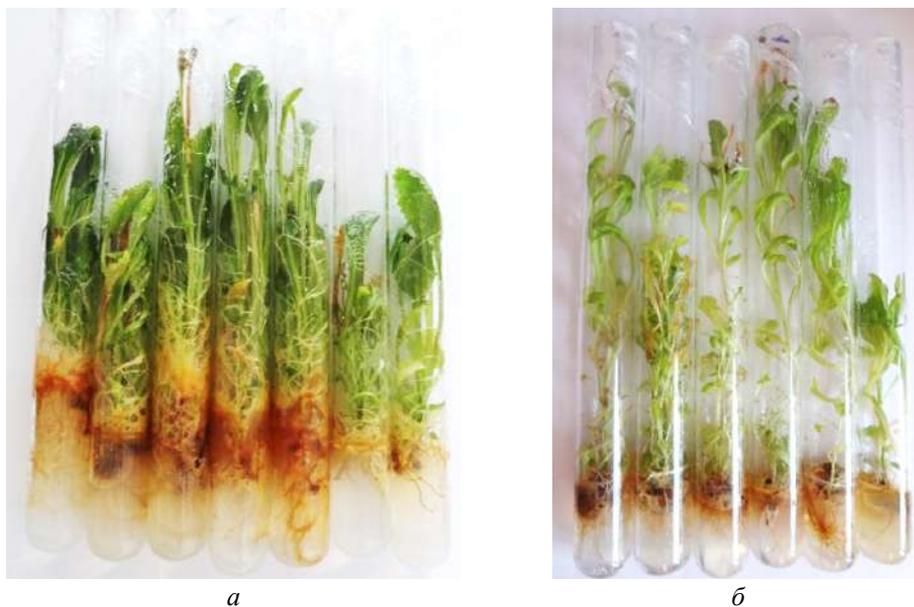
**Развитие *D. purpurea in vitro* в зависимости от состава питательной среды  
(в пробирках)**

Питательная среда и концентрация фитогормонов, мг/л	Кол-во побегов, шт.	Высота побегов, см	Ширина листа, см	Длина листа, см	Частота каллусообразования, %	Интенсивность роста каллуса
MS + 6-БАП (0,5)	3±0,11	17,3±0,14	1,0±0,01	4,5±0,12	100	+++
½ MS + 6-БАП (0,5)	5±0,21	9,0±0,12	0,9±0,02	3,8±0,16	100	+
WPM + 2-иР (0,3)	2±0,15	6,6±0,13	0,4±0,02	2,0±0,11	–	–
½ WPM + 2-иР (0,3)	5±0,13	7,0±0,20	0,4±0,01	1,8±0,14	50	++
WPM + ИУК (0,1), ИМК (0,1)	2,4±0,10	12,1±0,21	0,8±0,05	1,3±0,09	40	+

Присутствие в питательной среде WPM ауксинов ИУК и ИМК по 0,1 мг/л привело к снижению числа побегов растений-регенерантов в пробирках (до 2,4±0,10 шт.), уменьшению ширины и длины листьев (0,8±0,05 и 1,3±0,09 см) и удлинению междоузлий растений. Корни (в среднем 10 шт./растение длиной 4,5 см) в отличие от сред без ауксинов формировались преимущественно в базальной части микропобегов (рис. 4б). В колбах на среде ½ WPM с ИУК и ИМК по сравнению с полным составом минеральных солей количество побегов увеличивалось в 2 раза, размер листьев – в 1,5–2 раза (рис. 3).



**Рис. 3.** Влияние состава питательной среды на биометрические показатели растений-регенерантов *D. purpurea* (в колбах)



**Рис. 4.** Рост растений *D. purpurea* на разных питательных средах: а –  $\frac{1}{2}$  MS + 6-БАП (0,5 мг/л); б – WPM + ИУК (0,1 мг/л), ИМК (0,1 мг/л)

Установлено, что при выращивании растений качество и поглотительная деятельность корневой системы зависят от комплекса взаимодействующих факторов (температурного и водного режима, аэрации, концентрации и pH питательного раствора) [8]. В условиях *in vitro* активный рост корней у растений-регенерантов наблюдался на питательных средах MS и  $\frac{1}{2}$  MS, где в базальной части побега развивались 5–12 корней длиной 25–50 мм. Условия культивирования растений также способствовали формированию и появлению придаточных корней в узлах и междоузлиях побегов. Значительная часть всей поверхности корней растений-регенерантов

на питательных средах MS и  $\frac{1}{2}$  MS приходится на рабочую поглощающую поверхность и составляет 57,3 и 62,1% соответственно от общей адсорбирующей поверхности.

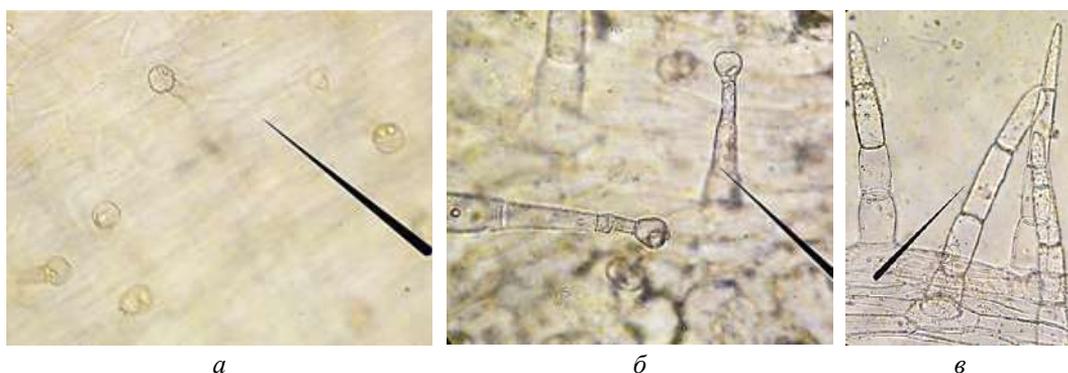
Для изучения анатомо-морфологических признаков наперстянки пурпурной использовали регенеранты, выращенные на среде MS с 6-БАП 0,5 мг/л. Отмечено, что как и у интактных растений, листья регенерантов имеют продолговато-яйцевидную-ланцетную форму с неравномерно-городчатым краем, длинными черешками (рис. 5а), сильно развитой срединной жилкой и сетчатым жилкованием (рис. 5б). С нижней стороны листа сильноопушенные (рис. 5в).

Волоски простые и головчатые: простые волоски 4-клеточные со слабобороздчатой кутикулой и тонкими стенками, головчатые волоски – с одноклеточной шаровидной головкой на длинной многоклеточной ножке (рис. 6).

На поверхности листьев растений-регенерантов видны клетки эпидермы с извилистыми стенками и многочисленными устьицами аномоцитного типа (рис. 7). Большое количество устьиц на поверхности листа свидетельствует о высокой интенсивности устьичной транспирации. В условиях *in vitro* устьица находятся в открытом положении (рис. 7а), при адаптации растений в условиях гидропоники функционирование устьиц восстанавливается (рис. 7б).



**Рис. 5.** Листья растений-регенерантов *D. purpurea*:  
 а – форма листовой пластинки; б – тип жилкования (увеличение  $\times 8$ );  
 в – опушение на нижней стороне листа (увеличение  $\times 16$ )

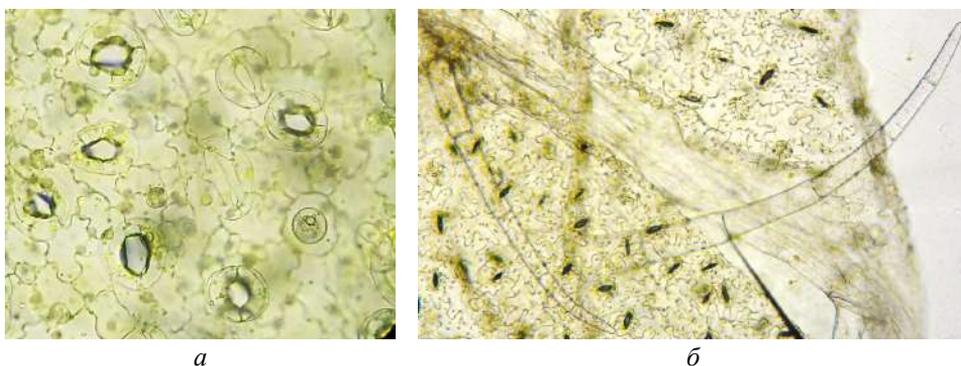


**Рис. 6.** Придатки эпидермы листа растений-регенерантов *D. purpurea*:  
 а – расположение головчатых волосков на поверхности эпидермы;  
 б – структура головчатого волоска; в – структура простого волоска  
 (увеличение  $40\times 10$ )

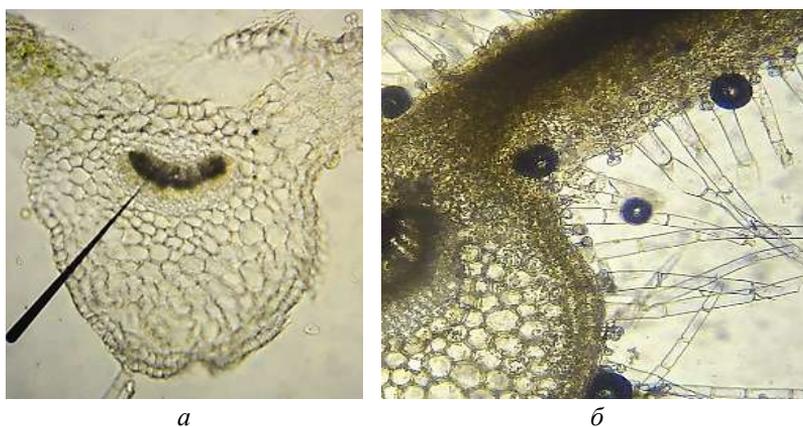
Поверхность листьев растений в условиях *in vitro* состоит из одного слоя эпидермальных клеток, кутикула и восковой налет отсутствуют (рис. 8а). Утолщение покровной ткани листа происходит в период адаптации растений (рис. 8б). Мезофилл листа независимо от условий выращивания растений (*in vitro*, *ex vitro*) – слабодифференцированный. В листьях формируется закрытый проводящий пучок коллатерального типа, при этом активное развитие флоэмы и ксилемы наблюдается в период адаптации растений. Поверхность листа покрыта волосками различного типа. В условиях гидропоники листья сильноопушенные (рис. 8б).

В стебле хорошо развита основная паренхима, выполняющая запасную и ассимиляционную функции (рис. 9). Анатомическая структура стебля меняется с возрастом растений: на ранних сроках развития большую часть вегетативного органа занимают паренхимные клетки основной ткани, слабо развиты ксилема и флоэма (рис. 9а); на поздних сроках в равной степени хорошо развиты основные и проводящие ткани (рис. 9б). На поверхности стебля образуется большое количество простых и железистых волосков.

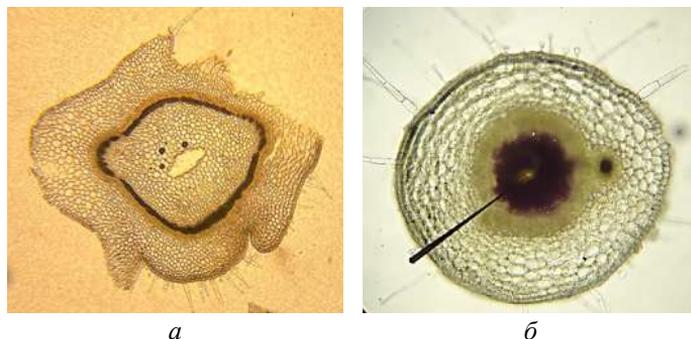
Корни растений-регенерантов тонкие, слабоветвящиеся (рис. 10а). Точка роста корня покрыта корневым чехликом. Эпиблема корня – с корневыми волосками. Формирование корневых волосков более интенсивно происходит на поверхности придаточных корней, возникающих на стебле растения, чем на корнях, отходящих от базальной части стебля (рис. 10б, 10в).



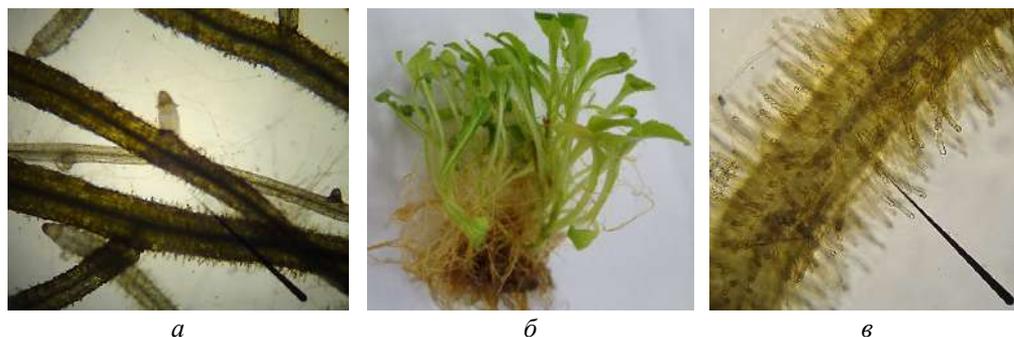
**Рис. 7.** Клетки эпидермы и структура устьиц растений-регенерантов *D. purpurea*: а – в условиях *in vitro*; б – в период адаптации (*ex vitro*) (увеличение 40×10)



**Рис. 8.** Структура листа растений-регенерантов *D. purpurea*: а – в условиях *in vitro*; б – на этапе адаптации (*ex vitro*) (увеличение 40×10)



**Рис. 9.** Структура стебля растений-регенерантов *D. purpurea* на разных сроках развития растений в условиях *in vitro*:  
*a* – через 5 недель; *б* – через 16 недель (увеличение 40×10)



**Рис. 10.** Корни растений-регенерантов *D. purpurea*:  
*a* – корневой чехлик в зоне деления (увеличение 10×10);  
*б* – придаточные корни на стебле растений; *в* – корневые волоски (увеличение 40×10)

Изменения, происходящие в структуре вегетативных органов (лист, стебель, корень) растений-регенерантов при выращивании в условиях *in vitro*, оказывают существенное влияние на состояние, рост и развитие растений в период адаптации их к условиям *ex vitro*.

Адаптацию растений-регенерантов проводили через 45–50 дней выращивания в условиях *in vitro*. Укоренившиеся растения вынимали из культуральных сосудов. Корни отмывали в дистиллированной воде от агара, стерилизовали в слабом растворе  $\text{KMnO}_4$ , затем обрабатывали препаратом «Корневин». Растения помещали в горшочки со стерильным керамзитом и ставили в емкость для рассады. В период адаптации растений-регенерантов поддерживали высокую влажность воздуха (80–90%), осуществляли регулярный полив раствором минеральных солей по  $\frac{1}{2}$  MS. Через 14 суток культивирования в рассадном помещении незараженные жизнеспособные растения переносили на поддон гидропонной установки основного отделения. В культивационном помещении растения находились в условиях, аналогичных условиям по выращиванию материнских растений.

На протяжении роста растений в контролируемых условиях гидропоники учитывали морфометрические показатели растений (рис. 11).

На 13-е сутки выращивания растений-регенерантов в гидропонике среднее количество листьев на 1 растение составило 13,2 шт., на 42-е сутки – 17,1 шт., на 64-е сутки – 19 шт. Средняя высота растений в учетные даты достигала 8,5; 14 и 21 см соответственно. На 64-е сутки культивирования растений длина и ширина листа в среднем составили 15 и 6 см соответственно. Приживаемость растений составила 95–100%.

Адаптированные к условиям *ex vitro* оздоровленные растения с хорошо развитой надземной частью и активно функционирующей корневой системой являются ценным посадочным материалом для высадки в открытый грунт. Они были высажены на территории Ботанического сада Сургутского государственного университета. В Ханты-Мансийском АО – Югре растения *D. purpurea* успешно зимуют и цветут на второй год жизни в соответствии с естественным циклом развития (рис. 12).

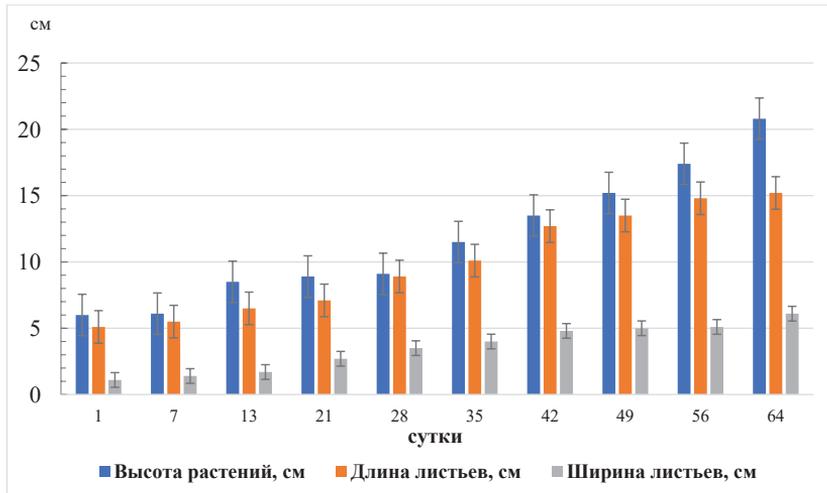


Рис. 11. Динамика роста адаптированных растений *D. Purpurea* в условиях *ex vitro*



Рис. 12. Развитие *D. purpurea* в открытом грунте:  
 а – вегетирующие растения в 1-й год жизни; б – цветение растений на 2-й год жизни

### Выводы

Для интенсивной пролиферации побегов и ризогенеза наперстянки в культуре *in vitro* необходимо использовать питательные среды MS и WPM с уменьшенным в 2 раза содержанием минеральных солей, дополненных фитогормонами 6-БАП 0,5 мг/л и 2-iP 0,3 мг/л соответственно.

На этапе мультипликации микропобегов целесообразно использовать широкие культуральные сосуды, в которых создаются оптимальные условия, стимулирующие побего- и корнеобразование.

Культивирование эксплантов наперстянки на питательной среде MS с 6-БАП 0,5 мг/л полного состава минеральных солей сопровождается высокой частотой и интенсивностью каллусообразования.

Условия *in vitro* приводят к ослаблению защитных механизмов растений, снижению качества и поглощающей способности корневой системы, о чем свидетельствует анатомо-морфологическое строение растений-регенерантов (отсутствие кутина, воска, механических тканей, ветвления корней, слабое развитие элементов ксилемы и флоэмы).

Восстановление функциональной деятельности вегетативных органов и повышение устойчивости растений к условиям *ex vitro* становится возможным благодаря агробιοтехнологиям. Высокий уровень приживаемости растений-регенерантов (95–100%) на этапе адаптации к нестерильным условиям обеспечивает метод беспочвенного выращивания растений в малообъемных гидропонных установках.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Ханты-Мансийского АО – Югры: проект 2023–227–28 «Функциональные пищевые продукты и микроинкапсулированные ингредиенты на основе комплекса биологически активных соединений, выделенных из северных растений, выращенных в гидропонике с применением технологии микрочлонального размножения (Юграбиофарм)» и программы Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня: проект «Технология выращивания и извлечения биологически активных соединений северных ягодных культур и лекарственных трав (ЮграБиоФарм)», соглашение от 8 ноября 2023 г. № 4-ЦС.*

### Библиографический список

1. Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 312 с.
2. Бердичевец Л.Г., Бердичевец И.Н., Малюш М.К., Фоменко Т.И. Морфогенез и микрочлональное размножение в культуре *in vitro* представителей рода *Digitalis* L. // Биология клеток растений *in vitro* и биотехнология. – М.: ИД ФБК-ПРЕСС, 2008. – С. 44–45.
3. Бугара И.А., Мальцева О.А. Получение каллусных культур *Mentha piperita* L. и их цитологическая характеристика при выращивании на питательных средах с различной концентрацией селена // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 17–23.
4. Бутенко Р.Г. Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений. – М.: Наука, 1964. – 272 с.
5. Вечернина Н.А. Биотехнология растений: учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во Алтайского университета, 2009. – 224 с.
6. Гаммерман А.Ф., Кадаев Г.Н., Яценко-Хмелевский А.А. Лекарственные растения: справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1983. – 400 с.
7. Георгиевский В.П., Комиссаренко Н.Ф., Дмитрук С.Е. Биологически активные вещества лекарственных растений. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1990. – 333 с.
8. Ильина Н.А., Сергеева И.В., Перетятко А.И. Физиология и биохимия растений: учеб. пособие. – Саратов, 2013. – 335 с.
9. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений: монография. – Киев: Наукова думка, 1980. – 320 с.
10. Коваленко В.Н. О биологической активности некоторых видов наперстянки // Фармакология и токсикология. – 1954. – № 3. – С. 18–22.
11. Лешина Л.Г., Булко О.В. Культивирование *in vitro*, ростовые параметры и оценка способности к биосинтезу гликозидов культуры клеток *Digitalis purpurea* L. // Физиология и биохимия культурных растений. – 2011. – Т. 43, № 2. – С. 164–170.

12. Маркова М.Г., Сомова Е.Н., Потапова С.А. Влияние регуляторов роста на размножение перспективных сортов малины в культуре *in vitro* // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2–1 (16). – С. 104–111.
13. Макаров П.Н., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Гулакова Н.М., Кравченко И.В. Оценка продуктивности и качества эстрагона и тимьяна обыкновенного при выращивании в светокультуре // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4 (64). – С. 24–29. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-24-29.
14. Макаров С.С., Казиева А.Ю., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Макаров П.Н., Гулакова Н.М. Микрклональное размножение курильского чая кустарникового (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) с элементами гидропоники // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (100). – С. 64–71. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-100-2-64-71.
15. Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Макаров П.Н., Гулакова Н.М., Кузнецова И.Б. Особенности размножения эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.) в культуре *in vitro* и *ex vitro* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (101). – С. 77–83. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83.
16. Макаров С.С., Самойленко З.А., Макарова Т.А., Кузнецова И.Б., Чудецкий А.И., Кульчицкий А.Н. Адаптация клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) к условиям *ex vitro* с применением гидропонного метода // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 11 (101). – С. 104–112. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-104-112.
17. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Родин С.А., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Кузнецова И.Б. Адаптация растений-регенерантов княженики арктической к условиям *ex vitro* с применением гидропоники // Сибирский лесной журнал. – 2023. – № 4. – С. 75–82. DOI: 10.15372/SJFS20230408.
18. Никонович Т.В., Левый А.В., Французенок В.В. Влияние спектрального состава света на рост и развитие растений-регенерантов винограда в период адаптации к условиям *in vitro* // Вестник БГСХА. – 2012. – № 2. – С. 70–75.
19. Поляков С.А., Расторгуев С.П., Верзилин А.В. Адаптация растений регенерантов земляники к неблагоприятным условиям // Повышение эффективности садоводства в современных условиях. – Мичуринск-Наукоград РФ, 2003. – Т. 2 – С. 335–339.
20. Смольникова Я.В. Культивирование *Digitalis purpurea* L. в условиях *in vitro* и получение сердечных гликозидов на ее основе: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2012. – 21 с.
21. Томилова С.В., Китаилов А.В., Носов А.М. Сердечные гликозиды: распространение, свойства и специфика образования в культурах клеток и органов растений *in vitro* // Физиология растений. – 2022. – Т. 69, № 3. – С. 227–245.
22. Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. Практикум по физиологии растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
23. Шакина Т.Н. Опыт адаптации растений-регенерантов к условиям *ex vitro* некоторых декоративных и плодово-ягодных культур в Учебно-научном центре «Ботанический сад» Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 315–320. DOI: 10.14258/pbssm.2020063.
24. Drainer E. Acclimatization of Aseptically cultured Apple Plants to Low Relative Humidity // J. Am. Soc. Hort. Sci. – 1981. – Vol. 106, № 4. – Pp. 515–518.
25. Furuya T., Kojima H., Katsuta T. 3-methylpurpurin and other anthraquinones from callus tissue of *Digitalis lanata* // Phytochem. – 1972. – Vol. 11. – P. 1073. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)88455-1
26. Lobach E.Y., Tokhiriyon B., Poznyakovskiy V.M., Makarov S.S., Khanbabayeva O.E., Takaeva M.A. New Phytocomplex for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Development

and Clinical Evidence of Anti-inflammatory Effect // Journal of Advanced Pharmacy Education & Research. – 2023. – Vol. 13, Iss. 3. – Pp. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.51847/T15LnYDudZ>

27. Matsumoto M., Koga S., Shoyama Y., Nishioka I. Phenolic glycoside composition of leaves and callus cultures of *Digitalis purpurea* // Phytochem. – 1987. – Vol. 26. – P. 3225. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)82474-7.

28. Nartop P., Altan A.D., Titrek A. Modeling of *In Vitro* biomass production of *Digitalis purpurea* under the effects of biosynthetic silver nanoparticles // Iran J. Sci. Technol. Trans. Sci. – 2021. – Vol. 45. – Pp. 775–783. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40995-021-01105-4>

29. Pastor N., Azrak S.S. et al. Digitoxin inhibits the growth of cancer cell lines at concentrations commonly found in cardiac patients // J. Nat. Prod. – 2005. – Vol. 68, № 11. – Pp. 1642–1645.

30. Patil G., Mahendra A., Kirti N., Sayantan P., Vijay B., Polavarapu K., Nikam Td. *In vitro* propagation and production of cardiogenic glycosides in shoot cultures of *Digitalis purpurea* L. by elicitation and precursor feeding // Applied microbiology and biotechnology. – 2012. – Vol. 97. DOI: 10.1007/s00253-012-4489-y.

31. Pérez-Alonso N., Wilken D., Gerth A. et al. Cardiogenic glycosides from biomass of *Digitalis purpurea* L. cultured in temporary immersion systems // Plant Cell Tiss. Organ. Cult. – 2009. – Vol. 99. – Pp. 151–156. <https://doi.org/10.1007/s11240-009-9587-x>

## MICROCLONAL REPRODUCTION OF *DIGITALIS PURPUREA* L. AND ADAPTATION OF REGENERANTS IN HYDROPONICS

P.N. MAKAROV<sup>1</sup>, S.S. MAKAROV<sup>2</sup>, T.A. MAKAROVA<sup>1</sup>,  
Z.A. SAMOYLENKO<sup>1</sup>, N.M. GULAKOVA<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Surgut State University;

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The paper presents the results of the development of the microclonal propagation technology of *Digitalis purpurea* L. with plant adaptation in hydroponic Ebb and Flow Systems. It has been found that MS and WPM growth media with a full and reduced content of mineral salts supplemented with 6-BAP cytokinines, 2-iP and auxins of indoleacetic acid, isobutyric acid in various concentrations can be highly efficient for in vitro cultivation of the plants. Intensive shoot proliferation and rhizogenesis of plants in vitro culture is observed on MS and WPM growth media with a two-fold reduced content of mineral salts, with 6-BAP phytohormones 0.5 mg/L and 2-iP 0.3 mg/L. A high frequency of callus formation was observed on MS growth medium with full mineral salt composition containing 6-BAP 0.5 mg/L. The use of hydroponic systems at the stage of adaptation to ex vitro conditions ensures high survival of plants. During the work, anatomical and morphological features of regenerating plants under in vitro and ex vitro conditions were studied.*

**Keywords:** *Digitalis purpurea*, in vitro, ex vitro, microclonal propagation, hydroponics, phytohormones, plant anatomy.

### References

1. Barykina R.P. *Handbook of botanical microtechnics. Fundamentals and methods.* Moscow, Russia: Lomonosov Moscow State University – Publishing House, 2004:312. (In Russ.)

1. Berdichevets L.G., Berdichevets I.N., Malyush M.K., Fomenko T.I. Morphogenesis and microclonal reproduction in in vitro culture of representatives of the genus *Digitalis* L.

In: *Biology of plant cells in vitro and biotechnology*. Moscow, Russia: FBK-PRESS, 2008:44–45. (In Russ.)

2. Bugara I.A., Maltseva O.A. Obtaining of *Mentha piperita* L. callus cultures and their cytological characteristics when grown on nutrient media with different concentrations of selenium. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya "Biologiya, khimiya"*. 2011;24(63)(4):17–23. (In Russ.)

3. Butenko R.G. *Culture of isolated tissues and physiology of plant morphogenesis*. Moscow, USSR: Nauka, 1964:272. (In Russ.)

4. Vechernina N.A. *Plant biotechnology*. Barnaul, Russia: Altay State University, 2009:224. (In Russ.)

5. Hammerman A.F., Kadaev G.N., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Medicinal plants*. Moscow, USSR: Vysshaya shkola, 1983:400. (In Russ.)

6. Georgievskiy V.P., Komissarenko N.F., Dmitruk S.E. *Biologically active substances of medicinal plants*. Novosibirsk, USSR: Nauka, Sibirskoe otделение, 1990:333. (In Russ.)

7. Il'ina N.A., Sergeeva I.V., Peretyatko A.I. *Physiology and biochemistry of plants*. Saratov, Russia, 2013:335. (In Russ.)

8. Kalinin F.L., Sarnatskaya V.V., Polishchuk V.E. *Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry*. Kiev, USSR: Naukova dumka, 1980:320. (In Russ.)

9. Kovalenko V.N. On the biological activity of some species of digitalis. *Farmakologiya i toksikologiya*. 1954;3:18–22. (In Russ.)

10. Leshina L.G., Bulko O.V. Digitalis purpurea L. cells culture: cultivation in vitro, growth parameters and determination of glycosides biosynthetic ability. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rasteniy*. 2011;43(2):164–170. (In Russ.)

11. Markova M.G., Somova E.N., Potapova S.A. influence of growthregulators thereproduction ofpromising varietiesof raspberries in culture in vitro. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;2–1(16):104–111. (In Russ.)

12. Makarov P.N., Makarova T.A., Samoilenko Z.A., Gulakova N.M., Kravchenko I.V. Productivity and quality evaluation of tarragon and thyme grown under artificial light. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2021;4(64):24–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-24-29>

13. Makarov S.S., Kazieva A. Yu., Makarova T.A., Samoilenko Z.A. et al. Microclonal reproduction of shrubby cinquefoil (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) with elements of hydroponics. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;2(100):64–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-64-71>

14. Makarov S.S., Makarova T.A., Samoilenko Z.A., Makarov P.N. et al. Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) in vitro and ex vitro propagation features. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;3(101):77–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>

15. Makarov S.S., Samoilenko Z.A., Makarova T.A., Kuznetsova I.B. et al. Adaptation of american cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) to ex vitro conditions using the hydroponic method. *Bulletin of KSAU*. 2023;11(101):104–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-104-112>

16. Makarov S.S., Upadyshv M.T., Rodin S.A., Makarova T.A. et al. Adaptation of regenerated plants of *Rubus arcticus* L. to ex vitro conditions using hydroponics. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2023;4:75–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/SJFS20230408>

17. Nikonovich T.V., Leviy A.V., Frantsuzenok V.V. The influence of the spectral composition of light on the growth and development of regenerating plants of grapes during the period of adaptation to in vitro conditions. *Vestnik BGSKhA*. 2012;2:70–75. (In Russ.)

18. Polyakov S.A., Rastorguev S.P., Verzilin A.V. Adaptation of strawberry regenerating plants to adverse conditions. In: *Improving the efficiency of gardening in modern conditions*. Michurinsk-Naukograd RF, Russia, 2003(2):335–339. (In Russ.)
19. Smolnikova Ya.V. Cultivation of *Digitalis purpurea* L. in vitro and the production of cardiac glycosides based on it. CSc (Eng) thesis. Krasnoyarsk, Russia, 2012:21. (In Russ.)
20. Tomilova S.V., Kitashov A.V., Nosov A.M. Cardiac glycosides: distribution, properties and specificity of formation in cultures of cells and organs of plants in vitro. *Plant Physiology*. 2022;69(3):227–245. (In Russ.)
21. Tretyakov N.N., Karnaukhova T.V., Panichkin L.A. *Workshop on plant physiology*. Moscow, USSR: Agropromizdat, 1990:271. (In Russ.)
22. Shakina T.N. Adaptation experience of some ornamental and fruit-berry plantlets to ex vitro conditions in the Training and Science Center “Botanical Garden” of Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii*. 2020;19(1):315–320. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020063>
23. Drainerd E. Acclimatization of aseptically cultured apple plants to low relative humidity. *J.Am. Soc. Hort. Sci.* 1981;106(4):515–518.
24. Furuya T., Kojima H., Katsuta T. 3-methylpurpurin and other anthraquinones from callus tissue of *Digitalis lanata*. *Phytochem.* 1972;11:1073. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)88455-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)88455-1)
25. Lobach E.Y., Tokhiriyon B., Poznyakovsky V.M., Makarov S.S., Khanbayeva O.E., Takaeva M.A. New Phytocomplex for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Development and Clinical Evidence of Anti-inflammatory Effect. *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research*. 2023;13(3):102–108. <https://doi.org/10.51847/TI5LnYDudZ>
26. Matsumoto M., Koga S., Shoyama Y., Nishioka I. Phenolic glycoside composition of leaves and callus cultures of *Digitalis purpurea*. *Phytochem.* 1987;26:3225. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)82474-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)82474-7)
27. Nartop P., Altan A.D., Titrek A. Modeling of In Vitro biomass production of *Digitalis purpurea* under the effects of biosynthetic silver nanoparticles. *Iran J. Sci. Technol. Trans. Sci.* 2021;45:775–783. <https://doi.org/10.1007/s40995-021-01105-4>
28. Pastor N., Azrak S.S. et al. Digitoxin inhibits the growth of cancer cell lines at concentrations commonly found in cardiac patients. *J. Nat. Prod.* 2005;68(11):1642–1645.
29. Patil G., Mahendra A., Kirti N., Sayantan P., Vijay B., Polavarapu K., Nikam Td. In vitro propagation and production of cardiotoxic glycosides in shoot cultures of *Digitalis purpurea* L. by elicitation and precursor feeding. *Applied microbiology and biotechnology*. 2012;97. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4489-y>
30. Pérez-Alonso N., Wilken D., Gerth A. et al. Cardiotoxic glycosides from biomass of *Digitalis purpurea* L. cultured in temporary immersion systems. *Plant Cell Tiss. Organ. Cult.* 2009;99:151–156. <https://doi.org/10.1007/s11240-009-9587-x>

### Сведения об авторах

**Макаров Петр Николаевич**, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры биологии и биотехнологии, Сургутский государственный университет; 628400, Российская Федерация, г. Сургут, проспект Ленина, 1; e-mail: makarov\_pn@surgu.ru; тел.: (34–62) 763–154

**Макаров Сергей Сергеевич**, д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

**Макарова Татьяна Анатольевна**, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры биологии и биотехнологии, Сургутский государственный университет; 628400, Российская Федерация, г. Сургут, проспект Ленина, 1; e-mail: makarova\_ta@surgu.ru; тел.: (34–62) 763–154

**Самойленко Зоя Анатольевна**, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры биологии и биотехнологии, Сургутский государственный университет; 628400, Российская Федерация, г. Сургут, проспект Ленина, 1; e-mail: samojlenko\_za@surgu.ru; тел.: (34–62) 763–154

**Гулакова Наталья Михайловна**, инженер кафедры биологии и биотехнологии, Сургутский государственный университет; 628400, Российская Федерация, г. Сургут, проспект Ленина, 1; e-mail: gulakova\_nm@surgu.ru; тел.: (34–62) 763–154

### **Information about the authors**

**Petr N. Makarov**, PhD (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biology and Biotechnology, Surgut State University (1 Lenina Ave., Surgut, 628400, Russian Federation; phone: (3462) 76–31–54; e-mail: makarov\_pn@surgu.ru)

**Sergey S. Makarov**, DSc (Ag), Head of the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru)

**Tatiana A. Makarova**, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biology and Biotechnology, Surgut State University (1 Lenina Ave., Surgut, 628400, Russian Federation; phone: (3462) 76–31–54; e-mail: makarova\_ta@surgu.ru)

**Zoya A. Samoylenko**, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biology and Biotechnology, Surgut State University (1 Lenina Ave., Surgut, 628400, Russian Federation; phone: (3462) 76–31–54; e-mail: samojlenko\_za@surgu.ru)

**Natalia M. Gulakova**, Engineer at the Department of Biology and Biotechnology, Surgut State University (1 Lenina Ave., Surgut, 628400, Russian Federation; phone: (3462) 76–31–54; e-mail: gulakova\_nm@surgu.ru)

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПАСПОРТИЗАЦИЯ ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ

А.А. НАЛБАНДЯН, Т.П. ФЕДУЛОВА, И.В. ЧЕРЕПУХИНА,  
Т.С. РУДЕНКО, Т.Н. БАГМУТОВА

(Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара  
имени А.Л. Мазлумова)

*Разработка методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием ДНК-маркеров является актуальным направлением исследований в селекции культуры. Объектом исследований являлись растения перспективных отечественных гибридов сахарной свеклы. В статье представлены результаты по разработке методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров. Материалами для исследований служили проростки 8 перспективных гибридов сахарной свеклы отечественной селекции. Целевые фрагменты амплифицировали с локус-специфичными (микросателлитными) праймерами: Unigene16898, Unigene17623B, Unigene26753, Unigene17923, Unigene27833, FDSB1001, FDSB1033, FDSB502–2, FDSB502–3, SB09, SB04, SB15, мечеными флуоресцентными красителями FAM, R6G, TAMRA и ROX. Полученные ампликоны идентифицировали методом высокоразрешающего капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе Нанофор 05 («Синтол», Россия). Приведены результаты подбора 12 микросателлитных локусов, пригодных для генетической паспортизации гибридов сахарной свеклы. Все подобранные праймеры к микросателлитным локусам генома сахарной свеклы характеризовались высоким показателем полиморфизма. По результатам фрагментного анализа установлен размер полученных ПЦР-ампликонов у растений изучаемых гибридов. На основе полученных молекулярных данных составлены генетические формулы и паспорта, позволяющие идентифицировать и паспортизировать генотипы культуры. Построена дендрограмма генетического родства изученных гибридов сахарной свеклы на основе рассчитанных генетических расстояний. Разработка методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием ДНК-маркеров является актуальным направлением исследований в селекции культуры. Это имеет важное практическое значение в селекции, семеноводстве и госсортоиспытании сахарной свеклы как при создании новых гибридов, так и при их регистрации.*

**Ключевые слова:** сахарная свекла, генотипирование, микросателлитный анализ, генетические паспорта, фрагментный анализ.

### Введение

Сахарная свекла является важнейшей стратегической перекрестно опыляемой культурой с двухлетним циклом развития, возделываемой для производства сахара, обладающая признаками самонесовместимости, ЦМС, полиплоидии, апомиксиса и др. Данная культура имеет ограниченное количество морфологических маркеров, поэтому идентификация и паспортизация селекционных материалов и гибридов сахарной свеклы являются весьма актуальной проблемой. В связи с этим важнейшим направлением в селекции сахарной свеклы является проведение генотипирования исходного селекционного материала и гибридов по полиморфным микросателлитным маркерам.

SSR-маркирование (Simple Sequence Repeats) – эффективный инструмент для анализа родственных связей, оценки генетического разнообразия, оценки отличимости, однородности, стабильности (ООС), защиты авторских прав селекционеров, составления генетических паспортов. Анализ полиморфизма микросателлитных локусов в геноме сахарной свеклы является наиболее перспективным, так как SSR-маркеры позволяют получать стабильно воспроизводимый ДНК-профиль (праймеры комплементарны консервативным участкам генома) и кодоминантны, что дает возможность использовать их для отслеживания наследования геномов родительских линий в пробных и коммерческих гибридах [8, 27].

В последнее время опубликован целый ряд работ по применению метода микросателлитного анализа в селекционных программах по сахарной свекле как за рубежом [14, 28], так и в России [3, 6, 9]. Вместе с тем в настоящее время отсутствует эффективная и удобная методика использования ДНК-маркеров для создания генетических паспортов родительских форм и гибридов культуры. Для разработки данной методики, позволяющей получать уникальные, стабильные ДНК-профили, требуется более подробное изучение полиморфных микросателлитных профилей на большой выборке родительских компонентов и гибридов сахарной свеклы.

Эффективность растениеводства в большой степени обусловлена потенциалом использования современных сортов и гибридов, который реализуется с учетом факторов сортовой принадлежности и генетической чистоты. В соответствии с задачами «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 2016 г. и «Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий» на 2019–2027 гг. в области агроиндустрии предусмотрено ускоренное внедрение современных молекулярно-генетических методов в селекционные программы.

Сорта и гибриды растений относятся к объектам интеллектуальной собственности и охраняются патентами, если являются оригинальными, не имеют аналогов и успешно проходят испытания на отличимость, однородность и стабильность (ООС-тест). Традиционные методы сортовой идентификации на основе морфологических признаков и биохимических дескрипторов значительно уступают современным подходам, основанным на молекулярных ДНК-маркерах, по точности, разрешающей способности и воспроизводимости результатов анализа [1].

Система ДНК-идентификации в настоящее время успешно применяется на практике и для ряда других сельскохозяйственных культур (сои, подсолнечника, пшеницы и др.). Не исключено, что в ближайшее время она будет принята и одобрена Международным союзом по защите новых сортов растений (UPOV) в качестве обязательного элемента тестирования при регистрации нового селекционного достижения. Молекулярные методы оценки генетического разнообразия, так называемый ДНК-фингерпринтинг, предполагают изучение полиморфизма с разработкой надежного способа записи спектров ДНК, полученных в результате полимеразной цепной реакции (ПЦР). На их основе для каждого сорта/гибрида можно составить генетический паспорт, который позволит определить уникальность сорта, гибрида, провести анализ однородности семенного и посадочного материала. Генетическая паспортизация сортов, линий и гибридов может значительно повысить эффективность регистрации и авторской защиты селекционных достижений. Для ДНК-идентификации необходимо предварительное создание эталонных генетических паспортов районированных сортов и гибридов. Путем сравнения с ними тестируемого образца можно установить подлинность сорта, гибридность, наличие примесей и т.д.

Внедрение методов ДНК-фингерпринтинга в практику требует комплексного научного подхода, включающего в себя выбор оптимальной системы молекулярного маркирования и создание эффективных технологий генотипирования с учетом особенностей

растений конкретного вида [15, 25]. В ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» в настоящее время разрабатывается методика идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы на основе микросателлитных маркеров [19]. На текущий момент такой методики определения сортовой принадлежности сахарной свеклы в РФ не существует.

Разработка методов генетической идентификации родительских форм и гибридов сахарной свеклы расширяет возможности регистрации, экспертизы и защиты прав в селекции и семеноводстве. Особенно актуальными методы генотипирования становятся при идентификации материала, размножаемого и сохраняемого *in vitro*, где морфологические сортовые признаки могут быть неярко выражены [23]. Однако в условиях Российской Федерации требуются расширение исследований по геномному анализу сельскохозяйственных культур, совершенствование и унификация методов ДНК-идентификации и методик маркирования, разработка единых требований к уровню информативности маркеров, принципов и методик оценки посевного и посадочного материала и коллекций *in vitro* [4, 13, 18].

Правообладатель нового сорта может легко утратить свою интеллектуальную собственность, пренебрегая ее защитой, в то время как ДНК-паспорт полностью исключает данный факт. Период создания гибрида может сократиться в несколько раз, поскольку идентификация родительских форм и гибридного материала, а также анализ результатов скрещивания на генетическом уровне проводятся в предельно короткий срок по сравнению с традиционными методами. Генетическая идентификация также решит ряд проблем в семеноводстве – в частности, в оценке соответствия партий стандарту и контролю качества семенных материалов.

Молекулярные маркеры широко применяются в филогенетическом анализе, в поиске функционально значимых генов, в маркерной селекции, паспортизации селекционных достижений, определении генетической чистоты линий и гибридов различных культур и, в частности, сахарной свеклы. Современные технологии молекулярных маркеров позволяют идентифицировать генетическое разнообразие среди сортов, гибридов, проводить картирование хромосом и характеристику генов [5, 22, 25]. Так, зарубежными авторами проведена оценка биоразнообразия видов сахарной свеклы и их диких родственников и установлена связь экологических данных с новыми генетическими подходами. В данной работе авторы использовали EcoTILLING как молекулярный инструмент для оценки полиморфизмов ДНК в диких популяциях *Beta* и выявления генов-кандидатов, связанных с засухой и солеустойчивостью. Рассмотрены вопросы, связанные с секвенированием следующего поколения (NGS) технологии как новым молекулярным инструментом для оценки адаптивных генетических вариаций на диких родственниках сахарной свеклы [17, 26]. Молекулярный и генетический полиморфизм сортов сахарной свеклы и гибридов при выборе материала для оценки устойчивости к абиотическим факторам на молекулярном уровне также был изучен с использованием RAPD- и SSR-анализа [2].

Кластерный анализ с использованием ДНК-маркеров показывает, что термостойкие генотипы сахарной свеклы Ялтушковский МС 72, Украинский МС 70, Украинский МС 72 и Катюша генетически отдалены и, следовательно, могут быть использованы для создания гетерозисных гибридов. Генетическое разнообразие и поток генов между дикими, культивируемыми и сорняковыми формами *Beta vulgaris* L. были оценены с помощью RFLP и микросателлитных маркеров. Модели разнообразия были конгруэнтны для обоих типов маркеров. Генетическое разнообразие дикой свеклы оказалось высоким по своему аллельному числу и по наблюдаемой гетерозиготности, тогда как генофонд культивируемой свеклы был более узким [10, 11].

Таким образом, разработка методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров является актуальным и перспективным направлением исследований.

**Цель исследований:** разработка методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров.

### Материал и методы исследований

В качестве материалов для проведения микросателлитного анализа использованы по 3 проростка 8 перспективных гибридов сахарной свеклы отечественной селекции (РМС-137, РМС-500, РМС-501, РМС-503 и Рамоза (ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова»), Львовский МС 17 и Смена (Львовская ООС), Буря (ООО «СоюзСемСвёкла»).

Выделение геномной ДНК из растительной ткани осуществлялось наборами «ДНК-Экстран-3» по протоколу производителя (ООО «Синтол», Россия). Качество полученных препаратов ДНК оценивали путем электрофореза в 1%-ном агарозном геле с добавлением бромистого этидия. Концентрацию ДНК измеряли с использованием набора для анализа ДНК HS Qubit (Thermo Fisher Scientific, США) на флуориметре Qubit 2.0 (Thermo Fisher Scientific, США). Затем 5 нг ДНК использовали для реакции амплификации. Целевые фрагменты амплифицировали с локус-специфичными (микросателлитными) праймерами: Unigene16898, Unigene17623B, Unigene26753, Unigene17923, Unigene27833 (Fugate et al., 2014), FDSB1001, FDSB1033 (McGrath et al., 2007), FDSB502–2, FDSB502–3 (Шалаева и др.), SB09, SB04, SB15 (Richards et al., 2004), мечеными флуоресцентными красителями FAM, R6G, TAMRA и ROX. ПЦР-амплификацию проводили с помощью коммерческого набора GenPak PCR Core (Галарт-Диагностикум, Россия) по протоколу производителя в 20 мкл реакционной смеси на термоциклере CFX-96 («Bio-Rad», США).

Условия реакции были следующими: +95°C – 5 мин; 30 циклов: +94°C – 30 с, N°C – 30 с, +72°C – 30 с; +72°C – 5 мин, где N – температура отжига праймеров. Для проведения ПЦР олигонуклеотиды были выделены в 3 группы в зависимости от их температуры отжига. Праймеры к микросателлитным локусам генома сахарной свеклы синтезированы в ООО «Синтол» (Россия). Сиквенс и температура отжига праймеров к микросателлитным локусам представлены в таблице 1.

Полученные ампликоны идентифицировали методом высокоразрешающего капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе Нанофор 05 («Синтол», Россия), модуль управления FA 450 PDMA 6 50, набор красителей Syntol-СК-5. Общий объем реакции 11 мкл: деионизованный формамид Hi-Di («ThermoFisher Scientific», США) – 9,5 мкл; размерный стандарт СД-450 («Синтол», Россия) – 0,5 мкл; ПЦР-продукт – 1 мкл. Размер полученных ПЦР-продуктов определяли с помощью программного обеспечения «ДНК Фрагментный анализ» (ИАП РАН, Россия). В качестве размерного стандарта использован маркер молекулярного веса СД450, канал LIZ (ООО «Синтол»). Молекулярно-генетические экспериментальные исследования проведены в трех биологических повторностях. Рассчитана мера информационного полиморфизма (polymorphism information content – PIC), которая определяется способностью маркера выявлять полиморфизм в популяции в зависимости от числа обнаруживаемых аллелей и распределения их частот [7, 20]. PIC выявляет дискриминационную способность маркера, фактически зависит от числа устанавливаемых аллелей и распределения их частот и тем самым эквивалентна генному разнообразию. PIC рассчитывается по следующей формуле:

$$PIC_j = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2,$$

где  $i$  –  $i$ -й аллель  $j$ -го маркера;  $n$  – число аллелей  $j$ -го маркера;  $P$  – частота аллелей.

### Характеристика используемых SSR-праймеров

№	Название	Последовательность 5'.....3'	T <sub>m</sub> , C°	Мотив	Источник литературы
1	Unigene16898	F: AGAACTTAGATTGTGACCTGCT R: GATGGGAAGAGAGAGATTAGTG	55	(CAA) <sub>n</sub>	(Fugate, 2014)
2	Unigene17623B	F: ATTACACCTCAATCTTCCAGC R: AATATTGGCAATCTACCAGC	55	(CAA) <sub>n</sub>	(Fugate, 2014)
3	Unigene26753	F: GAGATACAAATTCACCCATC R: GTAGAGGAAGTAAAAGCACCA	55	(CAA) <sub>n</sub>	(Fugate, 2014)
4	Unigene17923	F: AACCTTACTCCCTCTGATTTCT R: GGAGATACAACCTTACAAGAGCC	55	(CTT) <sub>n</sub>	(Fugate, 2014)
5	Unigene27833	F: GAGTCATCAACACCAAACTACA R: ATTAGCCAAGAAAATCACCC	55	(ATA)	(Fugate, 2014)
6	FDSB1001	F: ACTTCAACCACTATCACAAAGTGAG R: ATCTTATGCTGCCATGACCA	58	(AG) <sub>n</sub>	(Шилов, 2023)
7	FDSB1033	F: GCTGAGATGATGTTTGTAGGGC R: TTCAAATCGCCATCTCCCAG	58	(AG) <sub>n</sub>	(Шилов, 2023)
8	FDSB502–2	F: ACAATGGCGAATCGCTTTTGGGG R: CGTACTCATCTTCATCGTCTTCTTC	60	(GAT) <sub>n</sub>	(Шилов, 2023)
9	FDSB502–3	F: GAAGAAGACGATGAAGATGAGTACG R: GAATCAACCTTGCCGACATATCC	60	(AAG) <sub>n</sub>	(Шилов, 2023)
10	SB09	F: TGCATAAAACCCCAACAAT R: AGGGCAACTTTGTTTTGTGG	55	(CAA) <sub>n</sub> (CAT) <sub>n</sub>	(Richards, 2004)
11	SB04	F: ACCGATCACCAATTCACCAT R: GTTTTGTTTTGGGCGAAATG	58	(AAC) <sub>n</sub>	(Richards, 2004)
12	SB15	F: CACCCAGCCTATCTCTCGAC R: GTGGTGGGCAGTTTTAGGAA	58	(CT) <sub>n</sub> (GAC) <sub>n</sub>	(Richards, 2004)

РIS выявляет дискриминационную способность маркера, фактически зависит от числа устанавливаемых аллелей и распределения их частот и тем самым эквивалентна генному разнообразию [7]. Расчет генетических расстояний между генотипами сахарной свеклы и проведение кластерного анализа осуществляли в программе *PAST*.

### Результаты и их обсуждение

В настоящее время в мировой и отечественной практике для передачи гибридов сельскохозяйственных культур на ГСИ принята оценка их на ООС (отличимость,

однородность и стабильность) по основным 27 биоморфологическим признакам. Исходя из этого нами проведено тестирование 8 гибридов сахарной свеклы по данным критериям. На примере гибрида Смена (рис. 1) представлена оценка растений по основным биоморфологическим параметрам (табл. 2).

На основании анализа данных литературы и собственных исследований для генотипирования образцов сахарной свеклы были выбраны 12 микросателлитных локусов. Отбор производили по следующим критериям: число аллелей в локусе не менее двух; расположение локусов на разных хромосомах, что должно обеспечивать независимое наследование ДНК-маркеров. В результате проведенного ПЦР-анализа 8 отечественных гибридов сахарной свеклы с 12 парами микросателлитных праймеров были выявлены их генетическое разнообразие и полиморфизм. С использованием SSR-маркеров для каждого генотипа получены индивидуальные ДНК-паттерны. Все подобранные праймеры к микросателлитным локусам генома сахарной свеклы характеризовались высоким показателем полиморфизма. Результаты фрагментного анализа растений перспективных гибридов сахарной свеклы представлены на примере гибрида Смена (рис. 2).

Максимальное число обнаруженных аллелей на SSR локус составило 13. Наибольшая величина информационного полиморфизма (PIC) установлена для локуса Unigene 17923 (PIC = 0,96) (табл. 3). Диапазон длин и PIC выявленных аллелей микросателлитных локусов варьирует в следующих пределах: Unigene16898–55–439 п.н. (PIC = 0,95); Unigene17623–123–221 п.н. (PIC = 0,91); Unigene26753–244–510 п.н. (PIC = 0,94); Unigene17923–171–428 п.н. (PIC = 0,96); Unigene27833–96–280 п.н. (PIC = 0,94); FDSB1001–109–352 п.н. (PIC = 0,91); FDSB1033–117–234 п.н. (PIC=0,95); FDSB502–2–103–305 п.н. (PIC=0,90); FDSB502–3–108–542 п.н. (PIC=0,95); SB09–119–546 п.н. (PIC=0,93); SB04–111–376 п.н. (PIC=0,94); SB15–66–172 п.н. (PIC = 0,94).

Каждое из проанализированных растений изучаемых гибридов сахарной свеклы характеризуется определенным набором или сочетанием аллелей, то есть сортоспецифичными аллельными вариантами. Это распределение служит эталоном при сравнении и идентификации растений неизвестных гибридов со стандартом. Путем сравнения распределения полиморфных ДНК разной длины среди исследуемых и эталонных образцов определяют сортовую принадлежность.



**Рис. 1.** Корнеплоды сахарной свеклы гибрида Смена

**Оценка гибрида сахарной свеклы Смена на отличимость, однородность, стабильность**Гибрид СменаФактическое число растений 120

№	Признак	Степень выраженности	Результат
1	Соплодие: число семян	односемянное	1
2	Соплодие: число ростков из 1 семени	одноростковое	1
3	Плоидность	диплоидность	2
4	Проросток, процент проростков с антоциановой окраской гипокотыля	60–79%	4
5	Семядоли: размер	среднего размера	5
6	Лист: положение	полупрямостоячий	3
7	Лист: длина (черешок с пластинкой)	средней длины	5
8	Черешок: длина	средней длины	5
9	Черешок: ширина	средней ширины	5
10	Листовая пластинка: длина	средней длины	5
11	Лист: длина черешка (относительно длины пластинки)	средней длины	5
12	Листовая пластинка: ширина	средней ширины	5
13	Листовая пластинка: отношение ширины к длине	среднее	5
14	Листовая пластинка: интенсивность зеленой окраски	средняя	3
15	Черешок: окраска	светло-зеленый	1
16	Черешок: окраска основания	бело-зеленое	1
17	Листовая пластинка: волнистость края	слабая	3
18	Листовая пластинка: гляцевитость	средняя	5
19	Листовая пластинка: морщинистость	слабая	3
20	Листовая пластинка: форма вершины	тупая	1
21	Листовая пластинка: наличие антоциановой окраски	отсутствует	1
22	Растение: высота	средней высоты	5
23	Корнеплод: форма	ширококонический	3
24	Корнеплод: длина	средней длины	5
25	Корнеплод: ширина	средний	5
26	Корнеплод: погруженность в почву	средняя	7
27	Корнеплод: размер головки	среднего размера	5



**Рис. 2.** Электрофореграмма ПЦР-продуктов микросателлитного локуса Sb04, меченого красителем ROX, у гибрида сахарной свеклы Смена селекции ЛОСС

Составленные на основе SSR-маркеров молекулярно-генетические формулы 8 перспективных гибридов сахарной свеклы приведены в таблице 4, где латинскими буквами обозначены маркеры: **A** – Unigene 16898; **B** – Unigene 17623; **C** – Unigene 26753; **D** – Unigene 17923; **E** – Unigene 27833; **F** – FDSB1001; **G** – FDSB1033; **H** – FDSB502–2; **I** – FDSB502–3; **J** – Sb09; **K** – Sb04; **L** – Sb15. Цифровой индекс (табл. 4) указывает размер выявленных аллелей (в парах нуклеотидов).

Анализируя результаты молекулярно-генетического исследования современных гибридов сахарной свеклы отечественной селекции по 12 микросателлитным маркерам, необходимо отметить, что практически по всем изученным локусам у всех генотипов выявлен значительный полиморфизм. Так, по SSR локусу FDSB1033 минимальное количество аллельных вариантов (3) выявлено у гибридов PMC 500 и Буря, а максимальное – 11 у Рамозы и 10 у Смены. По локусу FDSB502–2 наименьшее количество ПЦР-продуктов (3) установлено у гибридов PMC 137 и Буря, а максимальное (5) – у гибридов PMC 503, Львовский MC 17, Смена, PMC 501.

Незначительным количеством аллельных состояний характеризуется локус Sb 09 – от 2 у гибрида Буря до 5 у гибрида PMC 500.

По локусу Sb 04 минимальное количество ПЦР-ампликонов (1) выявлено у растений сахарной свеклы гибрида Львовский MC 17, а максимальное (6) – у гибридов PMC 137, PMC 500 и Буря. По локусу Sb 15 установлен довольно значительный полиморфизм ( $PI = 0,94$ ). Наименьшее количество установленных аллельных состояний (4) установлено у растений гибрида PMC 137, а максимальное (9) – у гибрида PMC 501. По локусу FDSB502–3 у всех изученных гибридов выявлено наименьшее количество ДНК-фрагментов: от 2 (Львовский MC 17) до 7 у гибрида PMC 503.

Весьмавысоким полиморфизмом характеризуется локус Unigene 17923: у изученных генотипов обнаружено от 6 ампликонов у гибрида PMC 137 до 13 – у PMC 500. По локусу Unigene 16898 наименьшее количество (3) ДНК-фрагментов установлено у гибрида Буря, максимальное (10) – у гибрида PMC 500, 7 – у гибридов PMC 503, Львовский MC 17, Смена. При использовании праймеров к SSR-локусу Unigene 17623 наименьшее количество аллельных вариантов (4) обнаружено у образцов Рамоза и PMC 500, а наибольшее (8) – у PMC 137. По локусу Unigene 27833 минимальное количество ДНК-фрагментов (5) выявлено у растений гибрида PMC 503 и Буря, а максимальное (9) – у Смены. Локус FDSB1001 характеризуется достаточным уровнем полиморфизма: минимальное количество ПЦР-продуктов (1) установлено у гибрида Рамоза, по 2 ампликона – у растений гибридов PMC 503, Львовский MC 17, Смена, Буря. При использовании праймеров к локусу Unigene 26753 минимальное количество ПЦР-продуктов (3) отмечено у гибрида PMC 501, а максимальное (8) – у растений гибрида PMC 137. Максимальное количество ДНК-фрагментов выявлено у гибрида PMC 137 практически по всем изученным SSR-локусам. Вместе с тем следует отметить, что все выявленные ДНК-ампликоны обладают разной молекулярной массой. Это позволяет использовать данные праймеры для идентификации и паспортизации исследованных гибридных растений сахарной свеклы.

## Генетический полиморфизм гибридов сахарной свеклы по SSR-маркерам

№	Праймеры	РМС137	РМС503	Львовская МС17	Смена	Рамоза	РМС500	РМС501	Буря	РІС
1	<b>Unigene 16898</b>	251–281 п.н.	255–286 п.н.	252–280 п.н.	56–281 п.н.	56–281 п.н.	55–289 п.н.	55–413 п.н.	253–439 п.н.	<b>0,95</b>
2	<b>Unigene 17623</b>	140–166 п.н.	140–159 п.н.	140–165 п.н.	123–160 п.н.	123–159 п.н.	141–159 п.н.	141–165 п.н.	147–221 п.н.	<b>0,91</b>
3	<b>Unigene 26753</b>	244–509 п.н.	252–290 п.н.	268–509 п.н.	266–509 п.н.	274–509 п.н.	272–510 п.н.	288–508 п.н.	273–507 п.н.	<b>0,94</b>
4	<b>Unigene 17923</b>	171–261 п.н.	172–230 п.н.	172–210 п.н.	172–210 п.н.	172–210 п.н.	171–428 п.н.	173–210 п.н.	172–209 п.н.	<b>0,96</b>
5	<b>Unigene 27833</b>	186–280 п.н.	97–209 п.н.	97–208 п.н.	97–208 п.н.	96–208 п.н.	97–254 п.н.	97–208 п.н.	105–207 п.н.	<b>0,94</b>
6	<b>FDSB1001</b>	158–352 п.н.	170–314 п.н.	155–314 п.н.	163–314 п.н.	314 п.н.	109–332 п.н.	159–314 п.н.	313, 331 п.н.	<b>0,91</b>
7	<b>FDSB1033</b>	146–194 п.н.	183–187 п.н.	161–196 п.н.	160–234 п.н.	162–209 п.н.	164–220 п.н.	162–196 п.н.	117–192 п.н.	<b>0,95</b>
8	<b>FDSB502–2</b>	110–118 п.н.	103–305 п.н.	103–154 п.н.	108–305 п.н.	104–118 п.н.	108–118 п.н.	103–118 п.н.	105–155 п.н.	<b>0,90</b>
9	<b>FDSB502–3</b>	209–542 п.н.	216–271 п.н.	272–281 п.н.	230 п.н.	292–462 п.н.	214–297 п.н.	215–232 п.н.	108–159 п.н.	<b>0,95</b>
10	<b>SB09</b>	120–172 п.н.	119–192 п.н.	126–469 п.н.	126–417 п.н.	120–129 п.н.	124–270 п.н.	126–537 п.н.	125–546 п.н.	<b>0,93</b>
11	<b>SB04</b>	111–186 п.н.	158–187 п.н.	171 п.н.	182–187 п.н.	177–210 п.н.	168–188 п.н.	177–376 п.н.	160–186 п.н.	<b>0,94</b>
12	<b>SB15</b>	134–149 п.н.	66–172 п.н.	137–171 п.н.	138–165 п.н.	138–172 п.н.	138–165 п.н.	130–171 п.н.	130–164 п.н.	<b>0,94</b>

Составленные молекулярно-генетические формулы служат основой генетического паспорта, где вместе с информацией об оригинаторе, происхождении гибридов, основных биоморфологических признаках приведены данные по составу выявленных аллелей микросателлитных локусов. На основе идентифицированных ДНК-фрагментов составлены генетические паспорта гибридов сахарной свеклы (табл. 5), позволяющие эффективно идентифицировать и паспортизировать их, вычислены генетические расстояния между исследованными образцами (табл. 6) и методом кластерного анализа, построена дендрограмма предполагаемых филогенетических взаимоотношений (рис. 3).

На представленной дендрограмме гибриды Льговской селекции (Льговский МС 17 и Смена) вошли в отдельный кластер, так как они созданы на основе близкородственных МС-форм и сростноплодных опылителей и имеют незначительное генетическое расстояние между собой ( $D = 8,46$ ). На небольшом расстоянии от этой подгруппы находится гибрид Рамонской селекции Рамоза ( $D = 8,89-8,54$ ). Довольно значительные генетические дистанции ( $D = 9,64-11,18$ ) отмечены для гибрида РМС – 500 практически со всеми изученными гибридными образцами. Данный гибрид не вошел ни в один кластер и находится отдельно на дендрограмме, что свидетельствует о его генетическом отличии от других генотипов сахарной свеклы. Гибрид РМС 137 также показывает довольно значительную генетическую удаленность от остальных изученных гибридных образцов ( $D = 9,84-11,18$ ).

Таблица 4

### Молекулярно-генетические формулы изученных гибридов

Гибрид	Молекулярно-генетические формулы
РМС 137	A <sub>251/257/268/272/275/281</sub> B <sub>140/148/150/155/159/160/162/166</sub> C <sub>244/250/280/281/288/289/295/509</sub> D <sub>171/175/178/182/189/261</sub> E <sub>186/192/199/203/208/280</sub> F <sub>158/213/304/314/320/321/333/352</sub> G <sub>146/164/171/177/190/194</sub> H <sub>110/112/118</sub> I <sub>209/228/232/450/542</sub> J <sub>120/127/129/172</sub> K <sub>111/161/164/173/174/186</sub> L <sub>134/135/145/149</sub>
РМС 503	A <sub>255/263/264/271/272/281/286</sub> B <sub>140/149/150/155/159</sub> C <sub>252/253/289/290</sub> D <sub>172/173/174/180/182/195/197/204/209/230</sub> E <sub>97/105/201/203/209</sub> F <sub>170/314</sub> G <sub>183/187</sub> H <sub>103/112/114/118/305</sub> I <sub>216/220/232/253/254/262/271</sub> J <sub>119/125/192</sub> K <sub>158/177/187</sub> L <sub>66/138/139/149/164/165/172</sub>
Льговский МС 17	A <sub>252/254/263/266/271/274/280</sub> B <sub>140/152/155/159/162/165</sub> C <sub>268/286/289/304/509</sub> D <sub>172/174/180/182/195/197/204/209/210</sub> E <sub>97/185/191/195/202/208</sub> F <sub>155/314</sub> G <sub>161/164/170/176/185/192/196</sub> H <sub>103/112/114/119/154</sub> I <sub>272/281</sub> J <sub>126/183/469</sub> K <sub>171</sub> L <sub>140/142/149/151/156/164/171</sub>
Смена	A <sub>56/254/256/263/273/274/281</sub> B <sub>123/139/148/150/155/159</sub> C <sub>266/286/289/304/509</sub> D <sub>171/172/176/179/182/189/206/210</sub> E <sub>97/105/185/186/192/196/198/203/208</sub> F <sub>163/314</sub> G <sub>160/164/169/170/176/185/191/192/203/234</sub> H <sub>108/109/114/118/305</sub> I <sub>230</sub> J <sub>126/128/258/275</sub> K <sub>182/184/187</sub> L <sub>138/140/149/158</sub>
Рамоза	A <sub>56/254/262/272/273/281</sub> B <sub>123/150/151/159</sub> C <sub>274/289/304/509</sub> D <sub>172/175/180/182/195/199/210</sub> E <sub>96/105/191/195/201/205/208</sub> F <sub>314</sub> G <sub>162/164/170/176/184/185/190/192/196/199/209</sub> H <sub>104/110/114/118</sub> I <sub>292/396/462</sub> J <sub>120/128/129</sub> K <sub>177/186/187/209/210</sub> L <sub>138/142/145/150/164/171/172</sub>
РМС 500	A <sub>55/218/255/257/263/266/273/281/282/289</sub> B <sub>141/149/155/159</sub> C <sub>272/282/286/289/296/304/319/419/478/508/510</sub> D <sub>171/203/272/275/295/296/307/309/344/347/379/402/428</sub> E <sub>97/99/105/192/201/202/208/254</sub> F <sub>109/132/313/332</sub> G <sub>164/209/234</sub> H <sub>108/110/114/118</sub> I <sub>214/296/297</sub> J <sub>124/126/128/254/270</sub> K <sub>168/171/177/181/184/188</sub> L <sub>138/140/149/158/165</sub>
РМС 501	A <sub>55/255/256/263/265/271/272/286/413</sub> B <sub>141/149/150/159/165</sub> C <sub>288/303/508</sub> D <sub>173/176/182/189/207/209</sub> E <sub>97/105/185/191/195/198/202/208</sub> F <sub>159/215/305/314</sub> G <sub>162/163/170/177/183/190/193/196</sub> H <sub>103/107/109/113/118</sub> I <sub>215/226/232</sub> J <sub>132/149/159/537</sub> K <sub>177/376</sub> L <sub>130/144/145/152/153/159/160/165/167</sub>
Буря	A <sub>253/269/439</sub> B <sub>147/150/158/159/165/221</sub> C <sub>273/285/288/507</sub> D <sub>172/173/181/182/188/189/197/199/209</sub> E <sub>105/197/199/204/207</sub> F <sub>313/331</sub> G <sub>117/129/192</sub> H <sub>105/112/155</sub> I <sub>108/132/159</sub> J <sub>129/546</sub> K <sub>160/168/178/179/185/186</sub> L <sub>130/144/149/153/158/164</sub>

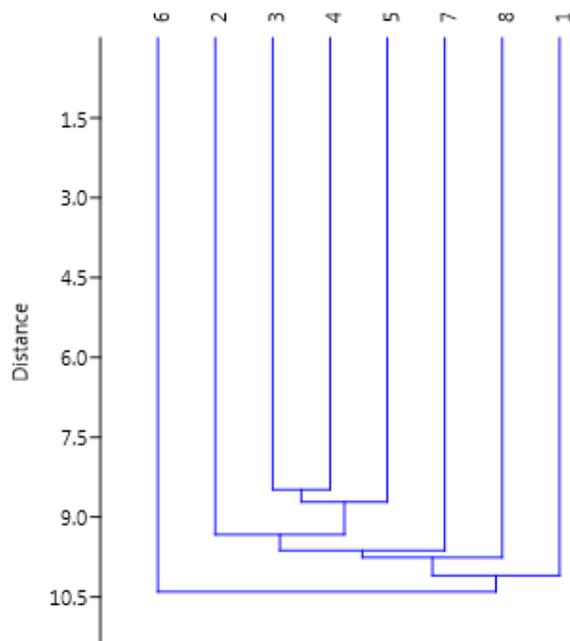
Таблица 5

**Генетический паспорт перспективных гибридов сахарной свеклы  
отечественной селекции по SSR-маркеру Unigene 16896**

Гибрид	п.н.	55	56	218	251	252	253	254	255	256	257	262	263	264	265	266
		РМС 137	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
РМС 500	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
РМС 501	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
РМС 503	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Рамоза	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Львовский МС 17	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1
Смена	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
Буря	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Гибрид	п.н.	268	269	271	272	273	274	275	276	280	281	282	286	289	413	439
РМС 137	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РМС 500	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
РМС 501	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
РМС 503	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Рамоза	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Львовский МС 17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
Смена	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Буря	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

## Матрица генетических расстояний (по Эвклиду) гибридов сахарной свеклы

Гибрид	РМС 137	РМС 500	РМС 501	РМС 503	Рамоза	Львовский МС 17	Смена	Буря
РМС 137	0,00	10,10	10,30	10,00	9,85	11,18	10,49	9,85
РМС 500	10,10	0,00	9,38	9,38	9,22	10,25	9,38	9,64
РМС 501	10,30	9,38	0,00	8,49	8,89	10,15	9,70	9,75
РМС 503	10,00	9,38	8,49	0,00	8,54	9,64	9,80	9,85
Рамоза	9,85	9,22	8,89	8,54	0,00	10,20	9,64	9,70
Львовский МС 17	11,18	10,25	10,15	9,64	10,19	0,00	10,63	10,77
Смена	10,49	9,38	9,70	9,80	9,64	10,63	0,00	9,85
Буря	9,85	9,64	9,75	9,85	9,70	10,77	9,85	0,00



**Рис. 3.** Генетические взаимоотношения гибридов сахарной свеклы:  
 1 – РМС 137; 2 – РМС 503; 3 – Львовский МС 17; 4 – Смена;  
 5 – Рамоза; 6 – РМС 500; 7 – РМС 501; 8 – Буря

Созданные по результатам микросателлитного анализа молекулярно-генетические паспорта могут быть использованы при регистрации гибридов сахарной свеклы в Госкомиссии РФ по охране и испытанию селекционных достижений. Практическая значимость генетического паспорта заключается в том, что можно идентифицировать растение лишь по небольшому фрагменту ткани. Данные можно использовать при защите авторских прав селекционеров по районированным гибридам или при проведении судебной экспертизы по поводу фальсификации семенного материала. Разрабатываемая методика позволит устанавливать генетическую чистоту партий семян, изучать генетическое разнообразие исходного материала для создания новых гибридов, исключать возможность незаконного присвоения прав на селекционные достижения, а также поможет вытеснить с рынка контрафактные семена. Генетический паспорт на селекционное достижение будет включать в себя оценку на ООС по биоморфологическим признакам, аллельный состав по ДНК-маркерам, с помощью которых можно идентифицировать гибриды сахарной свеклы.

В настоящее время общепринятые технологии идентификации генотипов культуры отсутствуют, поэтому ученые ВНИИСС проводят исследования по разработке методики генотипирования образцов сахарной свеклы. Любой гибрид может быть идентифицирован по уникальному профилю ДНК (ДНК-фингерпринт), полученному с помощью микросателлитных маркеров. Для реализации поставленной цели необходимы наиболее точные, с высокой разрешающей способностью, методы детекции ДНК. Одной из таких технологий является фрагментный анализ ДНК методом капиллярного гель-электрофореза для максимально точного определения размеров ДНК-маркеров.

Задача по паспортизации сельскохозяйственных культур была поставлена перед научным сообществом правительством Российской Федерации с вступлением в силу изменений в Федеральный закон от 30 декабря 2021 г. № 454 «О семеноводстве». Методика, разработанная учеными ВНИИСС, будет апробирована в селекцентре, а затем, при удачной воспроизводимости результатов, внедрена в организации, которые в рамках своей компетенции будут создавать генетические паспорта растений сахарной свеклы. Повышение эффективности идентификации гибридов сахарной свеклы возможно только при использовании комбинации ДНК-маркеров и биоморфологических параметров.

Для получения более достоверных результатов генетического анализа целесообразно проводить также идентификацию родительских форм гибридов сахарной свеклы (МС-формы, закрепителя стерильности Оуэн типа (О-тип), сростноплодного опылителя). Поскольку гибридные растения очень гетерозиготны, в своем геноме они имеют генетический материал четырех родительских компонентов, вследствие чего отдельные растения показывают разный ДНК-профиль – в частности, по SSR-маркерам. Родительские же формы – это инбредные линии или материалы от сибсовых скрещиваний, отличающиеся своей однородностью.

## Выводы

1. Установлена молекулярно-генетическая структура 8 перспективных гибридов сахарной свеклы по 12 микросателлитным (SSR)-маркерам, позволившая провести их идентификацию и паспортизацию. Все отобранные праймеры к микросателлитным локусам генома сахарной свеклы характеризовались высоким показателем полиморфизма.

2. Наибольший уровень полиморфного обеспечения (PIC) установлен для локусов, определенных с использованием пары праймеров: Unigene 17923 (PIC = 0,96).

Диапазон длин и PIC выявленных аллелей микросателлитных локусов следующий: Unigene16898–56–439 п.н. (PIC = 0,95); Unigene17623–123–221 п.н. (PIC = 0,91); Unigene26753–244–510 п.н. (PIC = 0,94); Unigene17923–171–428 п.н. (PIC = 0,96); Unigene27833–96–280 п.н. (PIC = 0,94); FDSB1001–109–352 п.н. (PIC = 0,91); FDSB1033–117–234 п.н. (PIC=0,95); FDSB502–2–103–305 п.н. (PIC=0,90); FDSB502–3–108–542 п.н. (PIC=0,95); SB09–119–546 п.н. (PIC=0,93); SB04–111–376 п.н. (PIC=0,94); SB15–66–172 п.н. (PIC = 0,94). Данные праймеры рекомендуются для генотипирования селекционно-ценных образцов и гибридов сахарной свеклы.

3. На основе идентифицированных ДНК-фрагментов составлены генетические паспорта гибридов сахарной свеклы, позволяющие эффективно идентифицировать и паспортизировать их, вычислены генетические расстояния (Эвклидовы) между исследованными образцами и построена дендрограмма предполагаемых филогенетических взаимоотношений.

4. Довольно значительные генетические дистанции ( $D = 9,64-11,18$ ) отмечены для гибрида РМС-500 практически со всеми изученными гибридными образцами. Гибрид РМС-137 также показывает довольно значительную генетическую удаленность от остальных изученных гибридных образцов ( $D = 9,84-11,18$ ). Это свидетельствует об их генетическом отличии от других изученных генотипов сахарной свеклы.

*Работа осуществлена при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства РФ в рамках выполнения поисковых исследований FGNU-2023–0001 «Разработка методики молекулярно-генетической идентификации и паспортизации гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров».*

### Библиографический список

1. Клименко И.А., Козлов Н.Н., Костенко С.И., Шамустакимова А.О., Мавлютов Ю.М. Идентификация и паспортизация сортов кормовых трав (клевера лугового, люцерны изменчивой, посевной и хмелевидной) на основе ДНК-маркеров: Методические рекомендации. – М.: Угреша Т, – 2020. – 35 с.

2. Кляченко О.Л., Присяжнюк Л.М. Изучение аллельного состояния микросателлитных локусов сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) // Живые и биокосные системы. – 2014. – № 8. – URL: <https://jbks.ru/archive/issue-8/article-5>. DOI: 10.18522/2308-9709-2014-8-5.

3. Налбандян А.А., Федулова Т.П., Хуссейн А.С., Черепухина И.В. Дифференциация сортообразцов сахарной свеклы по SSR-маркерам для создания перспективных гибридов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 4. – С. 18–21.

4. Сатина Т.Г., Анискина Ю.В., Карпачев В.В., Шилов И.А., Харченко П.Н. Генетический анализ однородности сортов и гибридов рапса и контроль наследования гибридами генетического материала родительских форм // Доклады РАСХН. – 2010. – № 6. – С. 15–18.

5. Федулова Т.П., Федорин Д.Н. Использование ПЦР-анализа для выявления генетического полиморфизма сортоформ свеклы корнеплодной *Beta Vulgaris* L. // Научные ведомости. Серия «Естественные науки». – 2012. – № 3 (122). – С. 94–99.

6. Федулова Т.П., Федорин Д.Н., Налбандян А.А., Богомолов А.М. Использование ДНК-маркеров в современных программах селекции сахарной свеклы // Сахар. – 2019. – № 5. – С. 50–53.

7. Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – № 50 (5). – С. 571–578.

8. Шалаева Т.В., Анискина Ю.В., Колобова О.С., Велишаева Н.С., Логвинов А.В., Мищенко В.Н., Шилов И.А. Исследование микросателлитных локусов генома сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) для создания технологии генетического анализа линий и гибридов // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – № 58 (3). – С. 483–493.
9. Шилов И.А., Анискина Ю.В., Шалаева Т.В. Создание современных гибридов сахарной свеклы с применением микросателлитного анализа // Сахар. – 2020. – № 8. – С. 32–36.
10. Celik I. Genome-wide Development and Physical Mapping of SSR Markers in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) // Journal of the Institute of Science and Technology. – 2023. – Vol. 13, № 1. – Pp. 112–119.
11. Dohm J.C., Minoche A.E., Holtgrawe D., Capella-Gutierrez S., Zakrzewski F. et al. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*) // Nature. – 2014. – Vol. 505. – Pp. 546–549.
12. Fugate K., Fajardo D., Schlautman B., Ferrareze J.P., Bolton M.D., Campbell L., Wiesman E., Zalapa J. Generation and Characterization of a Sugar Beet Transcriptome and Transcript-Based SSR Markers // The Plant Genome. – 2014. – № 7 (2). – Pp. 1–13.
13. Galewski P., McGrath J.M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population-based whole genome sequences // BMC Genomics. – 2020. – Vol. 21. – Pp. 1–14.
14. Laurent V., Devaux P., Thiel T., Viard F., Mielordt S., Touzet P., Quillet M.C. Comparative effectiveness of sugar beet microsatellite markers isolated from genomic libraries and GenBank ESTs to map the sugar beet genome // Theoretical and Applied Genetics. – 2007. – Vol. 115, № 6. – Pp. 793–805.
15. Liuhuizi D., Zhi P., Zedong W. Construction of SSR Fingerprint and Analysis of Genetic Diversity of Sugar Beet Varieties // J. Crops. – 2021. – Vol. 37, № 5. – Pp. 72–78.
16. McGrath J.M., Trebbi D., Fenwick A., Panella L., Schulz B., Laurent V., Barnes S., Murray S.C. An open-source first-generation molecular genetic map from a sugar beet 1/2 table beet cross and its extension to physical mapping // The Plant Genome. – 2007. – Vol. 1. – Pp. 27–44.
17. Monteiro F., Frese L., Castro S., Duarte M., Paulo O., Loureiro J., Romeiras M. Genetic and Genomic Tools to Assist Sugar Beet Improvement: The Value of the Crop Wild Relatives // Front Plant Sci. – 2018. – Vol. 9, Art. 74. DOI: 10.3389/fpls.2018.00074.
18. Nadeem M., Nawaz M., Shahid M. DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing // Biotechnology & Biotechnological Equipment. – 2018. – Vol. 32, № 2. – Pp. 261–285.
19. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V. Polymorphic Microsatellite Markers to Study Sugar Beet's (*Beta vulgaris* L.) Genetic Diversity // Russian Agricultural Sciences. – 2023. – Vol. 49. – Pp. 1–7.
20. Nei M., Roychoudhury A.K. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance // Genetics. – 1974. – Vol. 76. – Pp. 379–390.
21. Richards Ch., Brownson M., Mitchell Sh., Kresovich S., Panella L. Polymorphic microsatellite markers for inferring diversity in wild and domesticated sugar beet (*Beta vulgaris*) // Molecular Ecology Notes. – 2004. – Vol. 4. – Pp. 243–245.
22. Sandhu Surinder K., Sarao Navraj K., Meenakshi G., Uppal S., Pritpal S., Satveer K., Jaspreet K. Profiling of sugar beet genotypes for agronomical, sugar quality and forage traits and their genetic diversity analysis using SSR markers // Electronic Journal of Plant Breeding. – 2016. – Vol. 7. – Pp. 253–266.

23. Smulders M., Esselink G., Danny G., Riek J., Vosman B. Characterisation of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) varieties using microsatellite markers // BMC Genetics. – 2010. – Vol. 11 (41). DOI: 10.1186/1471-2156-11-41.
24. Spadoni A., Sion S., Gadaleta S., Savoia M., Piarulli L., Fanelli V., Rienzo V., Taranto F., Miazzi M., Montemurro C., Sabetta W. A Simple and Rapid Method for Genomic DNA Extraction and Microsatellite Analysis in Tree Plants // J. Agr. Sci. Tech. – 2019. – Vol. 21, № 5. – Pp. 1215–1226.
25. Srivastava S., Pathak A.D., Kumar R., Joshi B.B. Genetic diversity of sugar beet genotypes evaluated by microsatellite DNA markers // Journal of Environmental Biology. – 2017. – Vol. 38. – Pp. 777–783.
26. Taheri S., Abdullah L., Yusop M., Hanafi M., Sahebi M., Azizi P., Shamshiri R. Mining and Development of Novel SSR Markers Using Next Generation Sequencing (NGS) Data in Plants // Molecules. – 2018. – Vol. 23. – P. 399.
27. Taški-Ajdković K., Nagl N., Zorić M. Estimation of genetic diversity and relationship in sugar beet pollinators based on SSR markers // Electronic Journal of Biotechnology. – 2017. – Vol. 27. – Pp. 1–7.
28. Wang L., Zhang Z., Han P., Liang Y., Zhang H. Association analysis of agronomic traits and construction of genetic networks by resequencing of 306 sugar beet (*Beta vulgaris* L.) lines // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – Pp. 15422.

## MOLECULAR GENETIC IDENTIFICATION AND CERTIFICATION OF SUGAR BEET HYBRIDS USING MICROSATELLITE MARKERS

A.A. NALBANDYAN, T.P. FEDULOVA, I.V. CHEREPUKHINA,  
T.S. RUDENKO, T.N. BAGMUTOVA

(The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy)

*The development of molecular genetic identification and certification of sugar beet hybrids using DNA markers is a current research direction in plant breeding. The subject of the study were plants of promising domestic sugar beet hybrids. The article presents the results of the development of the methodology of molecular genetic identification and certification of sugar beet hybrids using microsatellite markers. Seedlings of eight prospective domestic sugar beet hybrids were used as test material. Target fragments were amplified using locus-specific (microsatellite) primers (Unigene16898, Unigene17623B, Unigene26753, Unigene17923, Unigene27833, FDSB1001, FDSB1033, FDSB502–2, FDSB502–3, SB09, SB04, and SB15) labeled with fluorescent dyes (FAM, R6G, TAM-RA and ROX). The obtained amplicons were identified by the method of high-resolution capillary electrophoresis using the genetic analyzer Nanofor 05 (Synthol, Russia). The results of selection of 12 microsatellite loci suitable for genetic certification of sugar beet hybrids are presented. All primers selected for microsatellite loci of sugar beet genome are characterized by a high level of polymorphism. From the results of fragment analysis, the size of the obtained PCR amplicons in plants of the studied hybrids was determined. On the basis of the obtained molecular data, genetic formulas and passports for identification and certification of plant genotypes were prepared. Based on the calculated genetic distances, a dendrogram of genetic relationships of the studied sugar beet hybrids was constructed. The development of methods for molecular genetic identification and certification of sugar beet hybrids using DNA markers is a current research direction in plant breeding. It is of great practical importance in sugar beet breeding, seed production and state variety testing, both in the development of new hybrids and in their registration.*

**Keywords:** sugar beet, genotyping, microsatellite analysis, genetic passports, fragment analysis.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Agriculture within the framework of the research FGNU-2023–0001 – Development of a Methodology for Molecular Genetic Identification and Certification of Sugar Beet Hybrids Using Microsatellite Markers.

## References

1. Klimenko I.A., Kozlov N.N., Kostenko S.I., Shamustakimova A.O., Mavlyutov Yu.M. Identification and certification of forage grass varieties (meadow clover, variable alfalfa, common alfalfa and hop grass) based on DNA markers: guidelines. Moscow, Russia, 2020:35. (in Russ.)
2. Klyachenko O.L., Prisyazhnyuk L.M. Study of the allelic state of microsatellite loci of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Live and Bio-abiotic Systems*. 2014;8:5. (In Russ.) <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2014-8-5>
3. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Hussein A.S., Cherepukhina I.V. et al. Differentiation of sugar beet cultivars by SSR marker to create promising hybrids. *Rossiiskaiaselskokhoziaistvennaia nauka*. 2020;4:18–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500262720040043>
4. Satina T.G., Aniskina Yu.V., Karpachev V.V., Shilov I.A., Kharchenko P.N. microsatellite analysis of rapeseed varieties and hybrids uniformity and inheritance of parental genetic material in hybrids. *Doklady RASKhN*. 2010;6:15–18. (In Russ.)
5. Fedulova T.P., Fedorin D.N. Using PCR analysis to identify genetic polymorphism of root beet varieties *Beta Vulgaris* L. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*. 2012;3(122):18:94–99. (In Russ.)
6. Fedulova T.P., Fedorin D.N., Nalbandyan A.A., Bogovolov M.A. DNA markers in modern sugar beet breeding programs. *Sakhar*. 2019;5:50–53. (In Russ.)
7. Chesnokov. Yu.V., Artemyeva A.M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Agricultural Biology*. 2015;50(5):571–578. (In Russ.)
8. Shalaeva T.V., Aniskina Yu.V., Kolobova O.S. et al. Investigation of the sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) microsatellite loci structure to develop a technology for genetic analysis of sugar beet lines and hybrids. *Agricultural Biology*. 2023;58(3):483–493. (In Russ.)
9. Shilov I.A., Aniskina Yu.V., Shalaeva T.V. et al. Creation of modern sugar beet hybrids using microsatellite analysis. *Sakhar*. 2020;8:32–36. (In Russ.)
10. Celik I. Genome-wide Development and Physical Mapping of SSR Markers in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2023;13(1):112–119.
11. Dohm J.C., Minoche A.E., Holtgrawe D., Capella-Gutierrez S., Zakrzewski F. et al. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*. 2014;505:546–549.
12. Fugate K., Fajardo D., Schlautman B., Ferrareze J.P. et al. Generation and Characterization of a Sugar Beet Transcriptome and Transcript-Based SSR Markers. *The Plant Genome*. 2014;7(2):1–13.
13. Galewski P., McGrath J.M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population-based whole genome sequences. *BMC Genomics*. 2020;21:1–14.
14. Laurent V., Devaux P., Thiel T., Viard F. et al. Comparative effectiveness of sugar beet microsatellite markers isolated from genomic libraries and GenBank ESTs to map the sugar beet genome. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;115(6):793–805.

15. Liuhuizi D., Zhi P., Zedong W. Construction of SSR Fingerprint and Analysis of Genetic Diversity of Sugar Beet Varieties. *J. Crops*. 2021;37(5):72–78.
16. McGrath J.M., Trebbi D., Fenwick A., Panella L. et al. An open-source first-generation molecular genetic map from a sugar beet ½ table beet cross and its extension to physical mapping. *The Plant Genome*. 2007;1:27–44.
17. Monteiro F., Frese L., Castro S., Duarte M. et al. Genetic and Genomic Tools to Assist Sugar Beet Improvement: The Value of the Crop Wild Relatives. *Front. Plant Sci.* 2018;9(74).
18. Nadeem M., Nawaz M., Shahid M. DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & biotechnological equipment*. 2018;32(2):261–285.
19. Nalbandyan A.A., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V. Polymorphic Microsatellite Markers to Study Sugar Beet's (*Beta vulgaris* L.) Genetic Diversity. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49:1–7.
20. Nei M., Roychoudhury A.K. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance. *Genetics*. 1974;76:379–390.
21. Richards Ch., Brownson M., Mitchell Sh., Kresovich S., Panella L. Polymorphic microsatellite markers for inferring diversity in wild and domesticated sugar beet (*Beta vulgaris*). *Molecular Ecology Notes*. 2004;4:243–245.
22. Sandhu Surinder K., Sarao Navraj K., Meenakhsi G., Uppal S. et al. Profiling of sugar beet genotypes for agronomical, sugar quality and forage traits and their genetic diversity analysis using SSR markers. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2016;7:253–266.
23. Smulders M., Esselink G., Danny G., Riek J., Vosman B. Characterisation of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) varieties using microsatellite markers. *BMC Genetics*. 2010;11(41).
24. Spadoni A., Sion S., Gadaleta S., Savoia M. et al. A Simple and Rapid Method for Genomic DNA Extraction and Microsatellite Analysis in Tree Plants. *J. Agr. Sci. Tech*. 2019;21(5):1215–1226.
25. Srivastava S., Pathak A.D., Kumar R., Joshi B.B. Genetic diversity of sugar beet genotypes evaluated by microsatellite DNA markers. *Journal of Environmental Biology*. 2017;38:777–783.
26. Taheri S., Abdullah L., Yusop M., Hanafi M. et al. Mining and Development of Novel SSR Markers Using Next Generation Sequencing (NGS) Data in Plants. *Molecules*. 2018;23:399.
27. Taški-Ajduković K., Nagl N., Zorić M. Estimation of genetic diversity and relationship in sugar beet pollinators based on SSR markers. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2017;27:1–7.
28. Wang L., Zhang Z., Han P., Liang Y., Zhang H. Association analysis of agronomic traits and construction of genetic networks by resequencing of 306 sugar beet (*Beta vulgaris* L.) lines. *Scientific Reports*. 2023;13:15422.

### Сведения об авторах

**Налбандян Арпине Артаваздовна**, канд. биол. наук, заведующий лабораторией маркер-ориентированной селекции, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, 86; e-mail: arpnal@rambler.ru; тел.: (951) 871–27–60

**Федулова Татьяна Петровна**, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, д. 86; e-mail: biotechnologiya@mail.ru; тел.: (473) 405–33–27

**Черепухина Ирина Вячеславовна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, 86; e-mail: irenius@list.ru; тел.: (473) 405–33–27

**Руденко Татьяна Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, 86; e-mail: ipigun6292@gmail.com; тел.: (473) 405–33–27

**Багмутова Татьяна Николаевна**, младший научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова; 396030, Российская Федерация, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, 86; e-mail: berdnikowa.tat2012@yandex.ru; тел.: (473) 405–33–27

### **Information about the authors**

**Arpine A. Nalbandyan**, CSc (Bio), Head of the Laboratory of Marker Assisted Selection, The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy (86, VNIISS village, Ramonsky district, Voronezh region, 396030, Russia; phone: (951) 871–27–60; e-mail: arpna@rambler.ru)

**Tatyana P. Fedulova**, DSc (Bio), Leading Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy (86, VNIISS village, Ramonsky district, Voronezh region, 396030, Russia; phone: +7 (47340) 5–33–27; e-mail: biotechnologiya@mail.ru)

**Irina V. Cherepukhina**, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy (86, VNIISS village, Ramonsky district, Voronezh region, 396030, Russia; phone: +7 (47340) 5–33–27; e-mail: irenius@list.ru)

**Tatyana S. Rudenko**, Junior Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy (86, VNIISS village, Ramonsky district, Voronezh region, 396030, Russia; phone: +7 (47340) 5–33–27; e-mail: ipigun6292@gmail.com)

**Tatyana N. Bagmutova**, Junior Research Associate at the Laboratory of Marker Assisted Selection, The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet of Russian Agricultural Academy (86, VNIISS village, Ramonsky district, Voronezh region, 396030, Russia; phone: +7 (47340) 5–33–27; e-mail: berdnikowa.tat2012@yandex.ru)

РОЛЬ ЭНТОМОФАГОВ ИЗ ОТРЯДОВ  
ЖЕСТКОКРЫЛЫЕ (*COLEOPTERA*, *COCCINELLIDAE*)  
И ДВУКРЫЛЫЕ (*DIPTERA*, *SYRPHIDAE*) В РЕГУЛЯЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ  
МИМОЗНОЙ ЛИСТОБЛОШКИ *ACIZZIA JAMATONICA* (KIWAYAMA, 1908)  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

В.С. ПЕТРИЦЕВ, И.С. АГАСЬЕВА, М.В. ПЕТРИЦЕВА

(Федеральный научный центр биологической защиты растений)

Альбициевая листоблошка *Acizzia jamatonica* (Kiwayama, 1908) – один из самых опасных вредителей альбиции ленкоранской *Albizia julibrissin* Durazz., 1772. Высокая численность вредителя может привести к дефолиации и гибели растения, а произрастание в лесопарковых зонах делает невозможным применение химического метода для защиты растения от листоблошки. Целью исследований являлось изучение видового состава хищных насекомых, встречающихся в посадках альбиции ленкоранской *Albizia julibrissin* Durazz., 1772, и оценка их регулирующей активности против *Acizzia jamatonica* (Kiwayama, 1908). Работа проводилась в лесопарковых зонах г. Краснодара, посадках учхоза «Кубань» и ФНЦБЗР в 2022 и 2023 гг. (2-я агроклиматическая зона). Для изучения биоразнообразия насекомых в насаждениях альбиции ленкоранской были установлены ловушки Малеза, учет насекомых производили методом кошения в кроне деревьев. В 2022 г. развитие фитофага началось в первой декаде апреля. Первый пик численности наблюдался в начале первой декады мая – 0,72 экз/м<sup>2</sup>. В начале третьей декады июня наблюдался второй пик численности – 0,88 экз/м<sup>2</sup>. Максимальное количество насекомых установлено в конце августа – 1,08 экз/м<sup>2</sup>. В 2023 г. наибольшая плотность популяции *Acizzia jamatonica* (Kiwayama, 1908) отмечена в конце третьей декады сентября – 1,24 экз/м<sup>2</sup>. В результате исследований был установлен видовой состав насекомых энтомофагов, питающихся *Acizzia jamatonica* (Kiwayama, 1908) в посадках альбиции ленкоранской. Среди представителей семейства *Syrphidae* в посадках альбиции выявлены: *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776); *Scaeva pyrastris* (Linnaeus, 1758); *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758); *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794); *Paragus albifrons* (Fallen, 1817); *Platycheirus podagratus* (Zetterstedt, 1838); *Platycheirus peltatus* (Meigen, 1822); *Melanostoma mellinum* (Linnaeus, 1758); *Syrphus ribesii* (Linnaeus, 1758); *Baccha elongate* (Fabricius, 1775); *Volucella zonaria* (Poda, 1761); *Myathropa florea* (Linnaeus, 1758); *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758); *Eristalis arbustorum* (Linnaeus, 1758). Наиболее многочисленными были виды *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758). Доли этих видов составили 33 и 30% от общей численности всей фауны сирфид на исследуемых территориях. Из семейства *Coccinellidae* отмечено 5 видов: *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773); *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758); *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758); *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758); *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777). Наиболее массовой среди кокциnellид была *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773), доля которой составила 60% от всей фауны кокциnellид, второй по численности была *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) – 25%. Установлены экологические связи *Volucella zonaria* (Poda, 1761) и осы *Vespula vulgaris* (Linnaeus, 1758) с альбициевой листоблошкой.

**Ключевые слова:** листоблошка ацизия, *Acizzia jamatonica* (Kiwayama, 1908), альбиция ленкоранская *Albizia julibrissin* Durazz., 1772, сирфиды, кокциnellиды, энтомофаги.

## Введение

Альбиция ленкоранская *Albizia julibrissin* Durazz., 1772 – декоративное древесное растение, часто применяемое для озеленения городов на юге Европейской части России. Естественный ареал альбиции включает в себя переднюю, восточную и юго-восточную Азию, а также Индийский субконтинент. Выращивается как декоративное растение во многих странах: Азербайджане, Иране, Турции, Узбекистане, Китае, Японии, Тайване, Бутане, Индии, Непале, Кашмире, Мьянме, США, Аргентине, Бразилии. Выращивается также в Крыму (города Ялта, Симферополь, Севастополь и др.), на Черноморском побережье Кавказа. Особенно многочисленна в Керчи, где часто выращивается на аллеях и во многих скверах города. Дикорастущая альбиция известна в Азербайджане, в нижнем поясе Тальшских гор (до 200 м над уровнем моря) [1, 2]. *Albizia julibrissin* Durazz., 1772 во многих странах Азии используется в медицине: сапонины альбиции способны усиливать иммунный ответ [3–5]. Экстракт альбиции ленкоранской обладает антидепрессивным эффектом [6–8]. Рассматривается применение соединений ленкоранской альбиции для лечения бессонницы, тревоги, депрессии, спутанности сознания, тошноты и симптомов рвоты, для восстановления после ожогов [9–11]. Также *Albizia julibrissin* Durazz., 1772 является подходящим деревом-первопроходцем для проектов по рекультивации как растение, эффективно улучшающее среду ризосферы засоленных почв за счет снижения засоленности и накопления углерода [12].

Основным вредителем альбиции ленкоранской выступает представитель семейства Psyllidae – мимозная листоблошка, или ациззия мимозовая [1] *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908), отряд Hemiptera, семейство Psyllidae (надсемейство Psylloidea). Также известные как листоблошки, они представляют собой группу полужесткокрылых, сосущих растительный сок и имеющих статус серьезных вредителей сельскохозяйственных культур, лесных деревьев и декоративных растений [13, 14]. Часто демонстрируют строгие видоспецифичные отношения с растениями-хозяевами, моно- и олигофагию, однако мимозная листоблошка питается только на альбиции ленкоранской [1, 15].

В августе 2011 г. сотрудниками Крымского агротехнологического университета и Таврического национального университета им. В.И. Вернадского *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) была впервые обнаружена в Крыму [1]. В 2014 г. ее впервые в ходе фитосанитарного мониторинга декоративных насаждений зарегистрировали в г. Сочи. Естественным ареалом фитофага является Япония. С 1980-х гг. *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) стала встречаться за пределами своего естественного ареала. В 1983 г. вредитель отмечен в Южной Корее, в 1984 г. – в Тайване, в 1992 г. – в Китае [1]. В Европу (Италию) вид был завезен в 2001 г. и в настоящее время отмечен в Великобритании, Италии, Испании, Франции (включая Корсику), Швейцарии, Греции, Словении, Хорватии, Сербии, Словакии, Болгарии, Венгрии [1]. В 2006 г. фитофаг был обнаружен в США и за 2007–2008 гг. колонизировал там площадь 765 × 580 км [16, 17].

Личинки и имаго *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) питаются клеточным соком альбиции ленкоранской, повреждают листья, цветы и молодые бобы. Питание большого числа листоблошки может вызвать преждевременную дефолиацию дерева и дальнейшую его гибель. Возможным методом осуществления контроля за вредителем является применение его естественных врагов, например, наводняющих выпусков энтомофагов. Для альбициевой листоблошки установлены некоторые насекомые-энтомофаги [18]. Это кокцинеллиды (Coleoptera, Coccinellidae), хищные клопы-антокориды (Hemiptera, Anthocoridae), мухи-сирфиды (Diptera, Syrphidae). В Европе хищные насекомые, нападающие на *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908), установлены и изучены в аспекте их возможного разведения и применения в качестве агентов биологической борьбы, однако пока не используются [1].

В Болгарии выявлено 13 видов насекомых, которые питаются яйцами и личинками *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) [1]. Из них наиболее значимыми являются божьи коровки. В Крыму в колониях вредителя на альбиции были обнаружены семиточечная (*Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758)) и двухточечная (*Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758)) коровки, личинки сирфид (Syrphidae). На Черноморском побережье Краснодарского края на пораженных деревьях найдены кокцинеллиды *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758), *Chilocorus nigritus* (Fabricius, 1798), *Novius cardinalis* (Mulsant, 1850), *Stethorus punctillum* (Weise, 1891) и хищные клопы сем. Anthocoridae [1].

В целом изучение фауны хищных насекомых, подавляющих численность альбициевой листоблошки, требует дальнейших исследований. Комплекс видов мух-сирфид, встречающихся в посадках альбиции ленкоранской, насколько известно авторам, ранее не идентифицировался, данные о соотношении численности насекомых энтомофагов не приводились.

**Цель исследований:** изучение видового состава хищных насекомых, встречающихся в посадках альбиции ленкоранской, и оценка их регулирующей активности против альбициевой листоблошки *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908).

### Материал и методы исследований

Работа проводилась в лесопарковых зонах г. Краснодара, посадках учхоза «Кубань» и ФНЦБЗР (входят в третью агроклиматическую зону) в 2022 и 2023 гг.

Исследования проводились в Центральной зоне Краснодарского края. Для данной территории характерно неустойчивое увлажнение, максимальное количество осадков регистрируется в весенне-летний период. Климат – умеренно-континентальный. Среднее количество осадков в период наблюдений 2022 г. варьировало от 4,0 до 96,5 мм и от 2,0 до 64,5 в 2023 г. Средняя температура воздуха в 2023 г. в течение всего периода наблюдений была выше, чем в 2022 г., также 2023 г. являлся более засушливым. Метеоданные за период исследований представлены в таблице 1.

Учет насекомых производили методом кошени в кроне деревьев. На каждом из трех участков по 50 м<sup>2</sup> брали по 4 пробы (по 25 взмахов сачком в каждом), то есть всего по 100 взмахов сачком. Учеты производили в теплую погоду около 9–11 часов утра, когда насекомые активны и наиболее полно выявляются. Для перерасчета численности насекомых на 1 м<sup>2</sup> использовали формулу М.С. Гилярова [19]:

$$X = W / (2r \ln),$$

где X – количество насекомых на 1 м<sup>2</sup>; W – число насекомых, собранных кошением; r – радиус сачка (30 см); l – средняя длина пути обруча сачка при каждом взмахе (1,5 м); n – число взмахов.

Для изучения биоразнообразия насекомых в насаждениях альбиции ленкоранской *Albizia julibrissin* Durazz., 1772 с начала апреля по октябрь были установлены 2 ловушки Малеза (в учхозе «Кубань» и ФНЦБЗР). Обновление резервуара с фиксирующей жидкостью производили раз в 7 дней, полученный материал разбирали и идентифицировали до вида. Биоматериалы хранили в пробирках, наполненных 70%-ным этиловым спиртом. При идентификации материала использовались определительные таблицы, приведенные в определителях [20–22]. Всех насекомых определяли лично авторы.

Для фотоснимков насекомых применялись тринокулярный оптический микроскоп Crystallite ST-7045 с дисплеем, зеркальная камера Canon EOS2000D Kit 18–55mm DC.

Статистическую обработку результатов проводили по общепринятой методике [23]. Для расчета доверительных интервалов и построения графиков использовалась программа Microsoft Office Excel 2016.

**Метеоданные Центральной зоны Краснодарского края  
в период проведения исследований**

Год	Месяцы и декады											
	Май			Июнь			Июль			Август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура воздуха, °С												
Среднегодовья	15,0	16,8	18,2	19,5	20,5	21,4	22,4	23,2	23,7	23,6	22,6	21,6
2022 г.	14,3	15,0	16,8	12,6	15,7	18,8	24,4	23,8	22,1	30,2	37,6	24,1
2023 г.	14,0	17,2	22,3	25,0	26,6	27,7	30,2	29,0	33,2	35,0	35,9	33,1
Количество осадков, мм												
Среднегодовья	18	19	20	22	23	22	21	20	19	17	16	15
2022 г.	7,6	13,0	4,0	22,5	11,0	9,5	9,5	-	96,5	12,0	-	44,0
2023 г.	52,0	2,0	45,1	64,5	36,0	30,0	30,0	25,0	-	2,0	-	-
Относительная влажность воздуха, %												
Среднегодовья	61	72	68	66	61	73	64	50	60	63	63	65
2022 г.	58	64	50	78	65	68	64	60	73	49	28	71
2023 г.	78	63	75	66	64	61	47	46	41	36	33	26

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлен график изменения численности *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) в посадках альбиции ленкоранской. Согласно нашим наблюдениям на альбиции в колониях мимозной листоблошки одновременно присутствовали имаго и личинки фитофага, что подтверждается исследованиями Н.М. Стрюковой: «Контроль за сезонной динамикой численности этого фитофага усложнен ввиду наслаивающихся друг на друга поколений» [18].

В 2022 г. развитие фитофага началось в первой декаде апреля. В начале первой декады мая численность мимозной листоблошки составляла 0,72 экз/м<sup>2</sup>, в начале третьей декады – 0,88 экз/м<sup>2</sup>. Максимальное количество насекомых отмечено в конце августа – 1,08 экз/м<sup>2</sup>. Затем наблюдалось постепенное снижение количества листоблошки – 0,52 экз/м<sup>2</sup>.

В 2023 г. наибольшая плотность популяции *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) наблюдалась к концу сентября, что связано с более высокой температурой относительно осени 2022 г. Максимальное количество листоблошки отмечено в конце третьей декады сентября (1,24 экз/м<sup>2</sup>). В целом график развития *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) в 2023 г. отличается менее интенсивным увеличением численности листоблошки и смещением активности на более поздние периоды, что связано с холодным началом весны и засушливым летом.

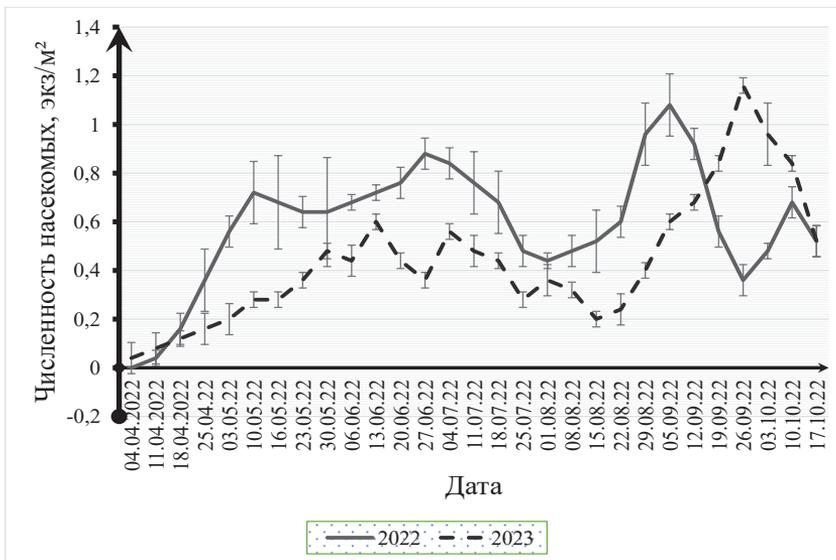
В результате исследований был получен следующий таксономический состав семейства Syrphidae (рис. 2) для насаждений альбиции ленкоранской: *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776); *Scaeva pyrastris* (Linnaeus, 1758); *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758); *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794); *Paragus albifrons* (Fallen, 1817);

*Platycheirus podagratus* (Zetterstedt, 1838); *Platycheirus peltatus* (Meigen, 1822); *Melanostoma mellinum* (Linnaeus, 1758); *Syrphus ribesii* (Linnaeus, 1758); *Baccha elongate* (Fabricius, 1775); *Volucella zonaria* (Poda, 1761); *Myathropa florea* (Linnaeus, 1758); *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758); *Eristalis arbustorum* (Linnaeus, 1758).

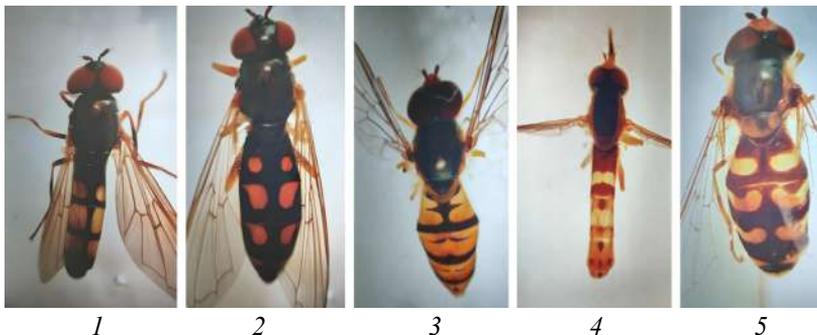
В период исследований неоднократно наблюдалось, как личинки сирфид питались имаго и личинками листоблошки (рис. 3). Сведения о питании листоблошкой сирфидами также приводятся в ряде научных работ [1, 18]. Из представленных видов только *Myathropa florea* (Linnaeus, 1758), *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758), *Eristalis arbustorum* (Linnaeus, 1758), *Volucella zonaria* (Poda, 1761) не питаются листоблошкой на стадии личинки.

Процентное соотношение численности видов журчалок, встречающихся на альбиции, представлено на рисунке 5.

Особо стоит отметить наличие вида *Volucella zonaria* (Poda, 1761). Личинки сирфид рода *Volucella* живут в ульях шмелей и социальных ос, питаются их личинками. Осы *Vespula vulgaris* (Linnaeus, 1758) также массово встречались на альбиции. *Vespula vulgaris* (Linnaeus, 1758) потребляли сладкие выделения альбициевой листоблошки (падь, или «медвяную росу») (рис. 4).



**Рис. 1.** Динамика численности имаго и личинок *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) в посадках альбиции ленкоранской в условиях Центральной зоны Краснодарского края



**Рис. 2.** Мухи-журчалки, отловленные в посадках альбиции (ориг.):  
 1 – *Platycheirus peltatus* (Meigen, 1822); 2 – *Melanostoma mellinum* (Linnaeus, 1758);  
 3 – *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776); 4 – *Sp. scripta*; 5 – *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794)

Из семейства Syrphidae наиболее массовыми оказались 2 вида: *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) и *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758). Имаго встречались на цветах альбиции ленкоранской, личинки отмечались на листьях альбиции поедающими листовую блошку. Эти 2 вида потенциально могут быть использованы для контроля *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) в посадках альбиции ленкоранской.

Питание листовых блошек было зарегистрировано среди других хищных насекомых 5 видами жуков-кокциnellид (рис. 6): *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773); *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758); *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758); *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758); *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777). При этом для семейства Coccinellidae на альбиции ленкоранской были отмечены яйцекладки жуков-кокциnellид, личинки всех возрастов, куколки и имаго. Эти данные означают, что питание альбициевой листовых блошек способно обеспечить полное развитие и для представленных 5 видов жуков-энтомофагов.

Для насаждений альбиции ленкоранской было получено соотношение численности этих видов, представленное на рисунке 7.

Как следует из данных рисунка 7, доминирующими видами кокциnellид в посадках альбиции ленкоранской в период наблюдений 2022 и 2023 гг. были *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773), *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) и *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758). Также стоит отметить, что в 2022 г. абсолютная численность практически всех видов была выше, чем в 2023 г. и это, вероятнее всего, связано с более высокой численностью кормовой базы.

Видовой состав насекомых, обнаруженных на альбиции ленкоранской Центральной зоны Краснодарского края, приведен в таблице 2.



Рис. 3. *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) на растениях альбиции (ориг.)



Рис. 4. *Volucella zonaria* (Poda, 1761) и осы *Vespula vulgaris* (Linnaeus, 1758) в насаждениях альбиции (ориг.)

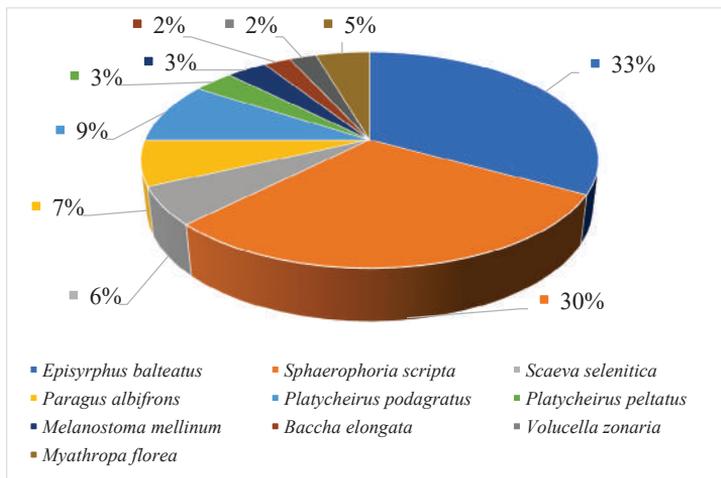


Рис. 5. Соотношение количества видов журчалок-энтомофагов *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908)



Рис. 6. Представители семейства *Coccinellidae* в насаждениях альбиции (ориг.)

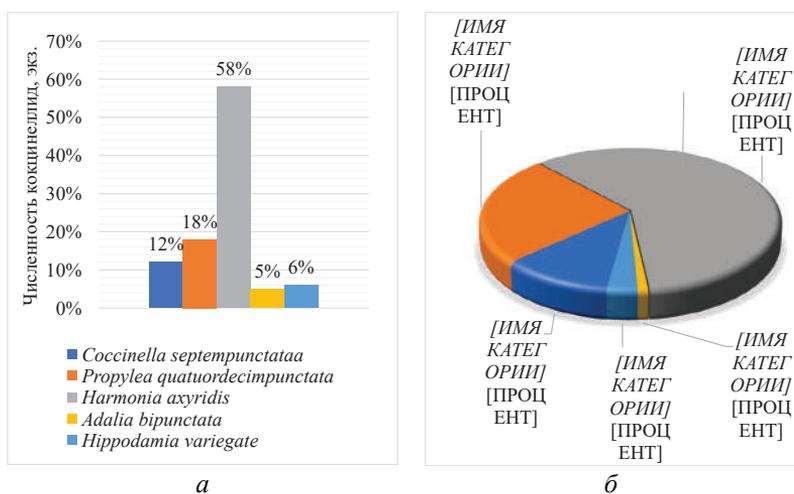


Рис. 7. Соотношение различных видов кокциnellид в посадках альбиции ленкоранской в 2022 (а) и 2023 (б) гг.

Таблица 2

**Видовой состав насекомых, собранных на *Albizia julibrissin* Durazz., 1772**

№ п/п	Название видов, относящихся к отрядам и семействам	Пищевая специализация	Встречаемость
Отряд Полужесткокрылые (Hemiptera) Настоящие листоблошки (Psyllidae)			
1	<i>Acizzia jamatonica</i> (Kuwayama, 1908) (акациевая или мимозная листоблошка)	Ф*	+++**
Отряд Жесткокрылые (Coleoptera) Семейство Божьи коровки (Coccinellidae)			
2	<i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus, 1758) (Двухточечная коровка)	Х	+++
3	<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758) (Семиточечная коровка)	Х	+++
4	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773) (Хармония изменчивая, или божья коровка-арлекин)	Х	+++
5	<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze, 1777) (Изменчивая коровка)	Х	+++
6	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758) (Четырнадцатиточечная коровка)	Х	+++
Отряд Двукрылые (Diptera) Семейство Журчалки (Syrphidae)			
7	<i>Baccha elongate</i> (Fabricius, 1775) (Журчалка продолговатая)	Х	++
8	<i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776) (Мармеладная муха)	Х	+++
9	<i>Eristalis arbustorum</i> (Linnaeus, 1758) (Лесная пчеловидка)	С	+
10	<i>Eristalis tenax</i> (Linnaeus, 1758) (Пчеловидка обыкновенная)	С	+
11	<i>Eupeodes corollae</i> (Fabricius, 1794)	Х	+
12	<i>Melanostoma mellinum</i> (Linnaeus, 1758)	Х	++
13	<i>Myathropa florea</i> (Linnaeus, 1758) (Журчалка цветочная)	Ф	+
14	<i>Paragus albifrons</i> (Fallen, 1817)	Х	++
15	<i>Platycheirus peltatus</i> (Meigen, 1822)	Х	++
16	<i>Platycheirus podagratus</i> (Zetterstedt, 1838)	Х	++
17	<i>Scaeva pyrastris</i> (Linnaeus, 1758)	Х	++
18	<i>Sphaerophoria scripta</i> (Linnaeus, 1758) (Шароноска украшенная)	Х	+++
19	<i>Syrphus ribesii</i> (Linnaeus, 1758) (Перевязанный сирф)	Х	++
20	<i>Volucella zonaria</i> (Poda, 1761)	П	+
Отряд Перепончатокрылые (Hymenoptera) Семейство Настоящие осы (Vespidae)			
21	<i>Vespula vulgaris</i> (Linnaeus, 1758) (Оса обыкновенная)	Х	++

**Примечание:** \* Х – хищник; Ф – фитофаг; П – паразит; С – сапрофаг. \*\* + – редко; ++ – периодически; +++ – часто.

Всего за 2022 и 2023 гг. исследований был обнаружен 21 вид насекомых, среди представителей которых 15 видов – энтомофаги, 2 вида – фитофаги, 2 вида – сапрофаги, 1 вид – паразит.

### Выводы

В результате исследований был установлен видовой состав насекомых энтомофагов, питающихся *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908). Среди представителей семейства Syrphidae в Центральной зоне Краснодарского края отмечено 14 видов, из которых 10 видов питаются листоблошкой. Наиболее многочисленными были *Epi-syrphus balteatus* (De Geer, 1776) (33%), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758) (30%).

Из семейства Coccinellidae отмечено 5 видов: *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773); *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758); *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758); *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758); *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777). Наиболее массовой среди кокциnellид была *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773), (60% от всей фауны кокциnellид), вторая по численности – *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) (25%).

Доминантные виды энтомофагов альбициевой листоблошки могут быть использованы для контроля численности вредителя.

Были установлены экологические связи *Volucella zonaria* (Poda, 1761) и осы *Vespula vulgaris* (Linnaeus, 1758) с альбициевой листоблошкой.

Для территорий РФ *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) является инвазивным видом, поэтому необходимо продолжать изучение и отслеживать, какие экологические и трофические связи приобретает фитофаг в новом ареале.

*Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FG RN-2022–0003.*

### Библиографический список

1. Блюммер А.Г. Листоблошка *Acizzia jamatonica* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae: acizzinae) – опасный вредитель альбиции из Восточной Азии, интродуцированный в Крым и Краснодарский край // Карантин растений. Наука и практика. – 2016. – № 4 (18). – С. 6–10.
2. Ибрагимов А.Ш., Набиева Ф.Х., Пириев М.З. *Albizia julibrissin* Durazz – новый вид флоры Нахчыванской автономной республики Азербайджана // Научно-исследовательские публикации. – 2015. – № 3 (23). – С. 19–26.
3. Liu G., Yang M., Yang X., Ma X., Fu J. Five TPSs are responsible for volatile terpenoid biosynthesis in *Albizia julibrissin* // Journal of Plant Physiology. – 2021. – Vol. 258–259. – P. 153358. DOI: 10.1016/j.jplph.2020.
4. Du J., Sun H. Co-expression network analysis identifies innate immune signatures for *Albizia julibrissin* saponin active fraction-adjuvanted avian influenza vaccine // International Immunopharmacology. – 2021. – Vol. 93. – P. 107417. DOI: 10.1016/j.intimp.2021.107417.
5. Du J., Meng X., Ni T., Xiong B., Han Z., Zhu Y., Tu J., Sun H. Mechanism of Innate Immune Response Induced by *Albizia julibrissin* Saponin Active Fraction Using C2C12 Myoblasts // Vaccines (Basel). – 2023. – Vol. 10, № 1 (10). – P. 1576. DOI: 10.3390/vaccines11101576.
6. Sun H., Fei L., Zhu B., Shi M. Quick and improved immune responses to inactivated H9N2 avian influenza vaccine by purified active fraction of *Albizia*

- julibrissin saponins // BMC Vet Res. – 2020. – Vol. 7, № 16 (1). – P. 427. DOI: 10.1186/s12917-020-02648-1.
7. Huang B., Wu Y., Li C., Tang Q., Zhang Y. Molecular basis and mechanism of action of Albizia julibrissin in depression treatment and clinical application of its formulae // Chinese Herbal Medicines. – 2023. – Vol. 15, № 15(2). – Pp. 201–213. DOI: 10.1016/j.chmed.2022.10.004.
8. Huang B., Liu H., Wu Y., Li C., Tang Q., Zhang Y.W. Two Lignan Glycosides from Albizia julibrissin Durazz. Noncompetitively Inhibit Serotonin Transporter // Pharmaceuticals (Basel). – 2022. – Vol. 11, № 15 (3). – P. 344. DOI: 10.3390/ph15030344.
9. Ebrahimzadeh M.A., Fathi H., Ziar A., Mohammadi H. Attenuation of brain mitochondria oxidative damage by Albizia julibrissin Durazz: neuroprotective and antiemetic effects // Drug and Chemical Toxicology. – 2019. – Vol. 42 (2). – Pp. 122–129. DOI: 10.1080/01480545.2017.1413106.
10. Skowrońska W., Bazylko A. The Potential of Medicinal Plants and Natural Products in the Treatment of Burns and Sunburn—A Review // Pharmaceutics. – 2023. – Vol. 13, № 15 (2). – P. 633. DOI: 10.3390/pharmaceutics15020633.
11. Lu P., Zhang C., Zheng J., Li C., Zhang Q., Huang B. A comparison review of Hehuan flowers and Hehuan bark on the traditional applications, phytochemistry and pharmacological effects // Journal of Ethnopharmacology. – 2023. – Vol. 1, № 303. – P. 116002. DOI: 10.1016/j.jep.2022.116002.
12. Liu X., Lu X., Zhao W., Yang S., Wang J., Xia H., Wei X., Zhang J., Chen L., Chen Q. The rhizosphere effect of native legume Albizzia julibrissin on coastal saline soil nutrient availability, microbial modulation, and aggregate formation // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 1, № 806(Pt2). – P. 150705. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150705.
13. Rapisarda C., Weigand A.M., Braun P., Eickermann M. First systematic inventory of the jumping plant lice of Luxembourg (Hemiptera, Sternorrhyncha, Psylloidea) // Biodivers Data Journal. – 2022. – Vol. 4, № 10. – P. e77571. DOI: 10.3897/BDJ.10.e77571.
14. Zogli P., Pingault L., Grover S., Louis J. Ento(o)mics: the intersection of ‘omic’ approaches to decipher plant defense against sap-sucking insect pests // Current Opinion in Plant Biology. – 2020. – Vol. 56. – Pp. 153–161. DOI: 10.1016/j.pbi.2020.06.002.
15. Martoni F., Blacket M.J. Description of an Australian endemic species of Trioza (Hemiptera: Triozidae) pest of the endemic teatree, Melaleuca alternifolia (Myrtaceae) // PLoS One. – 2021. – Vol. 22, № 16 (9). – P. e0257031. DOI: 10.1371/journal.pone.0257031.
16. Абдрахманова А.С., Есипенко Л.П., Балахнина И.В., Собина А.Ю. Фаунистический состав массовых дендрофильных насекомых города Краснодара и его окрестностей // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 11. – С. 42–46. DOI: 10.53859/02352451\_2021\_35\_11\_42.
17. Карпун Н.Н. Особенности формирования фауны дендрофильных инвазионных вредителей во влажных субтропиках России в начале XXI века // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – № 228. – С. 104–119. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228.104-119.
18. Стрюкова Н.М. Аборигенные и инвазивные членистоногие и их естественные враги в парках Республики Крым // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2016. – № 142. – С. 186–193.
19. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Экологические основы интегрированной защиты растений. – М.: Колос, 2007. – 568.
20. Беньковский А.О. Определитель божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) Европейской части России и Северного Кавказа: справочное издание. – Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2020. – 140 с.
21. Нарчук Э.П. Определитель семейств двукрылых насекомых (Insecta: Diptera) фауны России и сопредельных стран (с кратким обзором семейств мировой

фауны справочное издание. – СПб.: Труды Зоологического института РАН, 2003. – Т. 294. – 250 с.

22. Rego C., Smit J., Aguiar A.F., Cravo D., Penado A., Boieiro M. A pictorial key for identification of the hoverflies (Diptera: Syrphidae) of the Madeira Archipelago // Biodivers Data Journal. – 2022. – Vol. 21, № 10. – P. e78518. DOI: 10.3897/BDJ.10.e78518.

23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). – М.: Агропромиздат, 2013. – 350 с.

ROLE OF ENTOMOPHAGES OF THE CLASSES *COLEOPTERA*,  
*COCCINELLIDAE*, *DIPTERA* AND *SYRPHIDAE* IN THE POPULATION  
REGULATION OF *ACIZZIA JAMATONICA* (KUWAYAMA, 1908)  
IN THE CENTRAL ZONE OF KRASNODAR KRAI

V.S. PETRISHCHEV, I.S. AGASIEVA, M.V. PETRISHCHEVA

(Federal Scientific Center for Biological Plant Protection)

*Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) is one of the most dangerous pests of *Albizia julibrissin* Durazz., 1772. A high pest population can lead to defoliation and death of the plant, and growing in forested areas makes it impossible to use chemical methods to protect the plant from *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908). The aim of this work was to study the species composition of predatory insects occurring in plantings of *Albizia julibrissin* Durazz., 1772 and to evaluate their regulatory activity against *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908). The work was carried out in the forest and park areas of Krasnodar; plantings of the farm “Kuban” and FRCBPP in 2022 and 2023 (2nd agroclimatic zone). To study insect biodiversity in the plantations of *Albizia julibrissin* Durazz., 1772, Malesa traps were installed, and insects were counted by mowing in the crown of trees. In 2022, the phytophagous development began in the first decade of April. The first peak of abundance was observed at the beginning of the first decade of May – 0.72 ex/m<sup>2</sup>. The second peak of abundance was observed at the beginning of the third decade of June – 0.88 ex/m<sup>2</sup>. The maximum number of insects was found at the end of August – 1.08 ex/m<sup>2</sup>. In 2023, the highest population density of *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) was observed at the end of the third decade of September – 1.24 ex/m<sup>2</sup>. As a result of the study, the species composition of entomophagous insects feeding on *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) in *Albizia julibrissin* Durazz., 1772 plantings was determined. Among the family Syrphidae the following were found in *Albizia* plantings: *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), *Scaeva pyrastris* (Linnaeus, 1758), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758), *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794), *Paragus albifrons* (Fallen, 1817), *Platycheirus podagratus* (Zetterstedt, 1838), *Platycheirus peltatus* (Meigen, 1822), *Melanostoma mellinum* (Linnaeus, 1758), *Syrphus ribesii* (Linnaeus, 1758), *Baccha elongate* (Fabricius, 1775), *Volucella zonaria* (Poda, 1761), *Myathropa florea* (Linnaeus, 1758), *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758), *Eristalis arbustorum* (Linnaeus, 1758). The most common species were: *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758). These species represented 33% and 30% of the total number of syrphids in the study areas. Five species of the family Coccinellidae were recorded: *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773), *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758), *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758), *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758), *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777). The most abundant coccinellid was *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773), its share was 60% of the total coccinellid fauna, the second most abundant was *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) – 25%. Ecological relationships were established between *Volucella zonaria* (Poda, 1761) and the wasp *Vespa vulgaris* (Linnaeus, 1758) with *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908).

**Keywords:** *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908), *Albizia julibrissin* Durazz., 1772, Syrphids, Coccinellids, entomophages.

## References

1. Blyummer A.G. *Acizzia jamatonica* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae: Acizzinae), a dangerous pest of *Albizia* from the Eastern Asia, introduced into the Crimea and Krasnodar Krai. *Karantin rasteniy. Nauka i praktika*. 2016;4(18):6–10. (In Russ.)
2. Ibragimov A.Sh., Nabieva F.H., Piriev M.Z. *Albizzia julibrissin* Durazz – a new species of flora of Nakhchivan Autonomous Republic of Azerbaijan. *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii*. 2015;3(23):19–26. (In Russ.)
3. Liu G., Yang M., Yang X., Ma X., Fu J. Five TPSs are responsible for volatile terpenoid biosynthesis in *Albizia julibrissin*. *J Plant Physiol*. 2021;258–259:153358. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020>
4. Du J., Sun H. Co-expression network analysis identifies innate immune signatures for *Albizia julibrissin* saponin active fraction-adjuvanted avian influenza vaccine. *Int. Immunopharmacol*. 2021;93:107417. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107417>
5. Du J., Meng X., Ni T., Xiong B. et al. Mechanism of Innate Immune Response Induced by *Albizia julibrissin* Saponin Active Fraction Using C2C12 Myoblasts. *Vaccines (Basel)*. 2023;10.11(10):1576. <https://doi.org/10.3390/vaccines11101576>
6. Sun H., Fei L., Zhu B., Shi M. Quick and improved immune responses to inactivated H9N2 avian influenza vaccine by purified active fraction of *Albizia julibrissin* saponins. *BMC Vet. Res*. 2020;7.16(1):427. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02648-1>
7. Huang B., Wu Y., Li C., Tang Q., Zhang Y. Molecular basis and mechanism of action of *Albizia julibrissin* in depression treatment and clinical application of its formulae. *Chin. Herb. Med*. 2023;15.15(2):201–213. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2022.10.004>
8. Huang B., Liu H., Wu Y., Li C., Tang Q., Zhang Y.W. Two Lignan Glycosides from *Albizia julibrissin* Durazz. Noncompetitively Inhibit Serotonin Transporter. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2022;11.15(3):344. <https://doi.org/10.3390/ph15030344>
9. Ebrahimzadeh M.A., Fathi H., Ziar A., Mohammadi H. Attenuation of brain mitochondria oxidative damage by *Albizia julibrissin* Durazz: neuroprotective and antiemetic effects. *Drug Chem. Toxicol*. 2019;42(2):122–129. <https://doi.org/10.1080/01480545.2017.1413106>
10. Skowrońska W., Bazyłko A. The Potential of Medicinal Plants and Natural Products in the Treatment of Burns and Sunburn – A Review. *Pharmaceutics*. 2023;13.15(2):633. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020633>
11. Lu P., Zhang C., Zheng J., Li C. et al. A comparison review of Hehuan flowers and Hehuan bark on the traditional applications, phytochemistry and pharmacological effects. *J. Ethnopharmacol*. 2023;1.303:116002. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.116002>
12. Liu X., Lu X., Zhao W., Yang S. et al. The rhizosphere effect of native legume *Albizzia julibrissin* on coastal saline soil nutrient availability, microbial modulation, and aggregate formation. *Sci. Total Environ*. 2022;1.806(Pt2):150705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150705>
13. Rapisarda C., Weigand A.M., Braun P., Eickermann M. First systematic inventory of the jumping plant lice of Luxembourg (Hemiptera, Sternorrhyncha, Psylloidea). *Biodivers Data J*. 2022;4.10: e77571. <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e77571>
14. Zogli P., Pingault L., Grover S., Louis J. Ento(o)mics: the intersection of 'omic' approaches to decipher plant defense against sap-sucking insect pests. *Curr. Opin. Plant Biol*. 2020;56:153–161. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.06.002>
15. Martoni F., Blacket M.J. Description of an Australian endemic species of Trioza (Hemiptera: Triozidae) pest of the endemic tea tree, *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae). *PLoS One*. 2021;22.16(9): e0257031. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257031>
16. Abdrakhmanova A.S., Esipenko L.P., Balakhnina I.V., Sobina A.Yu. Faunistic composition of mass dendrophilous insects of the city of Krasnodar and its suburbs.

*Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2021;35(11):42–46. (In Russ.) [https://doi.org/10.53859/02352451\\_2021\\_35\\_11\\_42](https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_11_42)

17. Karpun N.N. Features of formation of dendrofaunous invasive pest fauna in the humid subtropics of Russia at the beginning of the XXI century. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2019;228:104–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.104-119>

18. Stryukova N.M. Aboriginal and invasive arthropoda and their natural enemies in parks of Republic of the Crimea. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. 2016;142:186–193. (In Russ.)

19. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya. *Ecological foundations of integrated plant protection*. Moscow, Russia: Kolos, 2007:568. (In Russ.)

20. Ben'kovskiy A.O. *Key to ladybugs (Coleoptera, Coccinellidae) of the principle part of Russia and the North Caucasus*. Livny, Russia: Izdatel' Mukhametov G.V., 2020:140. (In Russ.)

21. Narchuk E.P. *Key to families of diptera (Insecta) of the fauna of Russia and adjacent countries (with a brief overview of the families of the world fauna)*. St. Petersburg, Russia: Trudy Zoologicheskogo instituta RAN, 2003;294:250 (In Russ.)

22. Rego C., Smit J., Aguiar A.F., Cravo D. et al. A pictorial key for identification of the hoverflies (Diptera: Syrphidae) of the Madeira Archipelago. *Biodivers Data J*. 2022;21.10: e78518. <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e78518>

23. Dospheov B.A. *Methodology of the Polish experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow, Russia: Agropromizdat, 2013:350. (In Russ.)

### Сведения об авторах

**Петрищев Виктор Сергеевич**, младший научный сотрудник, аспирант, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Российская Федерация, г. Краснодар, п/о 39, ФГБНУ ФНЦБЗР; e-mail: viktor.sergeevich\_1998@mail.ru; тел.: (900) 246–86–78

**Агасьева Ирина Сергеевна**, ведущий научный сотрудник, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Российская Федерация, г. Краснодар, п/о 39, ФГБНУ ФНЦБЗР; e-mail: agasieva5@yandex.ru; тел.: (918) 172–34–68

**Петрищева Мария Владимировна**, старший научный сотрудник, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Российская Федерация, г. Краснодар, п/о 39, ФГБНУ ФНЦБЗР; e-mail: dollkasneba@yandex.ru; тел.: (918) 299–28–93

### Information about the authors

**Viktor S. Petrishchev**, Junior Research Associate, postgraduate student, Federal Research Centre of Biological Plant Protection (p/o 39, Krasnodar, 350039, Russian Federation; phone: (900) 246–86–78; e-mail: viktor.sergeevich\_1998@mail.ru)

**Irina S. Agasyeva**, Leading Research Associate, CSc (Bio), Federal Research Centre of Biological Plant Protection (p/o 39, Krasnodar, 350039, Russian Federation; phone: (918) 172–34–68; e-mail: agasieva5@yandex.ru)

**Maria V. Petrishcheva**, Senior Research Associate, CSc (Bio), Federal Research Centre of Biological Plant Protection (p/o 39, Krasnodar, 350039, Russian Federation; phone: (918) 299–28–93; e-mail: dollkasneba@yandex.ru)

## ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВЫХ ОБРАБОТОК ОРГАНИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ НА КАЧЕСТВО И УРОЖАЙНОСТЬ ПРОДУКЦИИ ТОМАТА

В.И. ТЕРЕХОВА, М.Е. ДЫЙКАНОВА, М.В. ВОРОБЬЕВ, М.А. БОЧАРОВА

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

*В современном овощеводстве большое внимание уделено охране окружающей среды, особенно контролю водного режима, качеству и количеству применяемых удобрений. Применение препаратов, разрешенных в органическом овощеводстве, способствует снижению пестицидной нагрузки и обогащению овощной продукции биоэлементами. Исследования проводили на территории УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна в весенней пленочной теплице. Цель исследований – изучение влияния некорневых обработок препаратами, перспективными для органического земледелия, на урожайность, биохимический и элементный состав плодов томата. Объектами исследований являлись 3 гибрида томата и органические препараты Ростовит, Аминозол. При проведении исследований пользовались стандартными методиками и ГОСТами. Качество продукции определяли в ЦКП РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и ФГБНУ ФНЦО. В результате исследований установлена положительная реакция томата на препараты, разрешенные в органическом овощеводстве и содержащие в составе пивные дрожжевые экстракты, макро-, микроэлементы, аминокислоты. Вместе с тем отмечена видоспецифичная реакция гибридов. 3-кратные некорневые подкормки водными растворами препаратов Аминозол и Ростовит повысили урожайность гибрида F<sub>1</sub> Черныш на 31 и 28% соответственно по сравнению с контрольными вариантами. Изучаемые препараты положительно повлияли на биохимический и элементный состав исследуемых плодов томата: калия (K), аскорбиновой кислоты (витамин C), железа (Fe), меди (Cu).*

**Ключевые слова:** биохимический и элементный состав, качество продукции, некорневые обработки, урожайность, органические препараты, томат.

### Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) – ценная овощная культура. В 2005 г. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций (ФАО) оценила мировое производство томатов в 123 млн т на посевной площади 4 000 500 га, в 2020 г. производство достигло 186 821 млн т на посевной площади 5 051 983 га [1]. По оценке экспертов, в Российской Федерации за период 2018–2021 гг. валовой сбор томатов увеличился на 5,5% – с 2,90 до 3,06 млн т. В 2022 г. валовой сбор достиг 3,15 млн т, увеличившись на 2,9% в сравнении со сбором 2021 г. [2].

Томат относится к особо ценным культурам и является источником питательных веществ [3]. Соблюдение диеты, в состав которой входят томаты и томатпродукты, оказывает положительное влияние на здоровье человека, главным образом благодаря содержанию в плодах томата антиоксидантов – таких, как каротиноиды (ликопин, бета-каротин, лютеин), аскорбиновая кислота (витамин C), полифенолы [4, 5]. Ликопин обладает антиоксидантной активностью и активностью по улавливанию свободных радикалов и известен как наиболее эффективный гаситель синглетного кислорода среди природных каротиноидов [6, 7]. Организм человека поглощает 23–24% поступившего с пищей ликопина, который циркулирует в плазме крови, печени [8]. Бета-каротин является провитамином и превращается в ретинол – соединение, необходимое

для зрения. В результате исследований К.Р. Джаяприян с коллегами [9] пришли к выводу о том, что это связано с противораковой активностью включая индуцирование апоптоза раковых клеток и снижение их пролиферации.

Известны противораковые свойства ликопина, витамина С и полифенолов [10]. Употребление в пищу томатов позволяет снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний – исследования показывают связь между потреблением томатов и гипертонией.

Развитие подотрасли овощеводства является одним из приоритетов государственной политики в сельском хозяйстве в России, особенно в условиях процесса импортозамещения. Индустрия производства томатов – инновационно развивающаяся в мире и нашей стране. Эффективность производства томатов зависит от погодных условий (в открытом грунте), параметров микроклимата (в защищенном грунте), ценовой политики на рынках основного сырья, материалов, оборудования, инвестиционной составляющей, логистики, взаимоотношений с торговыми сетями [2]. Современные потребители при выборе томатов обращают внимание не только на внешний вид плодов, форму, но и на пищевую ценность, которая с каждым годом приобретает большее значение у потребителей [11, 12]. На качество плодов томата оказывают влияние не только генетические особенности сорта, но и факторы окружающей среды (параметры микроклимата), элементы технологии выращивания [13].

В последние десятилетия в современном овощеводстве большое внимание уделено охране окружающей среды, особенно контролю водного режима, качеству и количеству применяемых удобрений [14]. Повышенное содержание минеральных удобрений при употреблении в свежем виде овощной продукции становится проблемой для здоровья населения, так как ввиду содержания нитратов могут нарушаться функции дыхательной, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем [15]. В этой связи многие исследования посвящены получению новых знаний, разработке элементов технологии выращивания овощных культур, в том числе применению биостимуляторов [16], использование которых значительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур за счет стимуляции и улучшения физиологических и метаболических процессов растений в условиях почвенно-климатического стресса [17, 18].

Биостимуляторы – продукты, которые стимулируют процессы питания растений независимо от содержания питательных веществ в продукте, с единственной целью повышения эффективности использования питательных веществ растениями. Эти продукты могут содержать различные компоненты: гуминовые кислоты, гидролизованые белки, экстракты водорослей, хитозан, полезные грибы и бактерии, биологические полимеры [19]. Однако в последние годы к биостимуляторам добавлено большое количество свободных аминокислот, поскольку они оказывают широкое влияние на сельскохозяйственные культуры, заключающееся в таких эффектах, как увеличение доступности питательных веществ и качества растений, смягчение негативного воздействия. Эффекты определенных стрессов окружающей среды действуют как предшественники гормонов, как сигнальные факторы для различных физиологических процессов, регулируют поглощение азота, способствуют развитию корней, регулируют антиоксидантную активность [20, 21].

Использование органических препаратов, в состав которых входят макро- и микроэлементы, аминокислоты, имеют большое значение в сокращении применения обычных удобрений.

На качество (биохимический и элементный состав) овощной продукции влияет способ внесения удобрений. Известно, что способы внесения удобрений подразделяют на корневую и некорневую подкормку [22]. В работах В. Фернандеза, П.Х. Брауна [22, 23] установлены достоинства некорневых обработок комплексами микро- или макроэлементов, экстрактами гуминовых кислот, аминокислотами: активизация

биохимических и обменных процессов, происходящих в вегетативных и генеративных органах растений [24]; устранение дефицита элементов питания в растениях; увеличение содержания биологически активных соединений, микроэлементов в листьях, плодах [25]. У мяты, чабера, змееголовника отмечено увеличение содержания эфирных масел и фенольных соединений [26].

**Цель исследований:** изучение влияния некорневых обработок препаратами, перспективными для органического земледелия, на урожайность, биохимический и элементный состав плодов томата.

### Материал и методы исследований

Экспериментальные исследования были проведены в 2022–2023 гг. в весенней пленочной теплице на базе УНПЦ Садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва). Объектом исследований являлись F<sub>1</sub> гибриды томата:

F<sub>1</sub> Черныш. Выведен в ФГБОУ ВО МичГАУ. Растение индетерминантного типа. Соцветие простое. Плод гладкий, округлый, коричневой окраски, массой 60–70 г;

F<sub>1</sub> DRK 564. Выведен De Ruiter Seeds. Раннеспелый гибрид. Растение среднерослое, сбалансированное в сторону генеративности. Плоды красной окраски, массой 18–20 г. Предназначен для выращивания в продленном обороте и на светокультуре. Сбор возможен кистью и поштучно;

F<sub>1</sub> Belido. Выведен Syngenta. Раннеспелый гибрид. Растение среднерослое. Плоды красной окраски, массой 12–15 г. Предназначен для выращивания в продленном обороте и на светокультуре. Сбор возможен кистью и поштучно.

Исследования проводили в соответствии с общепринятыми рекомендациями для исследований с овощными культурами в защищенном грунте [27]. Органические препараты применяли в виде водных растворов по вегетирующим растениям. Первую некорневую обработку произвели в фазу раскрытия 3–4 цветков в соцветии, вторую и третью обработки – с интервалом в 3 недели.

Некорневую обработку производили органическими препаратами:

- Ростовит (Агроресцилинг-Групп, Россия), в состав которого входит дрожжевой экстракт, микроэлементы N, F, K, Mg, Ca и макроэлементы Mn, Mo, Na, Cu, Ni, Si, B, органическое вещество (от сухого остатка) – 89%.

- Аминозол (Avgust, Россия). Органическое азотно-калийное удобрение с составом: 9,4% – суммарная массовая доля азота (N) 116 г/л; 58% органических веществ (аминокислоты) 713 г/л.

Схема опыта: вариант I – дистиллированная вода (контроль); вариант II – Ростовит 1 мг/л; вариант III – Аминозол 1 мг/л. Опыт заложили в весенней пленочной грунтовой теплице в 3-кратной повторности, площадь учетной делянки составила 3,5 м<sup>2</sup>. Урожай учитывали в динамике во время каждого сбора, взвешивая плоды с каждой делянки с последующим пересчетом, кг/м<sup>2</sup> [27].

В ЦКП определяли кислотность общую, моль/100 мл, – ГОСТ ISO 750–2013; нитраты, мг/кг, – ГОСТ 34570–2019; аскорбиновая кислота (витамин C), %, – ГОСТ 24556–89 (п. 2); сахар общий, %, – ГОСТ 8756.13–87(п. 2); содержание элементов (Fe, Mg, Cu, Zn, K, Ca) – ПНД Ф 16.2.2:2.3.71–2011. Для определения элементов применяли оборудование: атомно-абсорбционный двухлучевой спектрофотометр AA-7000, спектрофотометр двухлучевой UV-1900i, автоматический анализатор азота/белка по Кьедалу UDK159 с автоматическим дигестором DKL 20, пламенный фотометр Sherwood Model 410, pH – иономер Metrohm 781 pH/Ion Meter. В качестве вспомогательного оборудования использовали микроволновую систему

пробоподготовки Mars 6., шейкер-термостат Stegler SB-22, влагомер Sartorius MA 160, блендер лабораторный MICROTRON MB550, весы аналитические Mettler Toledo ME204T/A00, сушильный шкаф Binder FD-53.

Содержание сухого вещества, каротиноидов, хлорофиллов определяли в аналитической лаборатории ФГБНУ ФНЦО: гравиметрическим высушиванием образцов устанавливали содержание сухого вещества при температуре  $+70^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы (ГОСТ 28561–90, п. 2); количество полифенолов определяли на спектрофотометре Unicо с использованием реактива Фолина-Чиоколтеу на спиртовых экстрактах высушенных растений при температуре  $+80^{\circ}\text{C}$ , 70% этанол, в течение 1 ч. Галловую кислоту использовали в качестве стандарта. Уровень антиоксидантной активности (АОА) определяли титрометрически с использованием 0,01 N раствора перманганата калия ( $\text{KMnO}_4$ ). Каротиноиды определяли спектрофотометрически, используя количественную тонкослойную хроматографию для разделения каротиноидов на хроматографической бумаге (ватман формата 3А) в системе Гексан (для разделения бета-каротина, зета-каротина) и гексан-ацетон, 10:1 (для разделения ликопина и лютеина). Содержание индивидуальных каротиноидов рассчитывали, используя удельное поглощение бета-каротина, зета-каротина, лютеина и ликопина. Выделение хлорофилла из коричневых томатов также осуществляли количественной тонкослойной хроматографией, элюируя пятно хлорофиллов с хроматографической бумаги с помощью этилового спирта. Содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* рассчитывали согласно формуле Lichtentailer по величине поглощения спиртовых экстрактов при 649 и 664 нм [28].

*Агротехника в опыте.* Рассадку выращивали на УГС-4 в рассадном отделении многорядной теплицы серии Ришель 9,6 SR. Семена сеяли для выращивания рассады 24 марта 2022–2023 гг. в кассеты с размером ячейки  $5 \times 5 \times 5$  см. В качестве субстрата использовали верховой торф с добавлением перлита. Массовые всходы отмечали на 7–8-е сутки после посева, на 20-е сутки от массовых всходов проводили перевалку сеянцев в горшки объемом 0,8 л. Расстановку рассады растений ( $20 \text{ шт./м}^2$ ) производили однократно в момент смыкания листьев.

В течение периода выращивания рассады устанавливали оптимальные параметры микроклимата. Рассадку высаживали в теплицу 22–23 мая. Густота стояния растений составила  $2,5 \text{ шт./м}^2$ . Почву в теплице замульчировали нетканым материалом перед высадкой рассады. Комплекс мероприятий по уходу за растениями включал в себя подкручивание главного стебля, удаление листьев и пасынков, после 4-го соцветия у мелкоплодных гибридов томата оставляли дополнительный побег. При появлении бурой окраски плодов в первом соцветии удаляли нижние листья, не более 3 шт. за один прием. Поливы проводили ежедневно. Ликвидацию растений произвели 14–15 сентября.

Статистическая обработка данных выполнена при помощи программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019. В тексте и таблицах приведены средние арифметические значения параметров и их доверительные интервалы при 95%-ном уровне значимости.

## Результаты и их обсуждение

Учет урожайности плодов томата показал, что максимальный результат получен от применения препарата Аминозол у гибрида  $F_1$  Черныш. Масса плода увеличилась на 6 г, а урожайность возросла на 31% в сравнении с контрольным вариантом. Действие препарата Ростовит было менее эффективным, при увеличении массы плодов на 4 г урожайность увеличилась на 28%. Достоверная существенная разница после 3-кратной некорневой обработки органическими препаратами Ростовит и Аминозол на массу плодов и урожайность гибридов  $F_1$  DRK 564 и  $F_1$  Belido не выявлена (табл. 1).

**Влияние некорневых обработок органическими препаратами  
на урожайность томата**

Варианты	Масса плода, г	Урожайность, кг/м <sup>2</sup>	Прибавка к контролю	
			кг/м <sup>2</sup>	%
F <sub>1</sub> DRK 564				
Контроль (дистиллированная вода)	11,28	5,51	-	-
Ростовит 1 мг/л	12,30	6,02	0,516	109,3
Аминозол 1 мг/л	11,98	5,94	0,427	107,8
HCP <sub>05</sub>	Fфакт ≤ Fтабл	Fфакт ≤ Fтабл		
F <sub>1</sub> Belido				
Контроль (дистиллированная вода)	13,23	7,49	-	-
Ростовит 1 мг/л	14,01	8,07	0,571	107,7
Аминозол 1 мг/л	13,89	7,91	0,416	105,6
HCP <sub>05</sub>	Fфакт ≤ Fтабл	Fфакт ≤ Fтабл		
F <sub>1</sub> Черныш				
Контроль (дистиллированная вода)	64	6,4	-	-
Ростовит 1 мг/л	68	8,2	1,8	128,1
Аминозол 1 мг/л	70	8,4	2,0	131,2
HCP <sub>05</sub>	0,5	1,8		

Микроэлементы способны положительно влиять на накопление витаминов и других биологически активных веществ в овощной продукции. В наших исследованиях установлено положительное влияние некорневых обработок препаратами Ростовит и Аминозол на накопление в плодах томата калия (К), аскорбиновой кислоты (витамин С), железа (Fe), меди (Cu).

Калий – один из наиболее востребованных катионных минералов, оказывающий влияние на ростовые процессы, урожайность и качество плодов томата [29]. Калий участвует в процессе фотосинтеза, активации ферментов и синтезе белка [30]. Разумное внесение удобрений, содержащих в составе калий, повышает урожайность и качество плодов многих культур [31], дефицит же калия может замедлить рост растений, ускорить старение листьев [32] (табл. 2).

## Биохимический и элементный состав продукции томата при применении некорневых обработок

Варианты	Нитраты, мг/кг	Белковый азот, %	Витамин С, мг/100 г свежей продукции	Общий сахар, %	Сухое вещество, %	Ca, мг/100 г свежей продукции	Fe, мг/100 г свежей продукции	Mg, мг/100 г свежей продукции	Cu, мг/100 г свежей продукции	K, мг/100 г свежей продукции
F <sub>1</sub> , DRK 564										
Контроль (дистиллированная вода)	18±1,4	2,0	18±1,6	4,49	9,6	8,15±1,0	0,3±0,1	0,68±0,12	0,7±0,14	176,8±18,2
Ростовит 1 мг/л	19±1,8	2,8	26±1,8	4,29	9,2	17,01±1,4	0,5±0,08	1,42±0,18	1,2±0,15	294,2±24,2
Аминозол 1 мг/л	19±1,6	2,4	18±2,4	3,87	9,7	8,87±1,2	0,5±0,1	0,83±0,2	1,0±0,18	228,7±20,2
F <sub>1</sub> , Belido										
Контроль (дистиллированная вода)	16±1,4	2,0	20±1,4	3,92	9,9	8,27±1,6	0,2±0,08	1,12±0,32	1,5±0,3	234,7±18,2
Ростовит 1 мг/л	15±1,4	3,2	24±1,8	3,79	10,2	12,17±1,4	0,5±0,1	0,78±0,22	2,0±0,06	288,2±22,2
Аминозол 1 мг/л	18±1,5	4,0	26±1,6	3,49	10,9	10,10±1,2	0,4±0,1	0,75±0,12	1,9±0,16	259,1±18,0
F <sub>1</sub> , Черныш										
Контроль (дистиллированная вода)	18±1,5	2,0	18±1,2	4,12	9,71	8,27±1,2	0,3±0,08	1,12±0,08	1,5±0,3	268,2±20,0
Ростовит 1 мг/л	19±1,8	2,8	22±1,6	4,86	11,3	14,17±2,0	0,6±0,1	0,84±0,06	2,2±0,5	294,7±24,2
Аминозол 1 мг/л	20±1,5	2,4	20±1,5	4,54	10,1	10,10±1,2	0,5±0,08	0,92±0,08	2,0±0,5	288,1±19,4

По мнению В. Гуокси [33], повышенное содержание калия улучшает активность аскорбатпероксидазы в плодах томата и тем самым способствует увеличению аскорбиновой кислоты.

Положительное влияние применения некорневых обработок органическими препаратами отмечено на поступление элемента Fe в вариантах, где зафиксирована максимальная концентрация витамина C (табл. 2). Экспериментальные данные согласуются с опубликованными результатами работ Р.Ф. Хьюрелла и соавт. [34], где они отмечают, что аскорбиновая кислота из овощей и фруктов активизирует усвоение железа. Принято считать, что микроэлемент железо из растительных источников сложно усваивается организмом человека. Однако действие процесса саморегулирования обеспеченностью железом в организме человека в условиях недостатка потребления из животных источников микроэлемента усиливает процесс абсорбции железа из растений [35]. В наших опытах расчетные дозы органических препаратов положительно повлияли на содержание меди. Установлено влияние меди на активность ферментных систем, которые усиливают процесс связывания молекулярного азота атмосферы и усвоение азота почвы и удобрений, что в итоге увеличивает урожайность.

Увеличение степени антиоксидантной активности (АОА) и полифенолов в плодах томата во всех вариантах опыта (табл. 3) в сравнении с контрольными не выявлено.

Из источников литературы известно, что недостаток питательных веществ, водный режим могут негативно влиять на процесс фотосинтеза, вызывая, таким образом, окислительный стресс, и усилить выработку антиоксидантов в растениях [36, 37]. В ряде исследований выявлено, что снижение поступления азота (N) в растения приводит к накоплению полифенолов в ответ на абиотический стресс, связанный с ограничением N. Таким образом, в нашем эксперименте уровень полифенолов в вариантах после некорневых обработок препаратами Аминозол и Ростовит, в состав которых входит с высоким содержанием азот, достоверно не увеличивал содержание полифенолов в плодах, что согласуется с исследованиями Бенара и др. [38].

Каротиноиды – наиболее мощные улавливатели синглетного кислорода из всех известных биологически активных соединений, способствующих профилактике, защите, снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний вследствие уменьшения интенсивности оксидантного стресса в местах локализации атеросклеротических бляшек. Защитная функция β-каротина в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний известна во многих странах мира [39].

Неоднозначным было влияние некорневых обработок Ростовитом и Аминозолом на содержание каротиноидов: в опытах у F<sub>1</sub> DRK 564 и F<sub>1</sub> Belido после обработок Ростовитом незначительно повышалась концентрация бета-каротина, ликопина, тогда как у F<sub>1</sub> Черныш наблюдалось ее снижение (табл. 3). Ликопин определен несколькими исследователями [40–43], и его значения могут варьировать в широких пределах у разных сортов томата. По мнению этих авторов, изменчивость связана с такими факторами, как генотип, влияние факторов внешней среды (параметров микроклимата), питание растений, которые вместе оказывают влияние на биосинтез каротиноидов.

Следует отметить, что некорневые подкормки Ростовитом, Аминозолом не повлияли на накопление в плодах томатов нитратов, общего сахара, сухого вещества. Однако применение Ростовита значительно увеличило содержание K (калия) у F<sub>1</sub> DRK 564 в 1,7 раза, F<sub>1</sub> Belido – в 1,2 раза; содержание аскорбиновой кислоты у F<sub>1</sub> DRK 564 – в 2 раза, у F<sub>1</sub> Belido – в 1,5 раза, у F<sub>1</sub> Черныш – в 1,7 раза по сравнению с контролем.

**Содержание каротиноидов и антиоксидантная активность томатов при применении некорневых подкормок органическими препаратами, мг-экв. ГК/г с.м.**

Варианты	Бета-каротин	Лютеин	Ликопин	Хлф а	Хлф b	АОА	Полифенолы
F <sub>1</sub> DRK 564							
Контроль (дистиллированная вода)	0,4	1,09	4,39	-	-	42,4	27,6
Ростовит 1 мг/л	0,5	1,27	5,52	-	-	44,3	28,2
Аминозол 1 мг/л	0,47	1,46	6,18	-	-	43,18	26,8
НСР <sub>05</sub>	Fфакт ≤ Fтабл	Fфакт ≤ Fтабл	1,2			Fфакт ≤ Fтабл	Fфакт ≤ Fтабл
F <sub>1</sub> Belido							
Контроль (дистиллированная вода)	0,35	1,31	4,19	-	-	47,3	27,4
Ростовит 1 мг/л	0,45	1,13	5,86	-	-	47,8	28,6
Аминозол 1 мг/л	0,38	1,04	5,90	-	-	48,8	28,1
НСР <sub>05</sub>	Fфакт ≤ Fтабл	Fфакт ≤ Fтабл	0,8			Fфакт ≤ Fтабл	Fфакт ≤ Fтабл
F <sub>1</sub> Черныш							
Контроль (дистиллированная вода)	1,69	1,0	4,85	0,015	0,030	39,8	29,2
Ростовит 1 мг/л	1,53	1,44	5,67	0,024	0,038	44,5	30,6
Аминозол 1 мг/л	1,53	1,34	5,00	0,021	0,040	40,8	30,2
НСР <sub>05</sub>	Fфакт ≤ Fтабл						

### Выводы

Установлена положительная реакция томата на препараты, разрешенные в органическом овощеводстве, содержащие в составе пивные дрожжевые экстракты, макро-, микроэлементы, аминокислоты. Вместе с тем отмечена видоспецифичная реакция гибридов. 3-кратные некорневые подкормки водными растворами препаратов Аминозол и Ростовит повысили урожайность гибрида F<sub>1</sub> Черныш на 31 и 28% соответственно по сравнению с контрольными вариантами. Изучаемые препараты положительно повлияли на биохимический и элементный состав плодов исследуемых гибридов томата: калия (К), аскорбиновой кислоты (витамин С), железа (Fe), меди (Cu).

## Библиографический список

1. *Chanthini K.M.P. et al.* The macroalgal biostimulant improves the functional quality of tomato fruits produced from plants grown under salt stress // *Agriculture*. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 6.
2. Анализ рынка томатов в России. – Режим доступа: [https://businessstat.ru/images/demo/tomatoes\\_russia](https://businessstat.ru/images/demo/tomatoes_russia) (дата обращения: 01.05.2024).
3. *Toor R.K., Lister C.E., Savage G.P.* Antioxidant activities of New Zealand-grown tomatoes // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. – 2005. – Vol. 56, № 8. – Pp. 597–605.
4. *Kearney P.M. et al.* Global burden of hypertension: analysis of worldwide data // *The Lancet*. – 2005. – Vol. 365, № 9455. – Pp. 217–223.
5. *Borguini R.G., Ferraz Da Silva, Torres E.A.* Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants // *Food Reviews International*. – 2009. – Vol. 25, № 4. – Pp. 313–325.
6. *Friedman M.* Anticarcinogenic, cardioprotective, and other health benefits of tomato compounds lycopene,  $\alpha$ -tomatine, and tomatidine in pure form and in fresh and processed tomatoes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2013. – Vol. 61, № 40. – Pp. 9534–9550.
7. *Capurso A., Crepaldi G., Capurso C.* The Mediterranean diet: a pathway to successful aging // *Aging Clinical and Experimental Research*. – 2020. – Vol. 32. – Pp. 1187–1188.
8. *Moran N.E. et al.* Compartmental and noncompartmental modeling of  $^{13}\text{C}$ -lycopene absorption, isomerization, and distribution kinetics in healthy adults // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2015. – Vol. 102, № 6. – Pp. 1436–1449.
9. *Jayappriyan K.R. et al.* In vitro anticancer activity of natural  $\beta$ -carotene from *Dunaliella salina* EU5891199 in PC-3 cells // *Biomedicine & Preventive Nutrition*. – 2013. – Vol. 3, № 2. – Pp. 99–105.
10. *Кононков П.Ф., Гинс В.К., Пивоваров В.Ф. и др.* Овощи как продукт функционального питания: монография. – М.: Столичная типография, 2008. – 128 с.
11. *Causse M. et al.* Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences // *Journal of Food Science*. – 2003. – Vol. 68, № 7. – Pp. 2342–2350.
12. *Wang F. et al.* Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments // *Agricultural Water Management*. – 2011. – Vol. 98, № 8. – Pp. 1228–1238.
13. *Krumbein A., Schwarz D.* Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? // *Scientia Horticulturae*. – 2013. – Vol. 149. – Pp. 97–107.
14. *Mutale-joan C., Redouane D., Najib E. et al.* Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum Lycopersicum* L. // *Sci Rep*. – 2020. – Vol. 10, № 1. – Art. 2820. DOI: 10.1038/s41598-020-59840-4.
15. *Fernandez V., Eichert T.* (2009) Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Crit Rev Plant Sci*. 28:36–68.
16. *Lucini L., Roupael Y., Cardarelli M., Canaguier R., Kumar P., Colla G.* The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions // *Sci. Hortic*. – 2015. – Vol. 182. – Pp. 124–133.
17. *Кефели Н.И.* Рост растений и природные ресурсы: сборник научных трудов. – М.: Наука, 1977. – 256 с.

18. *Rouphael Y., Colla G.* Editorial: Biostimulants in Agriculture // *Front Plant Sci.* – 2020. – Vol. 11. – Pp. 124–133.
19. *Du Jardin P.* Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation // *Sci. Hortic.* – 2015. – Vol. 196. – Pp. 3–14.
20. *Khan S., Yu H., Li Q., Gao Y., Sallam B.N., Wang H., Liu P., Jiang W.* Exogenous application of aminoacids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability // *Agronomy.* – 2019. – Vol. 9, № 5. – Art. 266. DOI: 10.3390/agronomy9050266.
21. *Teixeira W.F., Fagan E.B., Soares L.H., Umburans R.C., Reichardt K., Neto D.D.* Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop // *Front. Plant Sci.* – 2017. – Vol. 8. – Art. 32. DOI: 10.3389/fpls.2017.00327.
22. *Fernandez V., Eichert T.* Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization // *Crit Rev Plant Sci.* – 2009. – Vol. 28. – Pp. 36–68.
23. *Fernandez V., Brown P.H.* From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients // *Front Plant Sci.* – 2013. – Vol. 4. – Art. 289. DOI: 10.3389/fpls.2013.00289.
24. *Азагова-Вафина Ф.Г.* О комплексном характере действия физиологически активных гумусовых веществ на растения // *Научные доклады высшей школы. Биологические науки.* – 1992. – № 10. – С. 119–124.
25. *Cai Z.* Scientific and technological issues of nutrient management under greenhouse cultivation in China // *Acta Pedofol Sin.* – 2019. – Vol. 56. – Pp. 1–9 (in Chinese).
26. *Маланкина Е.Л., Ткачева Е.Н., Терехова В.И., Зуйкова Е.Ю.* Содержание фенольных соединений и эфирного масла в сырье мяты перечной (*Mentha x piperita* L.) при выращивании в условиях органической культуры // *Вопросы биологической медицинской и фармацевтической химии.* – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 52–60. DOI: 10.29296/25877313-2022-04-08.
27. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве / Под ред. В.Ф. Белика. – М.: Агропромиздат, 1992. – 319 с.
28. *Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В. и др.* Антиоксиданты растений и методы их определения: Монография. – М.: Инфра-М, 2020. – 181 с.
29. *Daoud B., Pawelzik E., Naumann M.* Different potassium fertilization levels influence water-use efficiency, yield, and fruit quality attributes of cocktail tomato – A comparative study of deficient-to-excessive supply // *Sci. Hortic.* – 2020. – Vol. 272. – Art. 109562. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109562.
30. *White P., Karley A.* Potassium // In: Hell R., Mendel R. (eds.). *Cell Biology of Metals and Nutrients, Plant Cell Monographs 17.* – Berlin: Springer, 2010. – Pp. 199–224.
31. *Çolpan E., Zengin M., Ozbahçe A.* The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato // *Hortic. Environ. Biotechnol.* – 2013. – Vol. 54. – Pp. 20–28.
32. *Pujos A., Morard P.* Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage // *Plant Soil.* – 1997. – Vol. 189, № 2. – Pp. 189–196.
33. *Guoxi W.* Effects of Potassium Fertilizer on Vitamine C, Nitrate Content and Related Enzyme Activities of Tomato in Greenhouse // *Journal of Anhui Agricultural Sciences.* – 2007. – Vol. 35, № 8. – Pp. 22–25.
34. *Hurrell R.F.* Iron Fortification Practices and Implications for Iron Addition to Salt. *J. Nutr.* – 2021. – Vol. 151. – Suppl. 1. – Pp. 3S-14S.
35. *Голубкина Н.А., Сирота С.М., Пивоваров В.Ф., Яшин А.Я., Яшин Я.И.* Биологически активные соединения овощей. – М.: Изд-во ВНИИССОК, 2010. – 200 с.

36. Buoso S. *et al.* Nodulating white lupins take advantage of the reciprocal interplay between N and P nutritional responses // *Physiologia Plantarum*. – 2022. – Vol. 174, № 1. – Art. e13607. DOI: 10.1111/ppl.13607.
37. Tattini M. *et al.* Isoprenoids and phenylpropanoids are part of the antioxidant defense orchestrated daily by drought-stressed *P. latanus* × *acerifolia* plants during Mediterranean summers // *New Phytologist*. – 2015. – Vol. 207, № 3. – Pp. 613–626.
38. Bénard C., Bourgaud F., Gautier H. Impact of temporary nitrogen deprivation on tomato leaf phenolics // *International journal of molecular sciences*. – 2011. – Vol. 12, № 11. – Pp. 7971–7981.
39. Di Mascio P., Kaiser S., Sies H. Lycopene as the most efficient biological carotenoids in higher singlet oxygen quencher // *Arch. Biochem. Biophys.* – 1989. – Vol. 274. – Pp. 532–538.
40. Ali M.Y. *et al.* Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review // *Foods*. – 2020. – Vol. 10, № 1. – Art. 45. DOI: 10.3390/foods10010045.
41. George B. *et al.* Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype // *Food chemistry*. – 2004. – Vol. 84, № 1. – Pp. 45–51.
42. Collins E.J. *et al.* Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation // *Biology*. – 2022. – Vol. 11, № 2. – Art. 239. DOI: 10.3390/biology11020239.
43. Lenucci M.S. *et al.* Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2006. – Vol. 54, № 7. – Pp. 2606–2613.

## EFFECT OF FOLIAR FERTILIZATION WITH ORGANIC PREPARATIONS ON TOMATO QUALITY AND YIELD

V.I. TEREKHOVA, M.E. DYIKANOVA, M.V. VOROBYOV, M.A. BOCHAROVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*In modern vegetable growing, much attention is paid to environmental protection, especially to control of water regime, quality and quantity of fertilizers used. The use of preparations approved for organic vegetable growing contributes to the reduction of the pesticide pollution and the enrichment of vegetable products with bioelements. The research was carried out on the territory of the V.I. Edelstein National Center for Horticulture and Vegetable Growing in a spring film greenhouse. The aim of the research is to study the effect of foliar fertilization with preparations promising for organic farming on the yield, biochemical and elemental composition of tomato fruits. Three tomato hybrids and organic preparations Rostovit and Aminozol were studied. Standard methods and GOST standards were used in the research. The quality of the products was determined in the Central Research Institute of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy and the Federal Research Center for Vegetable Growing. As a result of the research, the positive reaction of tomatoes to the preparations approved for organic vegetable growing and containing brewer's yeast extracts, macro- and microelements, amino acids was established, at the same time, the species-specific reaction of hybrids was noted. The triple foliar fertilization with aqueous solutions of Aminozol and Rostovit increased the yield of the Chernysh F<sub>1</sub> hybrid by 31% and 28%, respectively, in comparison with the control varieties. The studied preparations had a positive effect on the biochemical and elemental composition of the fruits of the studied tomato hybrids: potassium (K), ascorbic acid (vitamin C), iron (Fe), copper (Si).*

**Keywords:** biochemical and elemental composition, product quality, foliar fertilization, productivity, organic preparations, tomato.

## References

1. Chanthini K.M.P. et al. The macroalgal biostimulant improves the functional quality of tomato fruits produced from plants grown under salt stress. *Agriculture*. 2022;13(1):6.
2. Analysis of the tomato market in Russia. (In Russ.) [Electronic source]. URL: [https://businessstat.ru/images/demo/tomatoes\\_russia](https://businessstat.ru/images/demo/tomatoes_russia) (accessed: May 05, 2024)
3. Toor R.K., Lister C.E., Savage G.P. Antioxidant activities of New Zealand-grown tomatoes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2005;56(8):597–605.
4. Kearney P.M. et al. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. *The Lancet*. 2005;365(9455):217–223.
5. Borguini R.G., Ferraz Da Silva Torres E.A. Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food Reviews International*. 2009;25(4):313–325.
6. Friedman M. Anticarcinogenic, cardioprotective, and other health benefits of tomato compounds lycopene,  $\alpha$ -tomatine, and tomatidine in pure form and in fresh and processed tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013;61(40):9534–9550.
7. Capurso A., Crepaldi G., Capurso C. The Mediterranean diet: a pathway to successful aging. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2020;32:1187–1188.
8. Moran N.E. et al. Compartmental and noncompartmental modeling of  $^{13}\text{C}$ -lycopene absorption, isomerization, and distribution kinetics in healthy adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2015;102(6):1436–1449.
9. Jayappriyan K.R. et al. In vitro anticancer activity of natural  $\beta$ -carotene from *Dunaliella salina* EU5891199 in PC-3 cells. *Biomedicine & Preventive Nutrition*. 2013;3(2):99–105.
10. Kononkov P.F., Gins V.K., Pivovarov V.F. et al. *Vegetables as a product of functional nutrition*. Moscow, Russia: Stolichnaya tipografiya, 2008:128. (In Russ.)
11. Causse M. et al. Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science*. 2003;68(7):2342–2350.
12. Wang F. et al. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agricultural Water Management*. 2011;98(8):1228–1238.
13. Krumbein A., Schwarz D. Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? *Scientia Horticulturae*. 2013;149:97–107.
14. Mutale-joan C., Redouane D., Najib E. et al. Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum Lycopersicum* L. *Sci. Rep.* 2020;10(1):2820. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59840-4>
15. Fernandez V., Eichert T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2009;28:36–68.
16. Lucini L., Roupael Y., Cardarelli M., Canaguier R. et al. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. *Sci. Hortic.* 2015;182:124–133.
17. Kefeli N.I. *Plant growth and natural resources*. Moscow, USSR: Nauka, 1977:256. (In Russ.)
18. Roupael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Front. Plant Sci.* 2020;11:124–133.
19. Du Jardin P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 2015;196:3–14.
20. Khan S., Yu H., Li Q., Gao Y. et al. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*. 2019;9(5):266. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>

21. Teixeira W.F., Fagan E.B., Soares L.H., Umburans R.C. et al. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Front. Plant Sci.* 2017;8:32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00327>
22. Fernandez V., Eichert T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2009;28:36–68.
23. Fernandez V., Brown P.H. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Front. Plant Sci.* 2013;4:289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>
24. Azanova-Vafina F.G. On the complex nature of the action of physiologically active humic substances on plants. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskie nauki.* 1992;10:119–124. (In Russ.)
25. Cai Z. Scientific and technological issues of nutrient management under greenhouse cultivation in China. *Acta Pedofil Sin.* 2019;56:1–9. (In Chin.)
26. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Terekhova V.I., Zujkova E.Yu. Flavonoids and essential oils contained in peppermint (*Mentha x piperita* L.) raw materials grown in organic farming. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry.* 2022;25(4):52–60. <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-04-08>
27. *Methodology of experimental business in vegetable and melon growing.* Ed. by V.F. Belik. Moscow, Russia: Agropromizdat, 1992:181–193. (In Russ.)
28. Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V. et al. *Plant antioxidants and methods of their determination: monograph.* Moscow, Russia: Infra-M, 2020;181. (In Russ.)
29. Daoud B., Pawelzik E., Naumann M. Different potassium fertilization levels influence water-use efficiency, yield, and fruit quality attributes of cocktail tomato—A comparative study of deficient-to-excessive supply. *Sci. Hortic.* 2020;272:109562. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109562>
30. White P., Karley A. Potassium. In: *Hell R., Mendel R. (Eds.) Cell Biology of Metals and Nutrients, Plant Cell Monographs 17.* Berlin, Germany: Springer, 2010:199–224.
31. Çolpan E., Zengin M., Ozbahçe A. The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2013;54:20–28.
32. Pujos A., Morard P., Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant Soil.* 1997;189(2):189–196.
33. Guoxi W. Effects of Potassium Fertilizer on Vitamine C, Nitrate Content and Related Enzyme Activities of Tomato in Greenhouse. *Journal of Anhui Agricultural Sciences.* 2007;35(8):2225.
34. Hurrell R.F. Iron Fortification Practices and Implications for Iron Addition to Salt. *J. Nutr.* 2021;151(Suppl 1):3S-14S.
35. Golubkina N.A., Sirota S.M., Pivovarov V.F., Yashin A.Ya., Yashin Ya.I. *Biologically active compounds of vegetables.* Moscow, Russia: VNISSOK, 2010:200. (In Russ.)
36. Buoso S. et al. Nodulating white lupins take advantage of the reciprocal interplay between N and P nutritional responses. *Physiologia Plantarum.* 2022;174(1): e13607. <https://doi.org/10.1111/ppl.13607>
37. Tattini M. et al. Isoprenoids and phenylpropanoids are part of the antioxidant defense orchestrated daily by drought-stressed *P. latanus* × *acerifolia* plants during Mediterranean summers. *New Phytologist.* 2015;207(3):613–626.
38. Bénard C., Bourgaud F., Gautier H. Impact of temporary nitrogen deprivation on tomato leaf phenolics. *International Journal of Molecular Sciences.* 2011;12(11):7971–7981.

39. Di Mascio P., Kaiser S., Sies H. Lycopene as the most efficient biological carotenoids in higher singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.* 1989;274:532–538.
40. Ali M.Y. et al. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods.* 2020;10(1):45. <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
41. George B. et al. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry.* 2004;84(1):45–51.
42. Collins E.J. et al. Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. *Biology.* 2022;11(2):239. <https://doi.org/10.3390/biology11020239>
43. Lenucci M.S. et al. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2006;54(7):2606–2613.

### Сведения об авторах

**Терехова Вера Ивановна**, канд. с.-х. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: v\_terekhova@rgau-msha.ru

**Дыйканова Марина Евгеньевна**, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dyikanova@rgau-msha.ru

**Воробьев Михаил Владимирович**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: vorobyov@rgau-msha.ru

**Боcharова Мария Алексеевна**, аспирант, ассистент кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: bocharova@rgau-msha.ru

### Information about the authors

**Vera I. Terekhova**, CSc (Ag), Associate Professor, Acting Head of the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: v\_terekhova@rgau-msha.ru)

**Marina E. Dyikanova**, CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: dyikanova@rgau-msha.ru)

**Mikhail V. Vorob'ev**, CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: vorobyov@rgau-msha.ru)

**Maria A. Bocharova**, postgraduate student, Assistant at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: bocharova@rgau-msha.ru)

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
НА МАСЛИЧНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА  
В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯЕ.К. БАРНАШОВА<sup>1</sup>, А.Ю. БУЕНКОВ<sup>2</sup>, С.П. КУДРЯШОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева<sup>2</sup>Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока)

Целью работы являлось изучение влияния осадков и температуры в течение вегетационного периода на масличность исследуемых сортов подсолнечника. Изучена динамика изменения масличности сортов подсолнечника селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» за 2010–2019 гг. Выявлено, что наиболее благоприятные условия для накопления масла наблюдались в 2013, 2017 и 2019 гг. У сорта Степной 82 на протяжении 9 лет проведения исследований отмечена наиболее стабильно высокая масличность по сравнению с другими сортами (49,45%). Методом двухфакторного дисперсионного анализа определена доля воздействия на масличность: факторов сорта (А) – 14,7%; условий года (В) – 66,59%; их взаимодействия (АВ) – 12,9%. Средняя корреляционная связь между количеством осадков и масличностью в период всходов-бутонизации (июнь – первая половина июля) отмечена у сортов Степной 81, Степной 82, Саратовский 86 и Саратовский 82. В цветение (вторая половина июля) у большинства изучаемых сортов отмечена средняя взаимосвязь ( $r = 0,31-0,65$ ) между данными показателями, при наливе семян (август) – слабая отрицательная корреляция у всех сортов. В период физиологической-полной спелости семян (сентябрь) сорта Саратовский 21, Степной 82, Саратовский 85 и Саратовский 86 показали среднюю корреляцию между количеством осадков и масличностью. Выявлена отрицательная корреляционная связь между температурным режимом и масличностью семян у изучаемых сортов за всю вегетацию. Наибольший вклад количества осадков в маслообразовательный процесс был отмечен в июле у Скороспелого 87 (41%) и Саратовского 20 (42%), а вклад температурного режима – у сорта Сластена в июле и августе (71 и 48% соответственно). За годы проведения исследований наблюдалась слабая изменчивость масличности по сортам, варьирующая от 4,7% у сорта Скороспелый 87 до 6,55% у сорта Сластена.

**Ключевые слова:** подсолнечник, сорт, масличность, корреляционная связь, количество осадков, температура, вегетационный период.

**Введение**

Подсолнечник является высокодоходной и основной масличной культурой в России. Производство подсолнечного масла в РФ в 2023 г. составило 6 млн т [7].

Подсолнечное масло является высококалорийным продуктом. Оно используется населением при приготовлении пищи, а также широко применяется в пищевой промышленности, в производстве лаков, красок, олифы, олеиновой кислоты, стеарина и др. [3, 8, 10].

Современные сорта содержат 48–52% масла в семенах. Отмечено, что в условиях прохладного и влажного климата у подсолнечника накапливается меньше масла, чем у подсолнечника в более сухих и теплых регионах. Это связано с неполным вызреванием семян, что объясняется биологическими особенностями данной культуры. Недостаток тепла и света приводит к удлинению вегетационного периода, к растягиванию и понижению интенсивности маслообразовательного процесса. Во влажных условиях проявляются грибные болезни, также значительно снижающие масличность [11].

В жестких почвенно-климатических условиях сорта не уступают по урожайности и сбору масла межлинейным гибридам [1, 12, 13].

Введение в производство высокоурожайных сортов, обеспечивающих стабильность высокого содержания масла в различных экологических условиях, является одним из наиболее эффективных способов повышения рентабельности возделывания подсолнечника.

**Цель исследований:** в условиях конкурсного сортоиспытания за 10-летний период изучения проанализировать влияние осадков и температуры в течение вегетационного периода на масличность исследуемых сортов подсолнечника.

### Материал и методы исследований

Полевые опыты выполнялись в период с 2010 по 2019 гг. Для проведения исследований были использованы 9 сортов подсолнечника селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Посев производился рандомизированно по схеме  $70 \times 35$  см с густотой стояния 45 тыс. растений на 1 га [6].

Математическую обработку полученных данных производили при помощи пакета программ «AGROS2.09».

Для определения вклада каждого из изучаемых показателей в формирование масличности провели двухфакторный дисперсионный анализ, где фактором А являлся сорт, фактором В – год [5].

Величину изменчивости изучаемого признака характеризовали использованием коэффициента вариации  $V$ , то есть стандартного отклонения, выраженного в процентах, к средней арифметической данной совокупности.

Коэффициент корреляции ( $r$ ) использовался как числовой показатель простой линейной корреляции для выявления силы и направления связи аргумента  $X$  (температура, осадки) с функцией  $Y$  (масличность) [4].

Коэффициент детерминации  $r^2$ , то есть квадрат коэффициента корреляции, применяли для определения доли, %, влияния изучаемых климатических факторов на содержание масла.

В Саратовской области 2010 год отличался высокими температурами в течение всего летнего периода с максимальной температурой до  $+38^\circ\text{C}$ . Также во время вегетационного периода наблюдался недостаток осадков.

В 2011 г. наблюдался неустойчивый температурный режим с резкими перепадами температур. За период вегетации количество осадков составило 142 мм.

В 2012 г. вегетационный период характеризовался высокими температурами в сочетании с нехваткой осадков.

В 2013 г. сложились благоприятные условия для произрастания большинства сельскохозяйственных культур, в том числе подсолнечника. В период вегетации выпало достаточное количество осадков. В Саратове сумма осадков только за июнь составила 141 мм. Средняя температура воздуха в среднем за вегетационный период

составила +19,3°C. Гидротермический коэффициент за основной период вегетации составил 1,2, что соответствует условиям нормального увлажнения.

В 2014 г. наибольшее количество осадков зафиксировано в июне (73 мм), в последующем количество осадков снижалось. В целом за вегетацию сумма осадков составила 69,8% от нормы, а средняя температура воздуха была на 10°C выше среднемноголетней температуры.

В 2015 г. наиболее высокая средняя температура наблюдалась в июне, составив +23,8°C. Отмечено небольшое количество осадков за вегетационный период – 56% от среднемноголетних значений.

2016 год отмечен пониженными температурами в начале вегетационного периода и повышенными – в июле и августе (+23,6 и +24,8°C соответственно). Наблюдался недостаток влаги, сумма осадков за июнь-август составила всего 46 мм.

В 2017 г. за период май-июль выпало достаточное количество осадков, составив в сумме 219 мм. Этого хватило, чтобы компенсировать недостаток осадков в августе, когда выпало всего 4 мм. Средняя температура воздуха за июнь-сентябрь была в пределах многолетней нормы.

В 2018 г. наибольшая сумма осадков была в июле, составив 86,8 мм, в июне и августе отмечен дефицит осадков. Также в июле зафиксирована самая высокая средняя температура воздуха за период вегетации (+23,7°C).

В 2019 г. недостаток влажности начала вегетационного периода был восполнен осадками, выпавшими в июле и августе. Средняя температура за июнь-сентябрь составила +19,2°C [2].

Количество осадков и температурный режим за вегетационный период (помесячно) представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

**Количество осадков в Саратовской области, мм**

Год	Месяц			
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
2010	19	20	0,3	16
2011	63	5	21	53
2012	47	28	95	23
2013	141	37	11	115
2014	73	14	34	4
2015	49	30	17	5
2016	9	29	8	97
2017	67	52	4	31
2018	14,1	86,8	4,4	57,9
2019	21	50	47	13

**Количество осадков в Саратовской области, мм**

Год	Месяц			
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
2010	24,2	27,6	26,5	16,6
2011	19,5	26,2	21,7	14,6
2012	23	23,9	22,2	14,9
2013	21	21,4	21,4	13,2
2014	19,1	22,2	23,1	14,3
2015	23,8	21,9	20,2	17,8
2016	20,9	23,6	24,8	13,2
2017	18,0	21,7	22,4	15,0
2018	20,0	23,7	21,6	17,1
2019	22,7	21,5	19,2	13,2

**Результаты и их обсуждение**

На содержание масла в семенах влияют не только биологические особенности сорта, но в большой степени – климатические условия, особенно количество атмосферных осадков и температура воздуха.

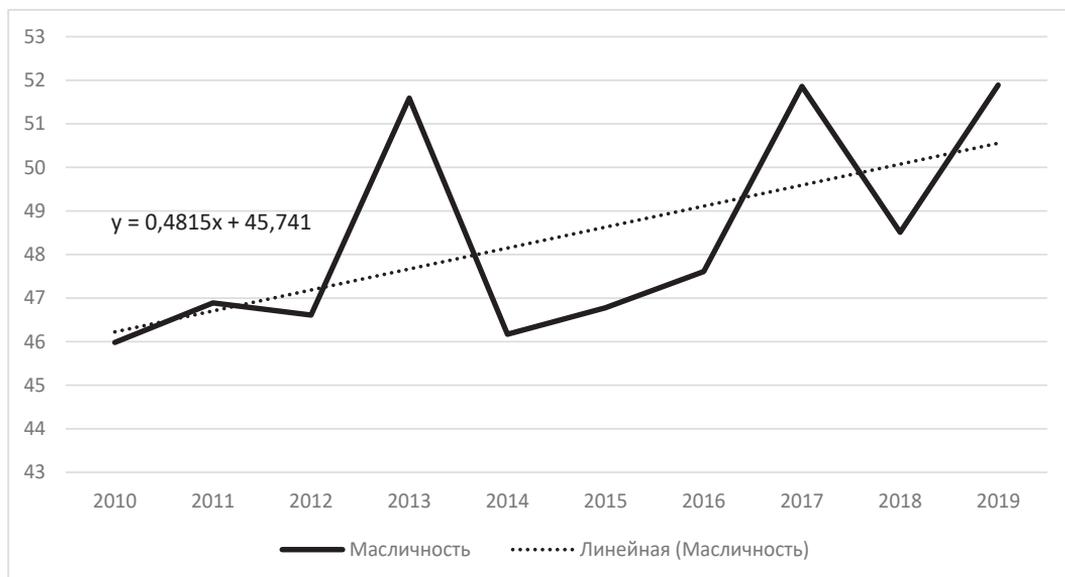
Несмотря на то, что подсолнечник способен переносить засуху, сокращение фактической транспирации по сравнению с максимально возможной вследствие недостатка влаги или испаряемости приводит к снижению продуктивности и масличности.

Была изучена динамика изменения масличности за все годы исследований (в среднем по исследуемым сортам).

В 2013, 2017 и 2019 гг. зафиксирована самая высокая масличность изучаемых сортов. Условия этих лет были более благоприятными для накопления масла (рис. 1). Затем исследовали влияние условий года на содержание масла в семянках подсолнечника изучаемых сортов.

У сорта Степной 82 за годы изучения отмечена наибольшая стабильность по содержанию масла и наблюдалась значимо высокая масличность на протяжении 2010–2018 гг. В таблице 3 приведены средние по повторениям данные за каждый год по сортам. Также достоверно высокую масличность в течение 8 лет исследований продемонстрировал сорт Саратовский 86, а в течение 7 лет – Саратовский 21 и Саратовский 85.

Самая высокая масличность в среднем за год (54,7%) выявлена у сорта Саратовский 85 в 2013 г. (табл. 3).



**Рис. 1.** Динамика масличности семян подсолнечника по годам, %

В среднем за все годы наблюдений сорта Сладстена и Саратовский 82 показали значимо меньшее содержание масла в семенах по отношению к остальным сортам.

Доля влияния на масличность факторов составила: сорта (А) – 14,7%; условий года (В) – 66,59%; взаимодействия факторов (АВ) – 12,9%.

Отмечена неодинаковая реакция сортов на условия выращивания. О различной реакции сортов на факторы среды указывает степень (амплитуда) изменчивости содержания масла. Показателем изменчивости признака служит коэффициент вариации (V). При его значении более 20% варьирование является высоким, от 11 до 20% – средним, менее 10% – слабым.

За годы исследований наблюдалась слабая вариабельность масличности сортов с коэффициентом вариации от 4,7% у сорта Скороспелый 87 до 6,55% у сорта Сладстена (табл. 4).

Сорт Степной 82 показал самое высокое содержание масла (49,45%) в среднем за годы исследований, а максимальное значение зафиксировано у сорта Саратовский 85 (55,8%). Наибольшее варьирование признака отмечено у сорта Сладстена.

С целью определения взаимосвязи основных факторов климатических условий (температуры, осадков) и масличности сортообразцов применялся корреляционный анализ.

В качестве числового показателя линейной корреляции, указывающего на тесноту и направление связи аргумента X (осадки, температура) с функцией Y (масличность), применяли коэффициент корреляции r. Корреляционная связь классифицировалась следующим образом: слабая (r менее 0,3), средняя (r = 0,3–0,7), сильная (r более 0,7). Кроме того, рассчитывали коэффициент детерминации (R<sup>2</sup>), показывающий степень влияния изучаемого фактора (осадки, температура) на масличность.

Анализ проведен по месяцам вегетационного периода для каждого изучаемого сорта. Сорта Степной 81, Степной 82, Саратовский 86 и Саратовский 82 показали в июне – первой половине июля (период «Всходы-бутонизация») среднюю

корреляционную связь между количеством осадков и масличностью. У других сортов была слабая корреляция (табл. 5).

Таблица 3

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов подсолнечника по признаку «Масличность»**

Сорт	Год									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Скороспелый 87	47,1 cd	48,0 d	46,4 b	50,4 ab	45,7 abc	46,7 bcd	47,2 bc	50,9 ab	49,9 d	52,2 cd
Саратовский 20	47,0 cd	46,0 b	45,3 b	48,7 a	45,2 ab	47,5 def	46,7 b	51,9 bc	49,2 bcd	53,5 de
Саратовский 21	48,0 d	47,0 bcd	47,8 def	52,9 def	46,0 abcd	46,0 abc	48,1 cd	52,8 c	49,6 d	53,9 e
Степной 81	46,3 c	48,0 d	46,4 b	52,0 bcde	47,4 de	48,3 f	47,5 bc	52,2 bc	49,6 d	52,7 cde
Степной 82	47,2 cd	48,0 d	47,6 cdef	53,8 ef	46,9 cde	48,0 ef	49,1 ef	52,9 c	49,4 cd	51,6 bc
Саратовский 85	48,1 d	48,0 cd	48,0 ef	54,7 f	47,5 e	46,9 cd	49,3 f	52,0 bc	47,6 b	51,8 bc
Саратовский 86	47,3 cd	47,0 bcd	48,0 f	52,7 cdef	45,5 abc	45,8 ab	48,5 def	52,4 c	48,3 bcd	52,5 cde
Саратовский 82	42,1 b	46,0 b	44,1 a	49,5 a	46,3 bcde	45,4 a	45,4 a	51,8 bc	45,4 a	48,1 a
Сластена	40,7 a	44,0 a	45,9 b	49,6 a	44,6 a	46,4 abc	46,7 b	49,8 a	47,6 b	50,7 b
<b>Вариант</b>	<b>F<sub>факт</sub></b>	<b>34,652*</b>								
	<b>НСР<sub>05</sub></b>	<b>1,318</b>								
<b>Фактор А</b>	<b>F<sub>факт</sub></b>	<b>60,169*</b>								
	<b>НСР<sub>05</sub></b>	<b>0,417</b>								
<b>Фактор В</b>	<b>F<sub>факт</sub></b>	<b>242,256*</b>								
	<b>НСР<sub>05</sub></b>	<b>0,439</b>								

<b>Взаим. АВ</b>	<b>F<sub>факт</sub></b>	<b>5,867*</b>
	<b>НСР<sub>05</sub></b>	<b>1,318</b>

Таблица 4

**Изменчивость масличности подсолнечника (2010–2019 гг.)**

Сорт	Уравнения трендов	Масличность, %			Коэффициент вариации (V), %
		min*	max*	средняя	
Скороспелый 87	$y=0,443x+46,013$	45,10	53,00	48,45	4,70
Саратовский 20	$y=0,6679x+44,427$	44,20	54,50	48,10	5,72
Саратовский 21	$y=0,4964x+46,48$	45,40	54,50	49,21	5,95
Степной 81	$y=0,5164x+46,2$	46,00	53,50	49,04	4,95
Степной 82	$y=0,3812x+47,353$	46,20	55,10	49,45	5,01
Саратовский 85	$y=0,2042x+48,267$	46,20	55,80	49,39	5,27
Саратовский 86	$y=0,3952x+46,667$	45,00	53,50	48,83	5,60
Саратовский 82	$y=0,4552x+43,907$	41,80	52,00	46,41	5,94
Сластена	$y=0,7745x+42,34$	40,00	51,20	46,57	6,55

\*Приведены данные по повторностям.

Таблица 5

**Корреляционный анализ (количество осадков-масличность)**

Сорт	Месяц							
	июнь		июль		август		сентябрь	
	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>
Скороспелый 87	0,11	0,01	0,64	0,41	-0,21	0,04	0,26	0,07
Саратовский 20	-0,07	0,005	0,65	0,42	-0,21	0,04	-0,02	0,0004
Саратовский 21	0,22	0,05	0,55	0,30	-0,10	0,01	0,30	0,09
Степной 81	0,35	0,12	0,55	0,30	-0,21	0,04	0,23	0,05
Степной 82	0,46	0,21	0,48	0,23	-0,25	0,06	0,49	0,24

Саратовский 85	0,56	0,31	0,23	0,05	-0,14	0,02	0,52	0,27
Саратовский 86	0,31	0,10	0,46	0,21	-0,07	0,005	0,39	0,15
Саратовский 82	0,55	0,30	0,31	0,10	-0,18	0,03	0,25	0,06
Сластена	0,25	0,06	0,61	0,37	0,06	0,004	0,29	0,08

Во второй половине июля (цветение) количество осадков оказывало наибольшее влияние на масличность, когда у большинства изучаемых сортов, кроме Саратовского 85, наблюдалась средняя взаимосвязь. В этот период наиболее весомый вклад количества осадков в маслообразовательный процесс в семенах отмечен у сортов Скороспелый 87 и Саратовский 20 (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,64$  и  $0,65$  соответственно).

В августе (рост и налив семян) установлена слабая отрицательная корреляция между осадками и содержанием масла у всех сортов. В сентябре (физиологическая-полная спелость) у четырех сортов (Саратовский 21, Степной 82, Саратовский 85 и Саратовский 86) зафиксирована корреляция средней степени между данными показателями.

В исследованиях Ю.Н. Суворовой отмечено, что при формировании урожайности семян и сбора масла лимитирующими факторами являлись условия года при значительной доле взаимодействия факторов «год» x «сортообразец». По результатам изучения масличность семян сортообразцов в основном зависит от влагообеспеченности августа [9].

Корреляционный анализ связи между температурным режимом и масличностью семян подсолнечника показал отрицательную взаимосвязь данных показателей у всех изучаемых сортов (табл. 6).

Самая высокая отрицательная корреляция в период «Всходы-бутонизация» зафиксирована в июне у сорта Саратовский 82, в то время как у большинства сортов взаимосвязь данных показателей была слабой или близкой к слабой.

Во второй половине июля (цветение) сорта Саратовский 82 и Сластена показали высокую обратную связь температуры с содержанием масла в семенах. Остальные сорта коррелировали в средней степени в пределах от  $r = -0,4$  у Скороспелого 87 до  $r = -0,67$  у Степного 81.

Таблица 6

### Корреляционный анализ (температура-масличность)

Сорт	Месяц							
	июнь		июль		август		сентябрь	
	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>	r	r <sup>2</sup>
Скороспелый 87	-0,23	0,05	-0,40	0,16	-0,50	0,25	-0,29	0,08
Саратовский 20	-0,10	0,01	-0,48	0,23	-0,48	0,23	-0,15	0,02
Саратовский 21	-0,17	0,03	-0,46	0,21	-0,35	0,12	-0,45	0,20
Степной 81	-0,32	0,10	-0,67	0,45	-0,61	0,37	-0,34	0,12

Степной 82	-0,31	0,10	-0,60	0,36	-0,39	0,15	-0,44	0,19
Саратовский 85	-0,21	0,04	-0,50	0,25	-0,24	0,06	-0,63	0,40
Саратовский 86	-0,21	0,04	-0,49	0,24	-0,31	0,10	-0,54	0,29
Саратовский 82	-0,62	0,38	-0,72	0,52	-0,47	0,22	-0,44	0,19
Сластена	-0,29	0,08	-0,84	0,71	-0,69	0,48	-0,40	0,16

В августе (рост и налив семян) почти у всех сортов, кроме Саратовского 85 ( $r = -0,24$ ), выявлена средняя корреляционная связь. В сентябре (физиологическая-полная спелость) Саратовский 85, наоборот, выделился самой высокой корреляционной связью по сравнению с другими исследуемыми сортами.

Наибольший вклад температурного режима в маслонакопление наблюдался у Саратовского 82 (38%) во время периода «Всходы-бутонизация», у Сластены – в период цветения (71%) и роста-налива семян в августе (48%), у Саратовского 85 – в физиологическую-полную спелость (40%).

### Выводы

Самые благоприятные условия для накопления масла отмечены в 2013, 2017 и 2019 гг.

Сорт Степной 82 наиболее стабильно по сравнению с другими сортами показывал высокую масличность на протяжении 9 лет проведения исследований. Также достоверно высокую масличность в течение 7–8 лет исследований продемонстрировали сорта Саратовский 21, Саратовский 85 и Саратовский 86.

Доля воздействия на масличность фактора сорта (А) составила 14,7%, условий года (В) – 66,59%, взаимодействия факторов (АВ) – 12,9%.

За годы исследований наблюдалась слабая вариабельность масличности сортов с коэффициентом вариации от 4,7% у сорта Скороспелый 87 до 6,55% у сорта Сластена.

В ходе корреляционного анализа в период «Всходы-бутонизация» выявлена средняя корреляционная связь между количеством осадков и масличностью у сортов Степной 81, Степной 82, Саратовский 86 и Саратовский 82. В период цветения у большинства изучаемых сортов отмечена средняя взаимосвязь данных показателей, а в августе (налив семян) – слабая отрицательная корреляция у всех сортов. В сентябре (физиологическая-полная спелость) сорта Саратовский 21, Степной 82, Саратовский 85 и Саратовский 86 показали среднюю корреляцию между количеством осадков и масличностью.

У всех изучаемых сортов за весь вегетационный период выявлена отрицательная корреляционная связь между температурным режимом и масличностью семян. В июне – первой половине июля (всходы-бутонизация) большинство сортов имело слабую или близкую к слабой корреляцию, кроме сорта Саратовский 82. Во второй половине июля (цветение) у сортов Саратовский 82 и Сластена отмечена высокая отрицательная корреляция, а у остальных сортов – средняя взаимосвязь. В августе и сентябре почти у всех сортов выявлена средняя корреляционная связь. У сорта Саратовского 85 ( $r = -0,24$ ) в августе (налив семян) наблюдалась слабая корреляционная связь температуры с масличностью, а в сентябре (физиологическая-полная спелость) – самая высокая по сравнению с другими сортами.

Наибольший вклад температурного режима в маслообразовательный процесс отмечен: в июне – у Саратовского 82 (38%); в июле и августе – у Сластены (71 и 48% соответственно); в сентябре – у Саратовского 85 (40%).

### Библиографический список

1. Бочковой А.Д., Перетягин Е.А., Хатнянский В.И., Камардин В.А., Кривошлыков К.М. Подсолнечник: особенности сортовой политики в зависимости от почвенно-климатических, технологических и социально-экономических условий // *Масличные культуры*. – 2018. – Вып. 2 (174). – С. 120.
2. Буенков А.Ю., Кудряшов С.П., Лекарев А.В., Гудова Л.А. Влияние погодных условий на урожайность подсолнечника в условиях Саратовской области // *Аграрный научный журнал*. – 2022. – № 10. – С. 25–29.
3. Васильев Д.С. Подсолнечник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 174 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
6. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / Под ред. В.М. Лукомца. – Краснодар, 2010. – 327 с.
7. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mcsx.ru/> (дата обращения: 30.01.2024).
8. Сафиоллин Ф.Н. Масличные культуры. Производство и переработка: учеб. пособие. – Казань: Матбугатйорты, 2000. – 270 с.
9. Суворова Ю.Н. Оценка основных хозяйственно ценных показателей сибирских сортообразцов подсолнечника в южной лесостепи Западной Сибири // *Масличные культуры*. – 2019. – Вып. 1 (177). – С. 10–16.
10. Шнаар Д., Адам Л., Гинанн Х. и др. Яровые масличные культуры / под общ. ред. В.А. Щербакова. – Минск: Фуаинформ, 1999. – 286 с.
11. Ярош Н.П. Изменения химического состава семян подсолнечника при выращивании в различных зонах // *Биохимия и физиология масличных растений*. – 1967. – Вып. 2. – С. 222–232.
12. Aldemir M., Tan A.S., Altunok A. Performance of some confectionary sunflower varieties in Aegean region of Turkey // *Proc. of 19th Intern. Sunfl. Conf., Edirne, Turkey*. – 2016. – 29 May–2 June. – Pp. 563–570.
13. Pourdad S.S., Beg A. Sunflower production: hybrids versus open pollinated varieties on dry land // *Helia*. – 2008. – Vol. 31, № 48. – Pp. 155–160.

### EFFECT OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE OIL CONTENT OF SUNFLOWER IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

E.K. BARNASHOVA<sup>1</sup>, A.YU. BUENKOV<sup>2</sup>, S.P. KUDRYASHOV<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

<sup>2</sup>Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region)

*The aim of the work was to study the effect of precipitation and temperature during the vegetative season on the oil content of the studied sunflower cultivars. The article examines the dynamics of changes in the oil content of the sunflower cultivars selected by the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region” for 2010–2019. It was revealed that the most favorable conditions for oil accumulation were observed in 2013, 2017 and 2019. The cultivar Stepnoy 82 showed the most constant high oil content*

(49.45%) compared to other cultivars during the 9-year research period. The method of two-factor analysis of variance determined the share of the effect on the oil content of cultivar factors (A) – 14.7%, year conditions (B) – 66.59% and their interaction (AB) – 12.9%. An average correlation between the amount of precipitation and the oil content in the germination-budding period (June – first half of July) was observed in the cultivars Stepnoy 81, Stepnoy 82, Saratovskiy 86 and Saratovskiy 82. During flowering (second half of July) there was an average correlation ( $r = 0.31–0.65$ ) between these indicators in most of the cultivars studied; during seed filling (August) there was a weak negative correlation in all cultivars. During the period of physiological seed maturity (September), the cultivars Saratovskiy 21, Stepnoy 82, Saratovskiy 85 and Saratovskiy 86 showed an average correlation between the amount of precipitation and the oil content. There was a negative correlation between the temperature regime and the oil content of the seeds of the cultivars studied throughout the vegetative season. The greatest contribution of precipitation to the oil formation process was observed in July in the cultivars Skorospely 87 (41%) and Saratovskiy 20 (42%), and the greatest contribution of temperature was observed in July and August in the cultivar Slastena (71 and 48% respectively). There was a slight variation in the oil content between cultivars over the years, ranging from 4.7% in Skorospely 87 to 6.55% in Slastena.

**Keywords:** sunflower, cultivar, oil content, correlation, precipitation, temperature, vegetative period.

## References

1. Bochkovoy A.D., Peretyagin E.A., Khatnyansky V.I., Kamardin V.A., Krivoslykov K.M. Sunflower: features of variety politics depending on the soil and climatic, technological, social and economic conditions (review). *Maslichnye kul'tury*. 2018;2(174):120–134. (In Russ.)
2. Buenkov A. Yu., Kudryashov S.P., Lekarev A.V., Gudova L.A. Influence of weather conditions on sunflower yield in the conditions of the Saratov region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022;10:25–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp25-29>
3. Vasiliev D.S. *Sunflower*. Moscow, USSR: VO “Agropromizdat”, 1990:174. (In Russ.)
4. Dospekhov B.A. *Field experiment methodology*. Moscow, USSR: Agropromizdat, 1985:351. (In Russ.)
5. Zaytsev G.N. *Methodology of biometric calculations*. Moscow, USSR: Nauka, 1973:256. (In Russ.)
6. *Methodology for conducting field agrotechnical experiments with oilseeds*. Ed. by V.M. Lukomets. Krasnodar, Russia, 2010:327. (In Russ.)
7. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (In Russ.) [Electronic source]. URL: <http://www.mcx.ru/> (accessed: January 30, 2024).
8. Safiollin F.N. *Oilseeds. Production and processing*. Kazan, Russia: Matbugatyorty, 2000:270. (In Russ.)
9. Suvorova Yu.N. Estimation of valuable traits of the Siberian sunflower samples in southern forest-steppe of the Western Siberia. *Maslichnye kul'tury*. 2019;1(177):10–16. (In Russ.)
10. Spaar D., Adam L., Gienapp H., et al. *Spring oilseed crops*. Minsk, Belarus: Fuainform, 1999:286. (In Russ.)
11. Yarosh N.P. Changes in the chemical composition of sunflower seeds when grown in different zones. *Biokhimiya i fiziologiya maslichnykh rasteniy*. 1967;2:222–232. (In Russ.)
12. Aldemir M., Tan A.S., Altunok A. Performance of some confectionary sunflower varieties in the Aegean region of Turkey. *19th Intern. Sunfl. Conf. May 29 – June 2, 2016*. Edirne, Turkey, 2016:563–570.

13. Pourdad S.S., Beg A. Sunflower production: hybrids versus open pollinated varieties on dry land. *Helia*. 2008;31(48):155–160.

### Сведения об авторах

**Барнашова Екатерина Константиновна**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: k.barnashova@gmail.com; тел.: (499) 976–18–18

**Бунков Андрей Юрьевич**, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории масличных культур, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока; Российская Федерация, г. Саратов, ул. Тулайкова, 7; e-mail: raiser\_saratov@mail.ru; тел.: (8452) 64–76–88

**Кудряшов Сергей Петрович**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории масличных культур, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока; Российская Федерация, г. Саратов, ул. Тулайкова, 7; e-mail: raiser\_saratov@mail.ru; тел.: (8452) 64–76–88

### Information about the authors

**Ekaterina K. Barnashova**, CSc (Ag.), Associate Professor at the Department of Genetics, Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–18–18; e-mail: k.barnashova@gmail.com)

**Andrey Yu. Buenkov**, CSc (Ag.), Senior Research Associate at the Laboratory of Oilseeds, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region (7 Tulaykova St., Saratov, 410010, Russian Federation; phone: (8452) 64–76–88; e-mail: raiser\_saratov@mail.ru)

**Sergey P. Kudryashov**, CSc (Ag.), Leading Research Associate at the Laboratory of Oilseeds, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region (7 Tulaykova St., Saratov, 410010, Russian Federation; phone: (8452) 64–76–88; e-mail: raiser\_saratov@mail.ru)

## ДИНАМИКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО ПРИЗНАКАМ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ИХ ДОЧЕРЕЙ В ПАЛЕВО-ПЕСТРОЙ ПОПУЛЯЦИИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Н.С. АЛТУХОВА<sup>1</sup>, И.Н. ЯНЧУКОВ<sup>2</sup>, А.В. САВИНОВ<sup>1</sup>, Ю.А. ИВАНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет –МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup>АО «"Московское" по племенной работе»

<sup>3</sup>ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ)

*Исследования посвящены оценке изменений генетического статуса популяции палево-пестрого скота и составляющих ее пород (симментальская и красно-пестрая) по основным признакам молочной продуктивности за период с 1994 по 2017 гг. При совершенствовании указанных массивов животных за счет быкопроизводящей группы выявлена весьма умеренная, но положительная тенденция увеличения генетического потенциала по исследуемым признакам за весь период анализа. Среднегодовой сдвиг селекционных признаков в анализируемых массивах маточного поголовья варьировал: по удою – от –1,60 до +18,64 кг; по содержанию жира и белка в молоке – от –0,001 до +0,004%; по количеству молочного жира и белка – в пределах –0,02...+0,82; по селекционному индексу – +0,10...+0,36 экономических единиц. Этот факт свидетельствует о неоптимальной системе оценки племенной ценности животных в популяции, формирования селекционных групп быков-производителей и их использования в массовой репродукции племенного поголовья в популяции.*

**Ключевые слова:** генетический тренд, палево-пестрая популяция, оценка племенной ценности, признаки молочной продуктивности, селекционный индекс.

### Введение

Отрасль молочного скотоводства построена по иерархическому принципу, когда основные селекционные группы животных сосредоточены в весьма ограниченном количестве племенных заводов (так называемой нуклеусной части популяции), естественно рассредоточенных по регионам и зонам влияния организаций по искусственному осеменению животных, а основное поголовье учтенных особей в базах данных находится в племенных репродукторах (субнуклеусной части популяции). Товарные хозяйства составляют коммерческую зону популяции, которая охватывает более 90% подконтрольных генотипов. Такая схема не является оптимальной, хотя полностью удовлетворяет запросы потребителей в комплектовании их племенными ресурсами [1].

По мнению Д.Дж. Гэррика [2], «Важность данной структуры отрасли заключается в том, что она определяет характер передачи генетических достоинств особей через популяцию, потенциальную скорость генетического прогресса, а также различия в генетических достоинствах (генетический сдвиг) между нуклеусным поголовьем и коммерческими (товарными) животными. Она также оказывает большое влияние на экономическую эффективность применения генетических и репродуктивных технологий (например, искусственное осеменение, пересадка эмбрионов, маркерная и геномная селекция)» [3].

Неструктурированная отрасль состоит из нескольких независимых или закрытых стад, каждое из которых имеет свою собственную цель разведения и развивает собственные темпы генетического улучшения по признакам, важность которых определяет, собственно, сам фермер (заводчик). Любая отрасль, как правило, проходит через эту фазу, когда каждое хозяйство работает независимо. В этом случае темпы генетического прогресса будут варьироваться от фактического прироста, достигнутого фермерами, осуществляющими эффективную программу селекции, до нулевого прироста (или генетических потерь) у фермеров, не оказывающих никакого селекционного давления [3]. Отметим, что система разведения палево-пестрого скота в России не удовлетворяет максимизации генетического прогресса в популяции, которая «разорвана» различными породами и типами, ее составляющими, а также региональными системами воспроизводства племенной продукции.

Степень эффективности селекционной программы с той или иной породой (популяцией) животных определяется отслеживанием генетических тенденций по селекционным признакам за определенный период. «Анализ трендов представляет определенный интерес как для понимания достигнутых результатов (или отсутствия таковых), так и для научно обоснованного планирования мероприятий по разведению и развитию животноводства в масштабах хозяйства, региона, страны» [4].

Средние величины селекционных признаков у животных в популяции могут меняться из года в год в силу причин, связанных с генетическими и средовыми факторами. Изменения, обусловленные воздействием окружающей среды, могут быть вызваны изменениями в технологиях кормления и содержания, а также могут быть связанными с состоянием здоровья стада. Индивидуальные показатели животных с возрастом также изменяются. Задача разделения генетических и средовых факторов явилась проблемой уже на ранних этапах развития молочного скотоводства.

Процедуры, позволяющие разграничить генетическую и средовую изменчивость признака из общей фенотипической, появились лишь после 1950 г. Оценка генетических трендов осуществлялась путем сравнения в аналогичных условиях дочерей, полученных путем искусственного осеменения от быков-производителей прошлых лет, с дочерьми от более молодых быков. Разница между средними показателями двух категорий дочерей отражала половину генетического изменения (сдвига).

С.С. Брянцев (2003) отмечает, что «за последние 100 лет генетический потенциал молочного скота увеличился почти втрое. Это достигнуто за счет интенсификации племенной работы, сопровождавшейся разработкой и внедрением новых методов повышения точности оценки племенной ценности животных (BLUP, Animal Model, Test-day Model), увеличением интенсивности отбора, внедрением новых прогрессивных технологий, способствующих сокращению интервала между поколениями, обеспечения надлежащего менеджмента (кормление и содержание) при реализации генетического потенциала» [5].

Максимизация скорости генетического прогресса в той или иной породе (популяции) сельскохозяйственных животных по экономически важным признакам является целью селекционной программы. В молочном скотоводстве для большинства производителей это означает максимизацию генетического прироста для производства молока. Еще в 1950 г. Дж. Рендел и А. Робертсон предполагали, что ежегодный прирост возможен до 2% от среднего значения. Достижение этой величины требует тщательного (главным образом за счет интенсивности) и точного отбора животных для использования в качестве родителей будущих отцов и матерей при минимизации интервалов между поколениями [6, 7].

В рамках современных программ разведения сельскохозяйственных животных (и, в частности, в молочном скотоводстве) общее генетическое улучшение по хозяйственно-полезным признакам формируется на основе четырех селекционных групп особей в следующем порядке уменьшения их влияния на генетическое улучшение: отцы

быков (45%), матери быков (30%), отцы коров (20%) и матери коров (5%). Соответственно в структуре селекционных программ эти различия находят свой отклик: максимальный вклад в генетический прогресс в популяции вносят родители быков [8, 9].

**Цель исследований:** оценка темпов генетических изменений быков-производителей по признакам молочной продуктивности в популяции палево-пестрого скота и составляющих ее пород (симментальская и красно-пестрая) в основных регионах их разведения в России.

Задачи исследований:

- формирование базы данных генетических ресурсов палево-пестрой популяции скота и пород, ее составляющих;
- конструирование модели оценки племенной ценности животных указанных массивов;
- оценка и анализ генетических трендов по отдельным признакам молочной продуктивности и их комплексу у изучаемых массивов животных.

### Материал и методы исследований

Для проведения исследований была использована информация базы данных информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС» о коровах-первотелках палево-пестрой популяции скота, лактировавших в период с 1994 по 2017 гг., и собранная в племенной зоне 5 регионов Российской Федерации (Белгородская, Воронежская, Курская, Орловская области и Алтайский край). Общее число записей о животных, включенных в анализ, составило 46456. Все первотелки – дочери 285 быков-производителей племпредприятий регионов. Массив исходной информации по отцам-производителям был сгруппирован в зависимости от даты их рождения по 6 периодам (блокам):

- I блок – 47 быков, родившихся в период с 1981 по 1997 гг. (базовая группа, средний уровень генетического потенциала по всем признакам продуктивности был условно приравнен к нулю);
- II блок – 51 бык, родившийся в период 1998–2000 гг.;
- III блок – 45 быков, родившихся в период 2001–2003 гг.;
- IV блок – 51 бык, родившийся в период 2004–2006 гг.;
- V блок – 40 быков, родившихся в период 2007–2009 гг.;
- VI блок – 51 бык, родившийся в период 2010–2011 гг.

Основными признаками молочной продуктивности для анализа были выбраны: удой за 305 дней лактации (кг); массовая доля жира, % (МДЖ); количество молочного жира, кг (КМЖ); массовая доля белка, % (МДБ); количество молочного белка, кг (КМБ) в молоке.

Для расчета генетической оценки быков-производителей, включенных в каждый блок по показателям продуктивности дочерей, была использована модель, оптимизированная для анализируемой популяции:

$$y = \mu + HYS + b_1 A_k + G_t + S_j + e_{ijk}, \quad (1)$$

где:  $y$  – вектор показателей продуктивности дочерей;  $\mu$  – популяционная константа;  $HYS$  – эффект паратипических факторов «Стадо-год-сезон» (фиксированный);  $b_1$  – коэффициент линейной регрессии показателя продуктивности на возраст дочерей;  $A_k$  – возраст отела (в месяцах);  $G_t$  – генетическая группа (блок), сформированная по году рождения быка ( $t = 6$ );  $S_j$  – рандомизированный эффект  $j$ -го быка-производителя;  $e_{ijk}$  – остаточный эффект модели, связанный с отклонением результирующего показателя от прогноза у отдельных особей.

Значения соотносительных темпов ежегодного генетического тренда по периодам (блокам) вычислялись следующим образом.

1. Определялась разница между средними значениями генетической ценности животных смежных блоков [8, 14]:

$$\Delta G = G_i - G_{i-1}. \quad (2)$$

2. Определялось среднегодовое преимущество животных одного из сравниваемых смежных блоков над другим:

$$\Delta G / \text{в год} = \Delta G / L, \quad (3)$$

где  $L$  – средний промежуток времени между датами рождения животных, составлявших смежные блоки, гг.

Для построения и анализа генетических трендов использовались только быки, индексы племенной ценности (ИПЦ) которых имели точность оценки (reliability) не менее 60% [10].

Разработка уравнений для построения селекционного индекса комплексной племенной ценности быков-производителей осуществлялась в соответствии с базовыми положениями индексной теории [11].

### Результаты и их обсуждение

На основе решений систем уравнений, составленных в соответствии с представленной моделью оценки, были вычислены средние индексы племенной ценности (ИПЦ) животных сформированных групп (блоков) в разрезе совокупной популяции и отдельных пород. Результаты представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1

#### Индексы племенной ценности быков по продуктивности дочерей (палево-пестрая популяция)

Генетические группы (блоки)	Среднее		Средние индексы племенной ценности					Селекционный индекс
	Число дочерей	Точность оценки	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг	
1981–1997 (I)	126,3	0,865	+40,2	–0,01	+1,0	–0,01	+1,3	+0,5
1998–2000 (II)	109,3	0,876	+105,3	0,00	+4,1	0,00	+3,7	+4,8
2001–2003 (III)	499,8	0,900	+71,4	+0,01	+3,6	0,00	+2,4	+4,8
2004–2006 (IV)	112,2	0,888	–127,4	+0,04	–3,2	0,00	–4,7	–1,2
2007–2009 (V)	80,1	0,869	+144,6	+0,06	+9,17	+0,01	+5,68	+15,1
2010–2011 (VI)	95,6	0,892	+21,4	–0,02	–0,22	–0,02	–0,68	–2,1

Из данных таблицы 1 следует, что среди сформированных генетических групп совокупной популяции палево-пестрого скота ИПЦ производителей имеют в основном положительные значения. Это указывает на очевидное улучшение генетических достоинств животных по рассматриваемым признакам. Тем не менее обращают на себя внимание небольшие, практически близкие к нулю значения признаков «Массовая доля жира» и «Массовая доля белка в молоке», %. Схожие тенденции в значениях ИПЦ данных признаков были выявлены нами ранее при проведении анализа использования быков-производителей в разрезе отдельных регионов [12].

Помимо отмеченных особенностей, в полученных результатах следует выделить IV и VI генетические группы быков, характеризующиеся отрицательными ИПЦ (за исключением массовой доли жира (IV блок) и удоя (VI блок), %. По всей вероятности, такая ситуация вызвана покупкой и использованием генетического материала низкоценных быков (особенно голштинской красно-пестрой породы: средний ИПЦ быков по удою в IV группе составил минус 181 кг, средний ИПЦ быков симментальской породы – минус 91 кг), ненадлежащей оценкой племенных качеств производителей или отсутствием таковой [10].

Поскольку совершенствование животных в программах селекции предусматривает генетическое улучшение не по одному, а по комплексу селекционных признаков [11, 13], для генетических групп производителей были рассчитаны величины селекционных индексов по изучаемым признакам продуктивности за весь период анализа. Ввиду того, что группы IV и VI характеризовались большим числом отрицательных ИПЦ по отдельным признакам, это отразилось и на величине их селекционных индексов (–1,2 и –2,1 соответственно). В целом же отбор быков по селекционному индексу приведет к более эффективным результатам (вследствие выявленных положительных значений индексов по совокупности признаков) по сравнению с отдельными признаками.

При анализе средних индексов племенной ценности особей среди отдельных пород, составляющих палево-пеструю популяцию, выявлено, что быки симментальской породы генетических групп I и V явились худшими с точки зрения племенной ценности как по отдельным признакам продуктивности дочерей, так и по их комплексу (табл. 2). Относительно же низких характеристик группы быков, рожденных в период с 1981 по 1997 гг. (базовый уровень), можно предположить, что в то время цели селекции, методологии оценки племенных качеств животных и системы производства значительно отличались от современных.

При рассмотрении ИПЦ генетических групп в красно-пестрой породе обнаружена схожая тенденция по характеру величин (как по отдельным признакам молочной продуктивности, так и по их комплексу) с палево-пестрой популяцией. Наихудшие ИПЦ имели животные IV блока, а I и VI группы имели противоположную величину селекционного индекса: –0,6 и +0,9 экономических единиц соответственно (табл. 3).

Несмотря на то, что полученные результаты кажутся позитивными, их нельзя назвать оптимальными в абсолютном выражении. Как отмечает В.М. Кузнецов (2015), «...относительные показатели необходимы для сравнения разных рядов; меньший уровень еще не есть меньший темп развития. Темп прироста свидетельствует о том, на сколько процентов сравниваемый уровень больше/меньше предыдущего уровня или уровня, принятого за базу... Сочетание абсолютных и относительных величин позволяет правильно отразить развитие процесса» [4]. Исходя из этого нами был рассчитан средний темп прироста, который показывает изменение средней разности за единицу времени, то есть год. Динамика ежегодных относительных темпов прироста/сокращения показателей продуктивности представлена в таблицах 4–6.

Таблица 2

**Индексы племенной ценности быков по продуктивности дочерей  
(симментальская порода)**

Генетические группы (блоки)	Среднее		Средние индексы племенной ценности					Селекционный индекс
	Число дочерей	Точность оценки	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг	
1981–1997 (I)	206,3	0,829	-139,7	0,00	-5,7	+0,01	-3,2	-1,4
1998–2000 (II)	132,8	0,798	+63,9	+0,02	+3,1	0,00	+0,5	+1,1
2001–2003 (III)	151,6	0,870	+139,3	-0,01	+4,7	0,00	+3,1	-0,1
2004–2006 (IV)	122,8	0,820	+27,7	+0,03	+2,5	-0,01	+0,8	+1,9
2007–2009 (V)	81,7	0,742	-42,5	+0,01	-1,3	0,00	-0,2	0,0
2010–2011 (VI)	106,3	0,805	-2,32	+0,03	+1,9	0,00	+0,2	+1,70

Таблица 3

**Индексы племенной ценности быков по продуктивности дочерей  
(красно-пестрая порода)**

Генетические группы (блоки)	Среднее		Средние индексы племенной ценности					Селекционный индекс
	Число дочерей	Точность оценки	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг	
1987–1997 (I)	73,7	0,859	+68,5	-0,03	+1,0	-0,01	+1,6	-0,6
1998–2000 (II)	313,1	0,873	+190,8	-0,01	+7,6	0,00	+6,2	+0,7
2001–2003 (III)	384,7	0,896	+13,3	+0,01	+1,2	+0,01	+0,7	+0,1
2004–2006 (IV)	115,3	0,892	-280,5	-0,01	-12,9	+0,01	-9,7	-2,6
2007–2009 (V)	109,6	0,828	+135,0	+0,03	+6,8	0,00	+1,2	+2,5
2010 (VI)	431,3	0,933	+102,6	+0,01	+4,3	0,00	+3,3	+0,9

Темпы генетических изменений в группах быков-производителей относительно базового уровня (быки более старшего возраста, блок I) в пересчете на год характеризовались следующими величинами (значения представлены по палево-пестрой популяции, симментальской и красно-пестрой породам соответственно):

- по удою, кг, - +1,14; +18,64; -1,60;
- по количеству молочного жира, кг, - +0,16; +0,82; +0,12;
- по проценту содержания жира в молоке, %, - +0,002; +0,002; +0,004;
- по количеству молочного белка, кг, - +0,04; +0,40; -0,02;
- по проценту содержания белка в молоке, %, - +0,001; -0,001; +0,001;
- по селекционному индексу: +0,36; +0,22; +0,10.

Таблица 4

**Соотносительные индексы племенной ценности быков-производителей различных генетических групп по показателям продуктивности дочерей (палево-пестрая популяция)**

Генетические группы (блоки)	Средние индексы племенной ценности					Селекционный индекс
	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг	
1981–1997 (I)	0	0	0	0	0	0
1998–2000 (II)	+10,8	+0,001	+0,5	+0,001	+0,4	+0,7
2001–2003 (III)	+3,5	+0,002	+0,3	+0,001	+0,1	+0,5
2004–2006 (IV)	–14,0	+0,004	–0,4	+0,001	–0,5	–0,1
2007–2009 (V)	+6,8	+0,005	+0,5	+0,001	+0,3	+0,9
2010–2011 (VI)	–1,1	0,000	–0,1	–0,001	–0,1	–0,2

Таблица 5

**Соотносительные индексы племенной ценности быков-производителей различных генетических групп по показателям продуктивности дочерей (симментальская порода)**

Генетические группы (блоки)	Средние индексы племенной ценности					Селекционный индекс
	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг	
1981–1997 (I)	0	0	0	0	0	0
1998–2000 (II)	+33,9	+0,003	+1,5	–0,001	+0,6	+0,4
2001–2003 (III)	+31,0	–0,001	+1,2	–0,001	+0,7	+0,1
2004–2006 (IV)	+13,9	+0,003	+0,7	–0,001	+0,3	+0,3
2007–2009 (V)	+6,3	+0,001	+0,3	0,000	+0,2	+0,1
2010–2011 (VI)	+8,1	+0,002	+0,4	–0,001	+0,2	+0,2

В целом за анализируемый период в среднем наблюдается улучшение практически по всем признакам молочной продуктивности. Наибольшее улучшение выявлено по удою (за исключением красно-пестрой породы). Это стало вполне ожидаемым, поскольку исторически производству молока уделялось большее внимание, и производители получали экономическую выгоду в первую очередь за увеличение производства молока. Однако такой уровень значений не является оптимальным, поскольку темпы ежегодного генетического прогресса в популяциях молочного скота в странах с развитым племенным животноводством являются намного более высокими [14, 15]. Так, генетические изменения по удою в джерсейской породе достигли уровня +36,8...+41,0 кг/год [16]. Ежегодное генетическое улучшение в быкопроизводящей группе голштинской породы по удою составило 19–23 кг, по молочному жиру и молочному белку в количественном их выражении – 0,5–0,9 кг и 1,3–1,4 кг соответственно [17].

**Соотносительные индексы племенной ценности быков-производителей различных генетических групп по показателям продуктивности дочерей (красно-пестрая порода)**

Генетические группы (блоки)	Средние индексы племенной ценности					Селекционный индекс
	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг	
1987–1997 (I)	0	0	0	0	0	0
1998–2000 (II)	+24,4	+0,005	+1,3	+0,001	+0,9	+0,3
2001–2003 (III)	–7,9	+0,006	0,0	+0,002	–0,1	+0,1
2004–2006 (IV)	–31,7	+0,002	–1,3	+0,001	–1,0	–0,2
2007–2009 (V)	+5,1	+0,005	+0,4	0,000	0,0	+0,2
2010 (VI)	+2,1	+0,003	+0,2	0,000	+0,1	+0,1

Показатель «Массовая доля белка в молоке, %» в генетических группах симментальской породы на протяжении всего анализируемого временного ряда характеризуется отрицательными генетическими трендами, что скорее всего связано с отсутствием направленного отбора по данному признаку в селекционной программе по породе и/или с использованием быков-производителей с отрицательными индексами племенной ценности (табл. 5).

Полученные в исследованиях результаты позволяют заключить, что несмотря на некоторые положительные успехи в генетическом совершенствовании признаков продуктивности животных в системе репродукции генетического материала пород и популяций молочного скота в России, тем не менее, широко используются производители с относительно невысокими индексами племенной ценности, и это, к сожалению, допускается существующей нормативной базой в области племенного животноводства в стране. Кроме того, известно, что система использования производителей при искусственном осеменении маточного поголовья в молочном скотоводстве направлена на самое интенсивное распространение (реализацию) спермы выявленных быков-улучшателей в кратчайшие сроки, поскольку через определенный промежуток времени (несколько циклов оценки их племенных качеств) их племенная ценность снижается за счет введения в систему оценки новых, более современных в генетическом отношении генотипов, и ранее оцененные улучшатели перестают быть таковыми, переходя в разряд нейтральных и даже ухудшателей. В нашем случае сперма некоторых быков-производителей использовалась 10 и более лет. Это, например, быки симментальской породы с идентификационными номерами № 1119 (12.05.1987 г.р. – 13 лет, ухудшатель по удою (–333,1 кг), по выходу жира и белка в молоке (–9,57 кг и –10,01 кг соответственно), по селекционному индексу (–6,6 экон. ед.); № 6786 (24.03.1999 г.р. – 10 лет, по совокупности признаков отрицательный ИПЦ (–1,36 экон. ед.); № 738066734 (16.10.1999 г.р. – 10 лет, отрицательный ИПЦ только по содержанию белка (–0,14%).

## Выводы

По результатам анализа динамики генетических изменений признаков молочной продуктивности дочерей исследуемых быков-производителей палево-пестрой популяции скота и составляющих ее пород (симментальская и красно-пестрая) можно констатировать, что за период с 1994 по 2017 гг. в анализируемых массивах животных в целом наблюдалась тенденция увеличения генетического потенциала животных с незначительными периодами спада. При этом имела место синхронность динамики показателей генетических групп палево-пестрой популяции и красно-пестрой породы. Относительные среднегодовые тренды по отдельным признакам молочной продуктивности и их комплексу варьировали в узком диапазоне и не являются оптимальными с точки зрения совершенствования массивов животных (пород, популяций). Тем не менее следует отметить, что система организации оценки и отбора быков-производителей по комплексу признаков явится более эффективной, поскольку по установленным результатам улучшение происходит сразу по совокупности селекционных признаков.

В целях генетического совершенствования популяции палево-пестрого скота предлагаем пересмотреть методические и нормативные основы оценки племенной ценности животных (в частности, быков-производителей). Для максимизации генетического прогресса рекомендуем не допускать «расчленения» популяции на породы, поскольку в этом случае охватывается меньший объем данных о животном и его родственниках, что сказывается на точности оценки.

## Библиографический список

1. *Harris D.L., Stewart T.S., Arboleda C.R.* Animal Breeding Programmes. A Systematic Approach to their Design. USDA-ARS. AAT-NC8. – 1984. – 14 p.
2. *Garrick D.J.* The importance of industry structure. In: Proc. of A.L. Rae Symposium on Animal Breeding and Genetics. Massey University, New Zealand. – 1993. – Pp. 110–119.
3. *Kabirul I.K.* Development of models for the genetic improvement of dairy cattle under cooperative dairying conditions in Bangladesh. Thesis. – 2009. – P. 342.
4. *Кузнецов В.М.* Исторические тренды в молочном скотоводстве России и США. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. – 64 с.
5. *Брянцев С.С.* Повышение генетического потенциала черно-пестрого голштинизированного скота и его реализация в хозяйствах Ленинградской области: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2003. – 115 с.
6. *Van Tassell C.P., Van Vleck L.D.* Estimates of genetic selection differentials and generation intervals for four paths of selection. J. Dairy Sci. – 1991. – Vol. 74. – Pp. 1078–086.
7. *Nicolazzi E.L.* New trends in dairy cattle genetic evaluation (PhD Dissertation in English). Universita Cattolica del Sacro Cuore Piacenza, 2010. – P. 182.
8. *Янчуков И.Н.* Научно-практические основы системы племенной работы с молочным скотом на региональном уровне управления: Дис. ... д-ра с.-х. наук. – М.: РГАЗУ, 2012. – 345 с.
9. *Кузнецов В.М.* Разработка оптимальных программ селекции в молочном скотоводстве // Зоотехния. – 1996. – № 1. – С. 5.
10. *Харитонов С.Н., Сермягин А.А., Игнатьева Л.П.* и др. Методика оценки генетической ценности быков-производителей на региональном и федеральном уровнях управления племенными ресурсами. – Дубровицы: Всероссийский

научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л.К. Эрнста, 2019. – 78 с.

11. Hazel L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. – 1943. – Vol. 28. – Pp. 476–490.

12. Алтухова Н.С., Янчуков И.Н., Савинов А.В., Иванов Ю.А. Сравнительная оценка племенной ценности быков-производителей симментальской породы на породном и региональных уровнях управления // Научно-практическое обеспечение интенсивного развития животноводства и кормопроизводства на современном этапе: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня основания Казахского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. Алматы, 14–15 июня 2023 г. – Алматы: ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», 2023. – Т. 2. – С. 84–91.

13. Трухачев В.И., Злыднев Н.З., Селионова М.И. Индексы племенной ценности в современном молочном скотоводстве // Главный зоотехник. – 2014. – № 1. – С. 8–14.

14. Харитонов С.Н., Янчуков И.Н., Ермилов А.Н., Осадчая О.Ю. Оценка генетического тренда по основным признакам молочной продуктивности в популяции черно-пестрого скота Московской области // Зоотехния. – 2011. – № 12. – С. 5–6.

15. Кузнецов В.М. Оценка генетических изменений в стадах и популяциях сельскохозяйственных животных: Методические рекомендации. – Л.: ВНИИРГЖ, 1983. – 44 с.

16. Bravo R.M., Wilcox C.J., Littell R.C. Genetic trends for milk yield of Jerseys and correlated changes in productive and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* – 1999. – Vol. 82. – Pp. 196–204. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75224-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75224-0)

17. Masuda Y., VanRaden P.M., Misztal I., Lawlor T.J. Differing genetic trend estimates from traditional and genomic evaluations of genotyped animals as evidence of preselection bias in US Holsteins *J. Dairy Sci.* – 2018. – Vol. 101, Iss. 6. – Pp. 5194–5206. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13310>

## DYNAMICS OF GENETIC CHANGES IN SIRE ACCORDING TO THEIR DAUGHTERS' MILK PRODUCTIVITY IN THE PALE DAIRY CATTLE POPULATION

N.S. ALTUKHOVA<sup>1</sup>, I.N. YANCHUKOV<sup>2</sup>, A.V. SAVINOV<sup>2</sup>, Y.A. IVANOV<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

<sup>2</sup>JSC “Moscow” breeding”;

<sup>3</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM)

*The studies are dedicated to the evaluation of changes in the genetic status of the pale dairy cattle population and its constituent breeds (Simmental and Red-and-White breed) on the main traits of milk productivity for the period from 1994 to 2017. Throughout the analysis period, a very moderate but positive trend was observed in the improvement of the genetic potential of these animal groups through the use of sires. The average annual genetic gain of the selected traits in the analysed breeding females varied from –1.06 to +18.64 kg for milk yield, from –0.001 to +0.004% for milk fat and protein content, from –0.02 to +0.82 kg for milk fat and milk protein; the selection index was from +0.10 to +0.36 economic units. This fact indicates a suboptimal system for evaluating the breeding value of animals in the population, for the formation of selection groups of sires and their use in the mass reproduction of breeding stock in the population.*

**Keywords:** genetic trend, pale dairy cattle population, breeding value evaluation, milk productivity traits, selection index.

## References

1. Harris D.L., Stewart T.S., Arboleda C.R. *Animal breeding programmes. a systematic approach to their design*. USDA-ARS. AAT-NC8. 1984:14.
2. Garrick D.J. The importance of industry structure. *A.L. Rae Symposium on Animal Breeding and Genetics*. New Zealand: Massey University, 1993:110–119.
3. Kabirul I.K. Development of models for the genetic improvement of dairy cattle under cooperative dairying conditions in Bangladesh. PhD thesis, 2009:342.
4. Kuznetsov V.M. *Historical trends in dairy cattle breeding in Russia and the USA*. Kirov, Russia: Research Institute of the North-East, 2015:64. (In Russ.)
5. Bryantsev S.S. Increasing the genetic potential of Black-and-White Holstein cattle and its implementation in the farms of the Leningrad region. CSc (Ag) thesis: 06.02.01. St. Petersburg-Pushkin, Russia, 2003:115. (In Russ.)
6. Van Tassell C.P., Van Vleck L.D. Estimates of genetic selection differentials and generation intervals for four paths of selection. *J. Dairy Sci.* 1991;74:1078–086.
7. Nicolazzi E.L. New trends in dairy cattle genetic evaluation. PhD thesis. Universita Cattolica del Sacro Cuore Piacenza, 2010:182.
8. Yanchukov I.N. Scientific and practical basis of breeding work system with dairy cattle at the regional level of management. CSc (Ag) thesis: 06.02.07. Moscow, RSAEU, Russia, 2012:345. (In Russ.)
9. Kuznetsov V.M. Development of optimal breeding programs in dairy cattle breeding. *Zootekhnika*. 1996;1:5 (In Russ.)
10. Kharitonov S.N., Sermyagin A.A., Ignateva L.P., Melnikova E.E. et al. *Methodology for evaluating the genetic value of sires at the regional and federal levels of management of genetic resources*. Dubrovitsy, Russia: Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 2019:78. (In Russ.)
11. Hazel LN. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 1943;28:476–490.
12. Altukhova N.S., Yanchukov I.N., Savinov A.V., Ivanov Yu.A. Comparison of breeding values of Simmental sires in various level of management. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoye konferentsiya, posvyashchennaya 90-letiyu so dnya osnovaniya Kazakhskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva. June 14–15, 2023*. Almaty, Qazaqstan: TOO “Kazakhskiy NII zhivotnovodstva i kormoproizvodstva”, 2023;2:84–91. (In Russ.)
13. Trukhachev V.I., Zlydnev N.Z., Selionova M.I. Indexes of breeding value in modern dairy cattle breeding. *Glavniy zootekhnik*. 2014;1:8–14. (In Russ.)
14. Kharitonov S.N., Yanchukov I.N., Ermilov A.N., Osadchaya O.Yu. Estimating the genetic trend on the main indices of milk productivity in population of black-and-white cattle of the Moscow region. *Zootekhnika*. 2011;12:5–6. (In Russ.)
15. Kuznetsov V.M. *Estimation of genetic changes in herds and populations of farm animals: guidelines*. Leningrad, USSR: RRIFAGB, 1983:44. (In Russ.)
16. Bravo R.M., Wilcox C.J., Littell R.C. Genetic trends for milk yield of Jerseys and correlated changes in productive and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 1999;82:196–204. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75224-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75224-0)
17. Masuda Y., VanRaden P.M., Misztal I., Lawlor T.J. Differing genetic trend estimates from traditional and genomic evaluations of genotyped animals as evidence of preselection bias in US Holsteins. *J. Dairy Sci.* 2018;101(6):5194–5206. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13310>

### Сведения об авторах:

**Алтухова Наталья Сергеевна**, доцент, канд. с.-х. наук, кафедра разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: n.altukhova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–34–34

**Янчуков Иван Николаевич**, д-р с.-х. наук, генеральный директор, АО «"Московское" по племенной работе»; 142401, Российская Федерация, МО, г. Ногинск, ул. Соединительная, 7; e-mail: mos-bulls@mail.ru; тел.: (496) 514–35–80

**Савинов Антон Васильевич**, аспирант, кафедра разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a9296334115@gmail.com; тел.: (499) 976–34–34

**Иванов Юрий Анатольевич**, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5; e-mail: vim@vim.ru; тел.: (499) 171–43–49

### Information about the authors

**Natalia S. Altukhova**, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–34–34; e-mail: n.altukhova@rgau-msha.ru)

**Ivan N. Yanchukov**, DSc (Ag), General Director, JSC “Moscow” breeding” (7 Soedinitelnaya St., Noginsk, Moscow region, 142401, Russian Federation; phone: (496) 514–35–80; e-mail: mos-bulls@mail.ru)

**Anton V. Savinov**, postgraduate student, the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–34–34; e-mail: a9296334115@gmail.com)

**Yuriy A. Ivanov**, DSc (Ag), Professor, Member of the RAS, Chief Research Associate, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5 Perviy Institutskiy Proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; phone: (499) 171–43–49; e-mail: vim@vim.ru)

## ХАРАКТЕРИСТИКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ БИОХИМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КРОВИ И МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

А.Ю. ЗАГАРИН

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

*Анализ биохимического статуса крови является универсальным способом мониторинга метаболизма и общего физиологического состояния животных, что обуславливает актуальность выявления характера связей между биохимическими показателями крови и различными хозяйственно-полезными и биологическими признаками. Цель исследований заключалась в определении корреляционных связей между биохимическими параметрами крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров (на примере кросса Росс 308). Цыплят-бройлеров в количестве 258 гол. содержали в однозальном птичнике в течение 35 суток при соблюдении технологических параметров и системы кормления, рекомендуемых для данного кросса. В конце выращивания был произведен убой 18 гол. с последующим забором образцов крови и анатомической разделкой тушек. Полученные данные математически обрабатывали, рассчитывали коэффициенты корреляции Пирсона. Результаты корреляционного анализа свидетельствовали о наличии прямой связи между активностью аминотрансфераз и показателями, характеризующими развитие мышц и мясную продуктивность ( $r = +0,56-0,57$ ), активностью лактатдегидрогеназы и показателями, характеризующими развитие мышц и мясную продуктивность ( $r = +0,50-0,73$ ), концентрацией триглицеридов и массой печени ( $r = +0,51$ ), расчетными показателями белкового обмена и показателями мясной продуктивности ( $r = +0,47-0,64$ ). Отрицательная связь была установлена между уровнем глюкозы и суммой несъедобных частей тушки ( $r = -0,52$ ), а также между некоторыми абсолютными показателями белкового обмена и показателями мясной продуктивности ( $r = -0,54-0,61$ ). Результаты исследований являются важными для расширения базы данных диапазонов физиологической нормы биохимических показателей крови цыплят-бройлеров и могут быть использованы при интерпретации результатов гематологических анализов в качестве мониторинговых индикаторов обмена веществ, состояния и работы органов и уровня мясной продуктивности птицы.*

**Ключевые слова:** биохимические показатели крови, корреляция, цыплята-бройлеры, морфологические признаки, мясная продуктивность, обмен веществ.

### Введение

Кровь в организме животных выполняет множество различных функций и является универсальным источником информации о характере метаболизма. Исследования крови позволяют диагностировать отклонения в обмене веществ и общем физиологическом состоянии животных, оценить сбалансированность и полноценность кормления, качество производимой продукции, способствуют выявлению и корректровке негативных факторов. В птицеводстве, характеризующейся как наиболее развитая скороспелая отрасль [1], потребность в постоянном контроле физиолого-биохимического статуса организма особенно актуальна, поскольку сельскохозяйственная птица, относящаяся к высокопродуктивным кроссам, особенно чувствительна к действию различных стресс-факторов [2, 3].

Кроме того, оценка физиологических показателей птицы, в том числе биохимического профиля крови, является важным элементом селекционной деятельности в птицеводстве при создании новых пород и кроссов. Биохимический анализ крови предоставляет возможность осуществлять оценку функционального состояния организма птицы, работы отдельных органов, регулировать процессы белкового, углеводного, липидного и минерального метаболизма, биохимические показатели крови служат индикаторами продуктивности у многих животных [4, 5].

Представляют научный и практический интерес определение индикаторов метаболических процессов в организме птицы, поиск связи биохимического статуса крови и мышечной ткани, исследование корреляции биохимии крови и других биологических свойств животного организма [3].

Существуют работы, посвященные определению характера связи между биохимическими параметрами крови и хозяйственно-биологическими показателями различных сельскохозяйственных животных: мясной продуктивности свиней на откорме [6], показателей роста и экстерьерных признаков ремонтного поголовья свиней [7], молочной продуктивности коров [8], молочной продуктивности овцематок [9], пантовой продуктивности маралов [10], живой массы гусят-бройлеров [11], индикаторов антиоксидантной защиты кур разных направлений продуктивности [3] и других зоотехнических и биологических признаков животных. Однако в доступной научной литературе данных о связи биохимического профиля цыплят-бройлеров и их морфологическими особенностями, определяющими мясную продуктивность, накоплено недостаточно.

**Цель исследований:** определение корреляционных связей между биохимическими параметрами крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров (на примере кросса Росс 308).

### **Материал и методы исследований**

Всю опытную птицу в количестве 258 гол. содержали в одном птичнике. Система содержания цыплят – напольная с использованием глубокой подстилки (опилки). Показатели микроклимата соответствовали требованиям содержания кросса. Для обеспечения кормления птицы использовали бункерные кормушки (1 кормушка на 43 гол.), кормление осуществляли вручную ежедневно. Для организации поения птицы использовали ниппельные поилки с каплеуловителями в количестве 1 поилка на 6–7 гол. В процессе опыта в кормлении цыплят-бройлеров использовали полнорационные комбикорма с одинаковой питательностью и химическим составом в виде гранул. Содержание обменной энергии и уровень питательных и биологически активных веществ в комбикормах соответствовали рекомендациям кормления цыплят-бройлеров кросса Росс-308 (Ross бройлеры: Спецификации рационов корма: Aviagen, 2022).

В качестве ключевых биохимических показателей крови определяли и использовали в корреляционном анализе концентрацию в сыворотке крови билирубина общего и прямого, мочевины, креатинина, кальция, фосфора, общего белка, альбумина, глобулина, глюкозы, холестерина, триглицеридов, а также активность АСТ, АЛТ и лактатдегидрогеназы.

Для определения морфологических свойств цыплят-бройлеров в возрасте 35 суток в соответствии с методикой проведения исследований по технологии производства яиц и мяса птицы [12] был проведен убой 18 цыплят с последующей анатомической разделкой тушек. Учитывали предубойную живую массу птицы, убойную массу, убойный выход, отдельно взвешивали грудные, бедренные и мышцы голени, а также прочие мышцы, внутренние органы и кости.

Для определения биохимических показателей от убитых петушков были отобраны образцы крови, помещены в вакуумные пробирки с коагулянтом активатором свертывания (компания Zhejiang Gongdong Medical Technology Co., Ltd., Китай). Затем кровь в пробирках центрифугировали, отделившуюся сыворотку крови помещали в пробирки типа Эппендорф. Биохимические показатели крови определяли на базе сертифицированной независимой ветеринарной лаборатории «Шанс Био» (г. Москва).

Биометрическая обработка экспериментальных данных была произведена с помощью метода математической статистики по Н.А. Плохинскому (1969) и Е.К. Меркурьевой (1970) с использованием компьютерных программ (стандартный пакет статистического анализа Microsoft Office Excel 2016). Рассчитывали средние арифметические ( $M$ ), их стандартные ошибки ( $\pm m$ ), коэффициенты корреляции Пирсона ( $r$ ). Выявленные различия для коэффициентов корреляции считались статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ ,  $|r| \geq +0,47$ ;  $|r| \leq -0,47$ .

### Результаты и их обсуждение

Средняя живая масса цыплят-бройлеров перед убоем составила  $1922,78 \pm 17,22$  г. Средние значения признаков, характеризующих морфологические особенности и уровень мясной продуктивности, а также биохимический статус крови цыплят-бройлеров, представлены в таблицах 1, 2.

Статистически достоверные коэффициенты корреляции между биохимическими параметрами крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров представлены в таблице 3.

Аспаратаминотрансфераза (АСТ) является ферментом, катализирующим транспорт аминокруппы с аспарагиновой на альфа-кетоглутаровую кислоту, преимущественно фермент локализуется в сердце, печени, почках, поджелудочной железе, а также в скелетной мускулатуре [30]. Достоверная прямая средняя связь ( $r = +0,56$ ) активности этого фермента с убойной массой цыплят обусловлена, вероятно, непосредственным участием АСТ в реакциях белкового и энергетического метаболизма и большем росте мышечной ткани птицы вследствие интенсификации синтеза аминокислот при увеличении активности фермента [31]. Взаимосвязь продуктивности мясной птицы и активности АСТ в крови была установлена в ранних работах. Так, была рассчитана корреляция между активностью АСТ и абсолютными приростами цыплят-бройлеров, которая на протяжении всего выращивания бройлеров находилась на высоком уровне ( $r = +0,91-0,97$ ) [32].

Активность аланинаминотрансферазы (АЛТ) в свою очередь имела прямую среднюю связь ( $r = +0,57$ ) с совокупной массой мышц крыльев, шеи и туловища, при этом достоверная связь активности этого фермента с массой грудных или ножных мышц не выявлена. Уровень активности АЛТ может свидетельствовать об интенсивности белкового обмена, а также о состоянии печени, однако у птицы данный биохимический показатель не является специфичным для определения функции этого органа [33, 34]. Существуют работы, указывающие на наличие положительной связи между активностью АЛТ и откормочными качествами разных сельскохозяйственных животных [5, 6], однако вышеописанная закономерность выявлена впервые. Вероятно, наличие такой связи также связано с участием АЛТ в белковом метаболизме, и как следствие – в росте мышечной ткани, а отсутствие связи активности фермента с массой мышц груди, бедра и голени обусловлено отличием аминокислотного состава этих частей тушки от вышеназванных мышц, выявленным в ранних научных исследованиях [35].

Таблица 1

**Результаты анатомической разделки цыплят-бройлеров, n = 18**

Показатель	M±m, % от живой массы	Референсные значения, % от живой массы [13–24]	Показатель	M±m, % от живой массы	Референсные значения, % от живой массы [13–24]
Масса потрошеной тушки, г	1373,46±15,00 (71,43)	71,0	Селезенка, г	1,95±0,10 (0,10)	0,10–0,20
Грудные мышцы, г	405,12±12,23 (21,07)	22,98	Голова, г	48,26±0,85 (2,51)	-
Бедренные мышцы, г	164,84±6,94 (8,57)	15,87	Кишечник с содержимым, г	90,61±2,88 (4,71)	4,11–5,56
Мышцы голени, г	127,20±3,27 (6,62)		Кости, г	326,74±13,57 (16,99)	14,42–20,59
Мышцы шеи, туловища и крыльев, г	121,86±5,02 (6,34)	-	Железистый желудок, г	7,37±0,30 (0,38)	0,34–0,46
Сумма мышц, г	819,01±13,75 (42,60)	38,86	Масса несъедобных частей тушки, г	557,72±16,44 (29,01)	22,34–30,71
Шея, г	42,83±3,13 (2,23)	-			
Печень, г	40,64±0,72 (2,11)	1,58–2,51			
Сердце, г	7,27±0,25 (0,38)	0,49–0,91			
Мышечный желудок, г	20,46±0,66 (1,06)	0,98–2,42			
Масса съедобных частей тушки, г	1158,03±13,99 (60,23)	49,48–62,56			
Отношение съедобных частей тушки к несъедобным				2,07±0,10	1,96–2,19

**Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров, n = 18**

Показатель	M±m	Референсные значения [3, 25–29]	Показатель	M±m	Референсные значения [3, 25–29]
Общий белок, г/л	33,23±0,898	28,63–34,87	Креатинин, мкмоль/л	20,78±0,404	≈14,00
Альбумин, г/л	12,10±0,193	9,10–12,13	Холестерин, ммоль/л	3,32±0,097	2,57–3,33
Глобулин, г/л	21,13±0,766	18,60–25,47	Триглицериды, ммоль/л	0,49±0,024	0,28–0,57
АСТ, ед/л	320,94±17,679	20–350	Кальций общий, ммоль/л	2,92±0,061	2,00–4,50
АЛТ, ед/л	2,17±0,325	1,17–6,67	Фосфор, ммоль/л	2,34±0,071	0,90–1,70
Глюкоза, ммоль/л	12,44±0,345	9,9–19,3	Лактатдегидрогеназа, ед/л	2267,44± ±229,417	–
Билирубин общий, мкмоль/л	2,34±0,109	≈2,7	Альбумины / глобулины	0,58±0,014	≈0,57
Билирубин прямой, мкмоль/л	0,22±0,024	–	Мочевина / креатинин	39,44±1,859	–
Мочевина, ммоль/л	0,83±0,041	0,62–1,52	Коэффициент де Ритис	182,74± ±14,042	–

Наличие средней положительной связи ( $r = +0,57$ ) между концентрацией общего белка в сыворотке крови и массой кишечника с содержанием объясняется, очевидно, количеством поступившего и перевариваемого перед временем убоя корма, содержащего большое количество соединений белковой природы, всасывающихся в кишечнике. Кроме того, это может быть связано и с развитием тканей кишечника при наиболее высокой активности метаболизма и наибольшей интенсивности роста цыплят.

Известно, что основным резервом для роста мышечной массы является альбумин. Это объясняет обратный характер связи между соотношением съедобных и несъедобных частей тушек цыплят и концентрацией глобулина в сыворотке крови ( $r = -0,61$ ). Обратная связь уровня общего белка в крови цыплят-бройлеров и соотношения съедобных и несъедобных частей тушек ( $r = -0,54$ ) также обусловлена преобладанием глобулиновой фракции над альбуминовой (табл. 2).

Коэффициенты корреляции между биохимическими показателями крови и результатами анатомической разделки цыплят-бройлеров, n = 18

Показатель	Билирубин прямой	АСТ	АЛТ	Мочевина	Общий белок	Глюблин	Глюкоза	ЛДЛ	Триглицериды	Альбумины / Глобулины	Мочевина / Креатинин
Убойная масса	-	<b>+0,56*</b>	-	<b>+0,49*</b>	-	-	-	<b>+0,73***</b>	-	-	<b>+0,51*</b>
Убойный выход	-	-	-	-	-	-	-	<b>+0,50*</b>	-	-	<b>+0,50*</b>
Масса мышц туловища, крыльев и шеи	-	-	<b>+0,57*</b>	-	-	-	-	<b>+0,64**</b>	-	-	<b>+0,47*</b>
Масса всех мышц	-	-	-	-	-	-	-	<b>+0,51*</b>	-	-	<b>+0,49*</b>
Масса печени	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>+0,51*</b>	<b>-0,47*</b>	-
Масса шеи	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>-0,53*</b>	-
Масса головы	<b>+0,47*</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Масса кишечника (включая содержимое)	-	-	-	-	<b>+0,57*</b>	<b>+0,64**</b>	-	-	-	<b>-0,67**</b>	-
Сумма несъедобных частей тушки	-	-	-	-	-	<b>+0,52*</b>	<b>-0,52*</b>	-	-	<b>-0,54*</b>	-
Отношение съедобных частей тушки к несъедобным	-	-	-	-	<b>-0,54*</b>	<b>-0,61**</b>	<b>+0,48*</b>	-	-	<b>+0,61**</b>	-

Примечание. Уровень достоверности корреляции: \* $p \leq 0,05$ ; \*\* $p \leq 0,01$ ; \*\*\* $p \leq 0,001$ .

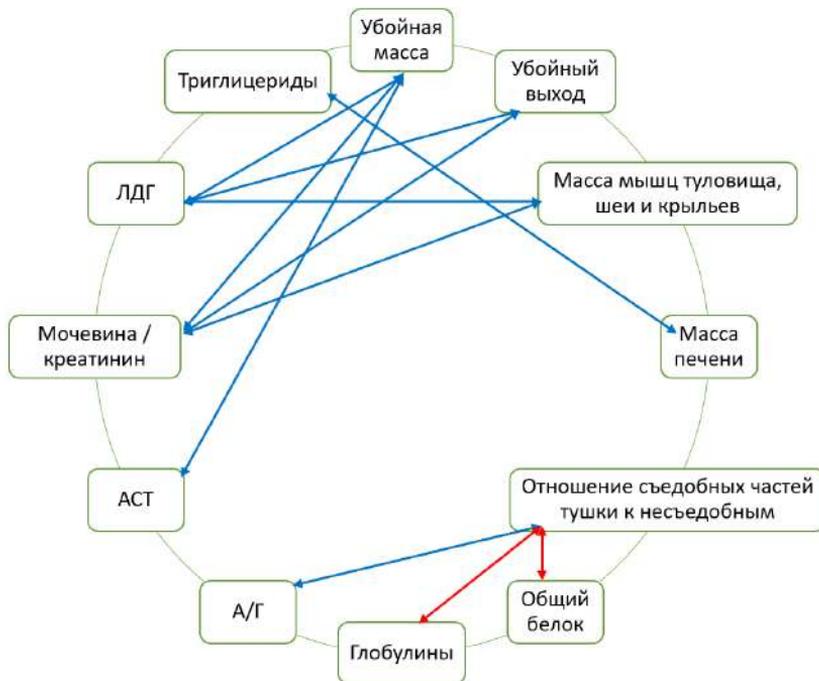
Углеводы корма являются ключевым источником энергии для птицы, что обуславливает значимость использования данных о концентрации глюкозы в крови в качестве маркера энергетического метаболизма [36]. В результате корреляционного анализа была выявлена обратная средняя связь ( $r = -0,52$ ) между уровнем глюкозы и массой несъедобных частей тушек цыплят, что косвенно свидетельствует о наличии связи между уровнем глюкозы и мясной продуктивностью птицы. Ранее была установлена высокая положительная корреляция ( $r = +0,78-0,89$ ) между яичной продуктивностью кур-несушек и концентрацией глюкозы, которую авторы объясняют потребностью биосинтетической функции репродуктивной системы кур в постоянном энергообеспечении за счет продуктов гликолиза [37]. Такое же объяснение следует рассматривать и в отношении роста скелетной мускулатуры, потребность в энергии которого обеспечивается в большой степени за счет гликолиза в анаэробных условиях. По этой же причине отмечено несколько достоверных корреляционных связей между активностью лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и наиболее часто используемыми показателями мясной продуктивности животных, поскольку ЛДГ является ферментом, катализирующим реакцию трансформации пирувата в лактат в ходе гликолиза [38]. В частности, установлена прямая средняя связь активности ЛДГ и совокупной массы мышц туловища, шеи и крыльев ( $r = +0,64$ ), совокупной массы всех мышц птицы включая грудные и ножные ( $r = +0,51$ ), убойным выходом ( $r = +0,50$ ), а также высокодостоверная прямая тесная связь активности фермента и убойной массы птицы ( $r = +0,73$ ).

Триглицериды отражают уровень липидного обмена и являются сложными эфирами трехатомного спирта глицерина и жирных кислот. Экзогенные триглицериды поступают в организм птицы с кормом, эндогенные синтезируются в печени преимущественно из углеводов [4, 30]. Это может объяснять наличие прямой средней связи ( $r = +0,51$ ) между концентрацией триглицеридов в сыворотке крови и массой печени: потребность организма птицы в большем количестве легкодоступного источника энергии обуславливала интенсификацию жиरोобразования, повышенную функциональную нагрузку на печень и рост числа гепатоцитов и, возможно, ее жировую инфильтрацию. Данная закономерность ярко выражена, например, в гусеводстве: уровень общих липидов в сыворотке гусей при обычном откорме составляет 11,0–12,0 г/л, а при откорме на жирную печень – 16,0–22,5 г/л [36].

Обнаружены достоверные корреляционные связи между расчетными параметрами биохимического статуса крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров: средняя обратная связь между отношением альбуминов к глобулинам (А/Г) и массой шеи ( $r = -0,53$ ), массой кишечника с содержимым ( $r = -0,67$ ), суммарной массой несъедобных частей ( $r = -0,54$ ) и прямая средняя связь между А/Г и отношением съедобных частей к несъедобным ( $r = +0,61$ ). Последние две корреляции объясняются тем, что альбумины являются основным резервным источником пластического материала для роста тканей, в том числе мышечных, и это позволяет использовать данный показатель в качестве маркера мясной продуктивности птицы.

Отношение мочевины к креатинину также коррелировало с показателями мясной продуктивности цыплят-бройлеров: с убойной массой коэффициент составил +0,51, с убойным выходом – +0,50. Это обусловлено тем, что отношение мочевины и креатинина характеризует напряженность белкового обмена.

В результате корреляционного анализа были выявлены связи между биохимическими параметрами крови и морфологическими свойствами цыплят-бройлеров, некоторые из которых могут быть использованы в качестве индикаторов мясной продуктивности птицы (рис.).



**Рис.** Корреляционные связи между биохимическими показателями крови и параметрами мясной продуктивности цыплят-бройлеров:  
 ↔ – прямая связь; ↔ – обратная связь

## Выводы

Таким образом, в результате корреляционного анализа были выявлены статистически значимые связи между некоторыми параметрами биохимического состава крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров кросса Росс 308. Наибольший интерес представляют биохимические индикаторы, коррелирующие с признаками, отражающими уровень мясной продуктивности цыплят-бройлеров. К их числу относились активность ферментов аминотрансфераз и лактатдегидрогеназы, абсолютные и расчетные показатели белкового обмена, уровень триглицеридов.

Полученные результаты могут быть использованы в расширении базы данных референсных значений биохимических показателей крови цыплят-бройлеров, способствуют накоплению информации об анатомических особенностях мясных кроссов сельскохозяйственной птицы и могут послужить теоретической основой при интерпретации результатов анализа биохимического состава крови цыплят-бройлеров в качестве маркеров характера метаболизма, функционального состояния и степени развития органов, а также мясной продуктивности.

## Библиографический список

1. Трухачев В.И., Лещева М.Г., Юлдашбаев Ю.А. Мясной рынок России: анализ состояния и перспективы развития // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 11. – С. 3–9.
2. Околелова Т.М., Енгашев С.В., Егоров И.А., Егорова Т.А. Оценка физиологического состояния птицы по показателям крови // Птицеводство. – 2023. – № 1. – С. 45–50.

3. Боголюбова Н.В., Некрасов Р.В., Зеленченко А.А. и др. Биохимический профиль организма кур разного направления продуктивности // Ветеринария и кормление. – 2022. – № 6. – С. 11–15.
4. Вертипрахов В.Г., Ксенофонтов Д.А., Колесник Е.А., Овчинникова Н.В. Морфо-биохимические исследования крови у сельскохозяйственной птицы: учеб. пособие. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. – 134 с.
5. Моисейкина Л.Г., Убушиева А.В., Чмидова Н.В. и др. Биохимический состав крови и продуктивность крупного рогатого скота калмыцкой породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2022. – Т. 251, № 3. – С. 172–177.
6. Шахбазова О.П. Биохимические показатели крови и их взаимосвязь с откормочными и мясными качествами у свиней разных генотипов // Ветеринарная патология. – 2011. – № 1–2 (36). – С. 100–103.
7. Гриценко С.А., Верещага О.С., Корюхов Д.А. Оценка взаимосвязей между показателями крови и продуктивными качествами ремонтных свинок различной породной принадлежности // БИО. – 2019. – № 10 (229). – С. 8–16.
8. Мкртчян Г.В. Корреляция между биохимическими показателями крови и молочной продуктивности у коров с разной массовой долей белка в молоке // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 4–2 (118). – С. 141–147.
9. Жариков Я.А. Биохимические показатели крови овцематок на первом месяце лактации и их связь с молочной продуктивностью // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 409–417.
10. Растопшина Л.В., Казанцев Д.А. Исследование взаимосвязи показателей крови с пантовой продуктивностью маралов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1 (159). – С. 115–119.
11. Маршания И.В., Суханова С.Ф., Позднякова Н.А. Связь продуктивных и гематологических показателей гусят-бройлеров, потреблявших Био-Сорб-Селен // Научное обеспечение безопасности и качества продукции животноводства: Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган, 23 мая 2019 г. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2019. – С. 144–151.
12. Салеева И.П., Лысенко В.П., Шоль В.Г. и др. Методика проведения исследований по технологии производства яиц и мяса птицы. – Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2015. – 103 с.
13. Нормативные показатели для производства бройлеров Ross 308: Справочное пособие. – Aviagen, 2022. – 12 с.
14. Котарев В.И., Иванова Н.Н. Продуктивность и масса внутренних органов цыплят-бройлеров при применении комплексной кормовой добавки // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2021. – № 4 (17). – С. 65–70.
15. Галиев Д.М., Мусин Д.М., Шацких Е.В. Влияние кормовой добавки Карбитокс на продуктивность, развитие внутренних органов и мясные качества цыплят-бройлеров // Молодежь и наука. – 2016. – № 5. – С. 55.
16. Логвинов О.Л. Повышение качества мяса цыплят-бройлеров // Зоотехническая наука Беларуси. – 2019. – № 54 (2). – С. 193–200.
17. Михалюк А.Н., Малец А.В., Дубинич В.Н. и др. Производственные испытания кормовой добавки «Полтрибак» на цыплятах-бройлерах в условиях СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. – Гродно: Гродненский государственный аграрный университет, 2019. – Т. 46. – С. 209–226.

18. *Тюрина Л.Е., Лефлер Т.Ф., Турицына Е.Г.* Влияние нетрадиционных минеральных смесей на мясную продуктивность цыплят-бройлеров // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6 (159). – С. 138–143.
19. *Калоев Б.С., Ибрагимов М.О., Псхацьева З.В.* Возможности улучшения мясных качеств цыплят-бройлеров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3 (39). – С. 118.
20. *Копысов С.А.* Влияние витамина С натурального происхождения на продуктивность цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 8. – С. 22–25.
21. *Копысов С.А., Копысова Е.В., Корниенко С.А.* Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при включении в рацион биологически активной добавки «NUTRILAITЕ витамин с плюс» // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – № 3 (11). – С. 96–99.
22. *Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В.* Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при включении в их рацион пробиотика суб-про // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1 (53). – С. 198–206.
23. *Стрельцов В.А., Фищук А.П.* Влияние пробиотической кормовой добавки на продуктивность цыплят-бройлеров // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (86). – С. 52–59.
24. *Марусич А.Г., Кузьменкова Т.С.* Убойные качества, органолептическая и дегустационная оценка мяса и бульона из мяса цыплят-бройлеров при обогащении финишного комбикорма витамином С // Современные достижения и актуальные проблемы животноводства: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию биотехнологического факультета и кафедр генетики и разведения сельскохозяйственных животных, технологии производства продукции и механизации животноводства, кормления сельскохозяйственных животных. Витебск, 12–13 октября 2023 г. – Витебск: Витебская государственная академия ветеринарной медицины, 2023. – С. 214–218.
25. *Бурмистров Е.Н.* Шанс Био: лабораторная диагностика. – М.: ООО Независимая ветеринарная лаборатория «Шанс Био», 2021. – 322 с.
26. *Садовников Н.В.* Морфофункциональные изменения в иммунных органах у цыплят разной степени физиологической зрелости до и после воздействия регуляторными пептидами: Дис. ... д-ра ветеринар. наук. – Санкт-Петербург, 1995. – 298 с.
27. *Кондрахин И.П. и др.* Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: Справочник / Под общ. ред. И.П. Кондрахина. – М.: КолосС, 2004.
28. *Сизова Е.А., Рахматуллин Ш.Г., Чурсина Н.Ю. и др.* Биохимические и морфологические показатели крови цыплят-бройлеров при различном уровне обменной энергии и минеральном составе рациона // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6 (100). – С. 340–343.
29. *Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., Йылдырым Е.А. и др.* Эффективность комплексного препарата для коррекции пищеварения у цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) при экспериментальном микотоксикозе // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57, № 4. – С. 730–742.
30. *Садовников Н.В., Придыбайло Н.Д., Верещак Н.А., Заслонов А.С.* Общие и специальные методы исследования крови птиц промышленных кроссов. – Екатеринбург: УральскаяГСХА, 2009. – 86 с.
31. *Саломатин В.В., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Ряднова Ю.А.* Влияние биологически активной кормовой добавки на морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров // Птицеводство. – 2021. – № 3. – С. 45–49.

32. Дерхо М.А., Колесник Е.А. Корреляция прироста живой массы и сохранности бройлеров кросса ISA-15 с уровнем биохимических показателей крови // *Аграрный вестник Урала*. – 2011. – № 3 (82). – С. 27–29.
33. Горлов И.Ф., Калинина Н.В., Рудковская А.В. и др. Влияние фосфатидов и бишофита на зоотехнические показатели, гематологический и иммунный статус кур-несушек кросса Хайсекс Браун // *Птицеводство*. – 2023. – № 6. – С. 19–26.
34. Кочиш И.И., Романов М.Н., Лаптев Г.Ю. и др. Методические рекомендации по использованию современных биотехнологий для оценки экспрессии генов, связанных с продуктивностью и устойчивостью птицы к неблагоприятным факторам. – М.: Сельскохозяйственные технологии, 2019. – 112 с.
35. Гоноцкий В.А. Научное обоснование, разработка и реализация технологии продуктов из мяса птицы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Москва, 2008. – 78 с.
36. Околелова Т.М., Енгашиев С.В., Егоров И.А., Егорова Т.А. Роль биохимических показателей крови в оценке физиологического состояния птицы // *Птицеводство*. – 2023. – № 2. – С. 44–51.
37. Середа Т.И., Дерхо М.А. Характеристика углеводного обмена в организме кур-несушек кросса «Ломанн белый» // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2011. – № 3 (31). – С. 334–337.
38. Турганбаева А.С., Абдыкадырова Н.С., Абдираимова Н.А., Давлетова Ч.С. Особенности активности ферментов центральной и периферической зон метаболизма у кур во второй половине эмбриогенеза и в первые дни после вылупления // *Вестник Ошского государственного университета*. – 2018. – № 3. – С. 191–195.

## CHARACTERIZATION OF CORRELATIONS BETWEEN BLOOD BIOCHEMICAL PARAMETERS AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF BROILER CHICKENS

A.YU. ZAGARIN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*Analysis of blood biochemical status is a universal way of monitoring metabolism and general physiological state of animals, which determines the relevance of identifying the nature of relationships between blood biochemical parameters and various economically useful and biological traits. The aim of the work is to determine the correlations between blood biochemical parameters and morphological features of broiler chickens (on the example of cross Ross 308). Broiler chickens in the number of 258 birds were reared in a one-room poultry house for 35 days under observance of technological parameters and feeding system recommended for the given cross. At the end of rearing, 18 chickens were slaughtered with subsequent blood sampling and anatomical cutting of carcasses. The obtained data were mathematically processed; Pearson correlation coefficients were calculated. The results of correlation analysis showed a direct relationship between the activity of aminotransferases and indicators characterizing muscle development and meat productivity ( $r = +0.56-0.57$ ), the activity of lactate dehydrogenase and indicators, characterizing muscle development and meat productivity ( $r = +0.50-0.73$ ), triglyceride concentration and liver weight ( $r = +0.51$ ), calculated indicators of protein metabolism and indicators of meat productivity ( $r = +0.47-0.64$ ). A negative relationship was found between glucose level and the sum of inedible parts of the carcass ( $r = -0.52$ ), as well as between some absolute indices of protein metabolism and indicators of meat productivity ( $r = -0.54-0.61$ ). The results of the research are important for expansion of the database of ranges of physiological norms of biochemical blood parameters of broiler chickens and can be used in interpretation of blood analysis results*

as monitoring indicators of metabolism, state and work of organs and level of meat productivity of poultry. The results of the research are important for expanding the database of ranges of physiological norms of biochemical blood indices of broiler chickens and can be used in interpreting the results of hematological analyses as monitoring indicators of metabolism, state and work of organs and level of meat productivity of poultry.

**Keywords:** blood biochemical parameters, correlation, broiler chickens, morphological traits, meat productivity, metabolism.

## References

1. Trukhachev V.I., Leshcheva M.G., Yuldashbaev Yu.A. Meat market in Russia: analysis of current state and prospects of development. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2012;11:3–9. (In Russ.)
2. Okolelova T.M., Engashev S.V., Egorov I.A., Egorova T.A. Assessment of the physiological state of poultry by blood parameters. *Ptitsevodstvo*. 2023;1:45–50. (In Russ.)
3. Bogolyubova N.V., Nekrasov R.V., Zelenchekova A.A. et al. Biochemical profile of the body of chickens of different directions of productivity. *Veterinaria i kormlenie*. 2022;6:11–15. (In Russ.)
4. Vertiprakhov V.G., Ksenofontov D.A., Kolesnik E.A., Ovchinnikova N.V. *Morpho-biochemical studies of blood in farm poultry*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022:134 c. (In Russ.)
5. Moiseikina L.G., Ubushieva A.V., Chimidova N.V. et al. Biochemical composition of blood and productivity of cattle of the Kalmyk breed. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2022;251(3):172–177. (In Russ.)
6. Shakhbazova O.P. Biochemical parameters of blood and their relationship with fattening and meat qualities in pigs of different genotypes. *Veterinary Pathology*. 2011;1–2(36):100–103. (In Russ.)
7. Gritsenko S.A., Vereshchaga O.S., Koryukhov D.A. Evaluation of the relationship between blood parameters and productive qualities of repair pigs of different breed affiliation. *BIO*. 2019;10(229):8–16. (In Russ.)
8. Mkrtchyan G.V. Correlation between biochemical indicators of blood and milk productivity in cows with different mass fraction of protein in milk. *International Research Journal*. 2022;4–2(118):141–147. (In Russ.)
9. Zharikov Ya.A. Biochemical blood values of ewes in the first month of lactation and their relation to milk productivity. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(3):409–417. (In Russ.)
10. Rastopshina L.V., Kazantsev D.A. Study of the relationship of blood indices and velvet antler production of marals. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;1(159):115–119. (In Russ.)
11. Marshania I.V., Sukhanova S.F., Pozdnyakova N.A. Relationship of productive and hematological indicators of broiler goslings consuming Bio-Sorb-Selenium. *Vserossiyskaya (natsional'naya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Nauchnoe obespechenie bezopasnosti i kachestva produktsii zhivotnovodstva. May 23, 2019*. Kurgan, Russia: Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev, 2019:144–151. (In Russ.)
12. Saleeva I.P., Lysenko V.P., Shol V.G. et al. *Methods of research on the technology of egg and poultry meat production*. Sergiev Posad, Russia: All-Russian Research and Technological Poultry Institute, 2015:103. (In Russ.)

13. Normative indicators for the production of Ross 308 broilers: reference book. Aviagen, 2022:12. (In Russ.)
14. Kotarev V.I., Ivanova N.N. Productivity and mass of internal organs of broiler chickens when using a complex feed additive. *Bulletin of Veterinary Pharmacology*. 2021;4(17):65–70. (In Russ.)
15. Galiev D.M., Musin D.M., Shatskikh E.V. Effect of feed supplements Karbitoks on productivity, development of internal organs and meat quality of broiler chickens. *Molodezh i nauka*. 2016;5:55. (In Russ.)
16. Logvinov O.L. Improving quality of broilers meat. *Zootechnical Science of Belarus*. 2019;54(2):193–200. (In Russ.)
17. Mikhalyuk V.V., Malets A.V., Dubinich V.N. et al. Production tests of Poltribak feed additive on broilers in the conditions of APO Progress-Vertelishki of the Grodno district. In: *Agriculture – problems and prospects*. Ed. by B.K. Pestis. Grodno, Belarus: Grodno State Agrarian University, 2019;46:209–226. (In Russ.)
18. Tyurina L.E., Lefler T.F., Turitsyna E.G. Influence of unconventional mineral mixtures on meat productivity of broiler chickens. *Bulletin of KSAU*. 2020;6(159):138–143. (In Russ.)
19. Kaloev B.S., Ibragimov M.O., Pskhatsieva Z.V. Possibilities of improvement of broiler meat qualities. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017;3(39):118. (In Russ.)
20. Kopysov S.A. Influence of vitamin C of natural origin on the productivity of broiler chickens of cross “Ross-308”. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017;8:22–25. (In Russ.)
21. Kopysov S.A., Kopysova E.V., Kornienko S.A. Meat productivity of broiler chickens when including in the diet biologically active additive “NUTRILAITE vitamin C plus”. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2016;3(11):96–99. (In Russ.)
22. Nikitchenko D.V., Nikitchenko B.E., Andrianova D.V. Meat productivity of broiler chickens when including sub-pro probiotic in their diet. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):198–206. (In Russ.)
23. Streltsov V.A., Fishchuk A.P. Effects of probiotic feed additive on the productivity of broiler chickens. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2021;4 (86):52–59. (In Russ.)
24. Marusich A.G., Kuzmenkova. T.C. Slaughter qualities, organoleptic and tasting evaluation of meat and broth from broiler chicken meat at enrichment of finishing mixed fodder with vitamin C. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 90-letiyu biotekhnologicheskogo fakul'teta i kafedr genetiki i razvedeniya sel'skokhozyaystvennykh zivotnykh, tekhnologii proizvodstva produktsii i mekhanizatsii zivotnovodstva, kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zivotnykh “Sovremennye dostizheniya i aktual'nye problemy zivotnovodstva”*. October 12–13, 2023. Vitebsk, Belarus: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, 2023:214–218. (In Russ.)
25. Burmistrov E.N. *Chance Bio: laboratory diagnostics*. Moscow, Russia: Nezavisimaya veterinarnaya laboratoriya “Shans Bio”, 2021:322. (In Russ.)
26. Sadovnikov N.V. Morphofunctional changes in immune organs in chickens of different degrees of physiological maturity before and after exposure to regulatory peptides. DSc (Vet) thesis: 06.02.01. St. Petersburg, Russia, 1995:298. (In Russ.)
27. *Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics*: reference book. Ed. by I.P. Kondrakhin. Moscow, Russia: KolosS, 2004. (In Russ.)
28. Sizova E.A., Rakhmatullin Sh.G., Chursina N.Yu. et al. Biochemical and morphological indices of blood of broiler chickens at different levels of metabolic

energy and mineral composition of the diet. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009;6(100):340–343. (In Russ.)

29. Vertiprakhov V.G., Grozina A.A., Yildirim E.A. et al. Efficacy of a complex preparation to correct digestion in broiler chickens (*gallus gallus* L.) in experimental mycotoxicosis. *Agricultural Biology*. 2022;57(4):730–742. (In Russ.)

30. Sadovnikov N.V., Pridybaylo N.D., Vereshchak N.A., Zaslunov A.S. *General and special methods of blood research of birds of industrial crosses*: monograph. Ekaterinburg-St. Petersburg, Russia: Ural'skaya GSKhA, 2009;86. (In Russ.)

31. Salomatina B.V., Ryadnov A.A., Ryadnova T.A., Ryadnova Yu.A. The effect of fir-tree based bioactive additive on the morphological and biochemical blood parameters in broilers. *Ptitsevodstvo*. 2021;3:45–49. (In Russ.)

32. Derkho M.A., Kolesnik E.A. Correlation of live weight gain and safety of broilers ISA-15 with the level of biochemical blood parameters. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011;3(82):27–29. (In Russ.)

33. Gorlov I.F., Kalinina N.V., Rudkovskaya A.V. et al. The effects of dietary phosphatides and bischofite on productive performance, hematological and immune statuses in Hisex Brown laying hens. *Ptitsevodstvo*. 2023;6:19–26. (In Russ.)

34. Kochish I.I., Romanov M.N., Laptev G.Yu. et al. *Guidelines for the use of modern biotechnology to assess the expression of genes associated with productivity and resistance of poultry to unfavourable factors*. Moscow, Russia: Sel'skokhozyaystvennyye tekhnologii, 2019: 112. (In Russ.)

35. Gonotskiy V.A. Scientific substantiation, development and realisation of the technology of poultry meat products. DSc (Eng) thesis: 05.18.04. Moscow, Russia, 2008:78. (In Russ.)

36. Okolelova T.M., Engashev S.V., Egorov I.A., Egorova T.A. The role of blood biochemical parameters in the assessment of the physiological state of poultry. *Ptitsevodstvo*. 2023;2:44–51. (In Russ.)

37. Sereda T.I., Derkho M.A. Characteristics of carbohydrate metabolism in the body of laying hens cross “Lohmann white”. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011;3 (31):334–337. (In Russ.)

38. Turganbaeva A.S., Abydkadyrova N.S., Abdiraimova N.A., Davletova Ch.S. Peculiarities of activity of enzymes of the central and peripheral zone of metabolism in chickens in the second half of embryogenesis and in the first days after hatching. *Bulletin of Osh State University*. 2018;3:191–195. (In Russ.)

### Сведения об авторе

**Загарин Артем Юрьевич, аспирант**, ассистент кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: azagarin@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–34–34

### Information about the author

**Artem Yu. Zagarin**, postgraduate student, Assistant of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–34–34; e-mail: azagarin@rgau-msha.ru)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЕВОДСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

В.М. КОШЕЛЕВ, М.А. РОМАНЮК, М.А. СУХАРНИКОВА,  
Н.В. ЧЕКМАРЕВА, А.П. ФРОЛОВА

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

*На протяжении последних нескольких десятилетий отрасль северного оленеводства России находится в состоянии деградации. Это проявляется в сокращении поголовья, снижении экономической эффективности производства, в отсутствии финансовых ресурсов для развития. Согласно данным государственной статистики уровень убыточности разведения домашних северных оленей в 2022 г. составил 51,73%. Государство постоянно осуществляет финансовую поддержку оленеводческих хозяйств, компенсируя до 95% текущих затрат, что позволяет им продолжать свою производственную деятельность, но не дает возможностей для развития. В статье предлагается переход от политики финансовой поддержки текущей деятельности оленеводов к поддержке кардинальной трансформации отрасли, с традиционных технологий выпаса животных к изгородному содержанию, а также к применению современных технологий убоя, переработки и производства продукции оленеводства с высокой добавленной стоимостью. Оценка такого развития на примере конкретного пилотного проекта трансформации в Чукотском автономном округе показала экономическую состоятельность предлагаемого подхода. Однако в силу отсутствия у оленеводческих хозяйств достаточных средств для инвестирования проект требует государственной поддержки и/или поиска альтернативных источников финансирования капитальных вложений и прироста рабочего капитала. Только при таком условии проект становится финансово осуществимым, а в последующем – и экономически эффективным. Кроме того, в случае реализации данного проекта и широкого распространения его результатов на территориях Арктической зоны России будут созданы благоприятные условия не только для выхода отрасли из кризиса, но и для достижения целей устойчивого развития Крайнего Севера.*

**Ключевые слова:** Арктическая зона России, северное оленеводство, технологическая трансформация, экономический эффект, инвестиционный проект, государственная поддержка.

### Введение

Общее поголовье северного оленя в мире оценивается примерно в 2,5 млн гол., из которых на долю России приходится 1,7 млн гол. Тенденция снижения поголовья проявляется во всем мире, в том числе в России, – в частности, в Арктической зоне, где содержится 90% российского поголовья. Среднегодовое снижение численности поголовья северных оленей в Арктической зоне РФ за последние 5 лет составило 2,5%.

Основными причинами депрессии отрасли являются: сокращение численности местного населения и соответствующий дефицит оленеводческих кадров; изменение природно–климатических условий, что особенно проявляется в Арктической зоне; неконтролируемый рост численности крупных хищников (волки, медведи, росомахи); увод значительных групп домашних северных оленей дикими оленями; низкая материально–техническая обеспеченность отрасли.

Известно, что значительная часть затрат оленеводов в настоящее время компенсируется за счет различных форм государственной поддержки. Например, в 2022 г.

государство дотировало 94,3% всех затрат МП СХП БМР «Островное» Билибинского района Чукотского автономного округа (ЧАО). Такая практика сложилась еще в советские времена и продолжается в течение многих десятилетий.

Тенденции сокращения поголовья, снижения экономической эффективности, деградации отрасли северного оленеводства, наметившиеся в конце 80-х – начале 90-х гг. прошлого столетия, по мнению экспертов, имеют необратимый характер, если не будут приняты меры кардинального характера, направленные на технологическое и экономическое развитие отрасли.

Кардинальные изменения в отрасли возможны при внедрении современных методов содержания и выпаса животных, новых мощностей по переработке и производства продукции оленеводства с высокой добавленной стоимостью. В статье иллюстрируются результаты экономической оценки пилотного проекта перевода северного оленеводства с технологий традиционного выпаса в лесотундровой зоне Арктики на изгородное содержание, а также на создание мощностей по первичной и глубокой переработке продукции оленеводства, обеспечивающей безотходное производство конечного продукта с высокой добавленной стоимостью. Как полагают авторы, в случае положительных результатов пилотного проекта подобные технологии могут быть широко распространены на северных территориях России.

Проект планируется к реализации в «Омолонской тундре» Чукотского автономного округа (ЧАО). Помимо развития отрасли оленеводства, предполагается, что проект создаст благоприятные условия для комплексного устойчивого развития сельской экономики и инфраструктуры, а также обеспечит повышение качества и уровня жизни местного населения, прежде всего – коренных малочисленных народов Севера, на конкретной территории.

**Цель исследований:** провести анализ тенденций и технологических трансформации отрасли оленеводства в Арктической зоне России.

### **Материал и методы исследований**

Реализация подобных масштабных проектов требует значительных инвестиций. Для анализа и оценки инвестиционных проектов в мировой практике обычно применяются методики Всемирного банка и ЮНИДО [1–5], адаптированные к условиям экономики России и предполагающие применение нескольких основополагающих инструментов: сопоставления ситуаций «с проектом» и «без проекта», альтернативной стоимости капитала и ценности денег во времени. Денежные потоки выгод и затрат для оценки эффективности проекта строятся на весь расчетный период по его шагам, и на основе потоков рассчитываются показатели NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), PI (Profitability Index), BCR (Benefit–Cost Ratio) и другие, позволяющие разносторонне оценить эффективность проекта.

Пилотный проект технологической трансформации северного оленеводства имеет ряд особенностей, требующих некоторой адаптации методики. В частности, в силу очевидной экономической неэффективности традиционной технологии содержания оленей теряется смысл сравнения ситуаций «с проектом» и «без проекта», поскольку по причине убыточности ситуации «без проекта» оценка деятельности хозяйствующего субъекта, реализующего проект, будет завышаться. Более того, при отсутствии у оленеводов свободных средств для инвестирования в проект практически теряется смысл учета альтернативной стоимости капитала, поскольку им нечего вкладывать в альтернативные направления использования. Поэтому денежные потоки проекта дисконтируются по нулевой или близкой к нулю ставке. В то же время дефицит собственных средств и ограниченные возможности

привлечения внешнего капитала вызывают необходимость значительной государственной финансовой помощи, по крайней мере – во время инвестиционной фазы реализации проекта.

### Результаты и их обсуждение

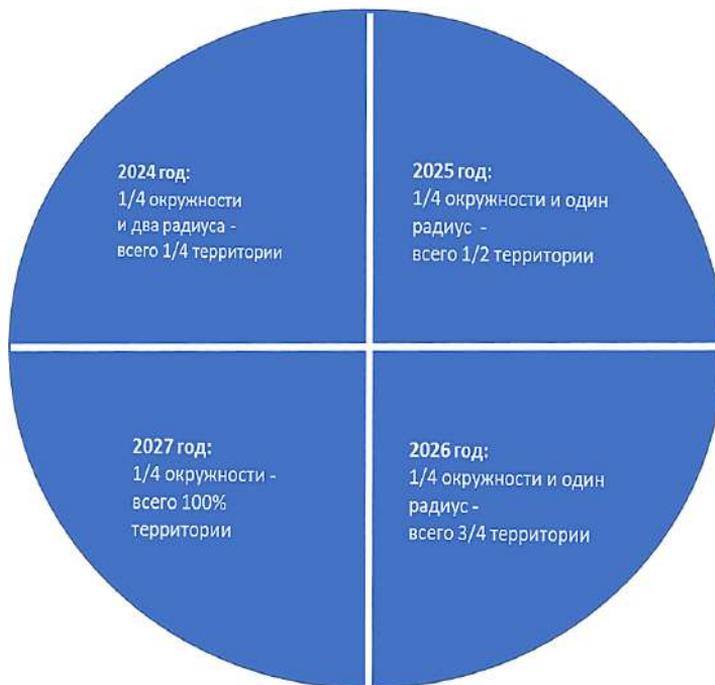
Проект имеет 3 последовательных этапа реализации, соответствующих трем связанным между собой компонентам: перевод оленеводства на изгородное содержание (1–й этап); внедрение технологий убоя и первичной переработки продукции (2–й этап); внедрение технологии глубокой переработки продукции (3–й этап). Однако поскольку компоненты проекта отделимы друг от друга и частично могут реализовываться самостоятельно или последовательно во времени, возможны несколько вариантов компоновки проекта. В частности, первый компонент внедрения новой технологии содержания оленей может быть реализован самостоятельно, то есть без последующей организации убоя и переработки продукции. Тогда инвестиционными затратами по данному подпроекту будут расходы на формирование поголовья, создание пастбища с «умной изгородью» и на необходимые для работников отрасли условия труда. Текущие расходы будут включать в себя затраты на содержание животных (кормление, ветеринарные услуги, санитарные обработки, оплата труда и др.). В качестве выгоды оленеводы получают выручку от реализации выращенного поголовья в живом виде действующим заготовителям.

Если объединить первый компонент со вторым, то есть добавить к первому компоненту убой и первичную переработку продукции, то добавятся инвестиционные затраты на убойный пункт и цех первичной переработки, к текущим затратам добавятся соответствующие расходы (убой, разделка туш и реализация их частей и побочной продукции оптовым покупателям). При этом выгода будет складываться не из выручки от продажи живых оленей, а из продукции их первичной переработки. И, наконец, третий вариант предполагает реализацию всех компонентов в едином проекте, в который включается и технология глубокой переработки. Здесь добавляются инвестиции на строительство и оборудование цеха глубокой переработки, текущие затраты на производство готовой продукции, а выручка будет формироваться исключительно за счет реализации конечной продукции с высокой добавленной стоимостью.

*1–й вариант проекта, включающий в себя компонент «Изгородь».* Проект предполагает строительство изгороди длиной 180 км вокруг территории общей площадью около 100 тыс. га, состоящей из четырех секторов, которые вводятся в эксплуатацию по очереди в течение четырех лет строительства с поэтапным размещением растущего поголовья (рис. 1). Рост поголовья обеспечивается за счет воспроизводства имеющегося стада и дополнительной поэтапной покупки ремонтного поголовья со стороны.

При расчете роста и движения поголовья принято, что родившаяся самка в среднем входит в репродуктивный возраст на третий год и приносит телят в течение 8 лет. Коэффициент сохранности поголовья при содержании в изгороди повышается с 80 до 95%. Поголовье не продается до выхода проекта на полную мощность, то есть пока не огорожена вся территория. Максимальная численность содержащегося поголовья в изгороди составляет 1000 гол.

Первый вариант проекта, включающий в себя только переход на изгородное содержание без первичной и глубокой переработки продукции, предполагает инвестиции, которые направлены на строительство изгороди, размещение в контуре телекоммуникационного оборудования (включая телеметрические ошейники для оленей), монтажные работы по установке антенн, разработку программного обеспечения, закупку транспортной техники (снегоходы и квадроциклы) и племенных животных (табл. 1, 2).



**Рис. 1.** Схема поэтапного строительства изгороди

При изгородном содержании снижаются текущие затраты на оплату труда, на отстрел волков, на приобретение отдельных видов снаряжения и др. Но при этом растут расходы в связи с необходимостью подкормки животных, содержащихся в изгороди. Расчет текущих затрат при изгородном содержании основан на типовой технологической карте [6] и произведен исходя из различий в технологиях.

Выручка от реализации оленей становится существенно выше благодаря росту численности и сохранности поголовья, а также повышению живой массы животных. Однако она отложена и начинается с пятого года проекта ввиду необходимости наращивания поголовья первые четыре года, пока строится и поэтапно вводится в эксплуатацию изгородь. Лишь в четвертый год проекта изгородь заполняется до максимальной численности поголовья (1000 гол.). Несмотря на рост выручки, ее абсолютно недостаточно, чтобы покрыть текущие и инвестиционные затраты в рамках расчетного периода. Суммарный поток чистых выгод отрицателен и составляет –190,4 млн руб. (табл. 2).

Таким образом, 1-й вариант проекта, предполагающий переход на изгородное содержание без компонентов переработки продукции, является не только неэффективным, но и абсолютно неосуществимым («минимум накопленного сальдо» составляет –204,9 млн руб. в четвертом году проекта), поскольку требует внушительных инвестиций, средств на которые у инициатора проекта нет.

*2-й вариант проекта (1 вариант + компонент «Убой и первичная переработка»).* Дополнение к первому компоненту технологии убоя и первичной переработки продукции существенно изменяет денежные потоки проекта. В частности, необходимо строительство мини-завода по убою и цеха по разделке туш с учетом их доставки и монтажа на месте проекта. Строительство планируется в третьем году проекта до начала забоя животных в четвертом году при выходе поголовья в изгороди на запланированную численность.

**Инвестиционные затраты на оборудование  
и строительство (1-й вариант проекта), тыс. руб.**  
(разработано авторами по данным коммерческих предложений)

Виды инвестиционных затрат	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	Итого
1. Строительство изгороди	27000	21000	21000	12000	81000
2. Оборудование	12600	10000	15000	20000	57600
<i>БС Лора</i>	250				
<i>Антенна</i>	50				
<i>Вышка</i>	2000				
<i>Система автономного питания</i>	3500				
<i>Метка для оленя (ошейник)</i>	5000	10000	15000	20000	50000
<i>Сервер агрегации промышленный</i>	400				
<i>Планшет защищенный</i>	400				
<i>Климатическая камера (для испытаний) с монтажом</i>	500				
<i>Измерительное оборудование</i>	500				
3. Монтажные работы	4500				4500
<i>Строительство вышки, монтаж</i>	500				
<i>Логистика до района (контейнер)</i>	3500				
<i>Обучение отладка</i>	500				
4. Разработка ПО	9535				9535
5. Транспортная техника	2400				2400
<b>Итого</b>	<b>56035</b>	<b>31000</b>	<b>36000</b>	<b>32000</b>	<b>155035</b>

Добавляются текущие затраты на убой, разделку туш, а также транспортировку продукции до места сбыта. Притоки денежных средств трансформируются из выручки от реализации оленей в живом виде в выручку от продажи результатов разделки туш (шейный отруб, лопаточный отруб, спинно-реберный отруб, поясничный отруб, тазобедренный отруб, голяшка, рулька), а также субпродуктов (язык, сердце, печень, голова, кровь) и побочной продукции (шкуры, рога). Выручка определяется исходя из цен реализации и удельного веса каждого вида продукции в общем объеме.

Результаты расчетов (табл. 3) свидетельствуют о том, что второй вариант проекта, предполагающий не только выращивание оленей, но и первичную переработку продукции, также не обеспечивает покрытия всех произведенных затрат к концу расчетного периода (табл. 3), хотя и генерирует положительный эффект в размере более 12 млн руб., начиная с 5 года проекта (см. строку «Чистые выгоды»). Суммарный поток чистой выгоды остается отрицательным (около –155 млн руб.).

**Денежные потоки проекта (1-й вариант), тыс. руб.**  
(разработано авторами по данным коммерческих предложений и инициатора проекта)

Показатели	Годы расчетного периода							
	0	1	2	3	4	5	...	11
<b>Инвестиционные затраты</b>								
Строительство изгороди		27000	21000	21000	12000			
Оборудование		12600	10000	15000	20000			
Монтажные работы		4500						
Разработка ПО		9535						
Транспортная техника		2400						
Покупка племенных животных		5000	7857	9429	11000			
<b>Всего инвестиций</b>		61035	38857	45429	43000			
<b>Текущие затраты</b>								
Подкормка	540	1422	2664	4248	3600	3600	...	3600
Средства защиты	117	308	578	921	781	781	...	781
Транспортные расходы	218	218	218	218	218	218	...	218
Оплата труда	1072	1072	1072	1072	1072	1072	...	1072
Спецодежда	61	92	146	95	146	92	...	92
Табельное снаряжение	148	149	152	147	92	146	...	146
Отстрел волков	54	54						
Управление производством	409	409	409	409	409	409	...	409
<b>Итого текущих затрат</b>	2619	3725	5239	7110	6318	6318	...	6318
<b>Выгоды</b>								
Выручка от реализации оленей, тыс. руб.					8408	8408	...	8408
Чистые выгоды	-2619	-64760	-44096	-52539	-40910	2090	...	2090
Чистые выгоды нарастающим итогом	-2619	-67379	-111475	-164014	-204924	-202834	...	-190417

*3-й вариант проекта, добавляющий ко 2-му варианту компонент «Глубокая переработка».* Данный вариант предполагает строительство цеха по глубокой переработке мяса оленей и производство и реализацию готовой продукции с высокой добавленной стоимостью конечному потребителю. В этом случае продажа отрубов (результатов разделки туш) заменяется реализацией продуктов глубокой переработки (сырокопченых колбас, полуфабрикатов, окороков, вяленых и охлажденных мясных продуктов). Для расчета затрат на производство готовой продукции, помимо расходов на электро- и водоснабжение, оплату труда персонала, требуются затраты основного (мясного) и дополнительного сырья и материалов.

Строительство цеха требует соответствующих дополнительных инвестиционных затрат, глубокая переработка – увеличения текущих затрат, но при этом выгода существенно повышается благодаря высоким ценам на готовую продукцию (табл. 4).

Несмотря на существенное увеличение выручки от реализации конечной продукции до 30,5 млн руб., начиная с четвертого года проекта, чистая выгода не покрывает инвестиционных и текущих затрат до конца расчетного периода. Суммарный поток чистой выгоды за 11 лет расчетного периода составляет около –90 млн руб.

Таким образом, анализ денежных потоков проекта для трех вариантов показал, что суммарные чистые выгоды при реализации проекта во всех трех случаях имеют отрицательные значения.

Чистые выгоды во всех вариантах имеют большие отрицательные значения во время инвестиционного периода (с первого по четвертый годы реализации проекта) и становятся положительными лишь с пятого года. Однако эти положительные потоки в итоге не покрывают затрат (инвестиционных и текущих) на их генерацию.

Следует обратить внимание на то, что чем более глубокую переработку предлагает вариант проекта, тем меньше по абсолютной величине отрицательное значение суммарного потока чистых выгод. Так, если в первом варианте сумма чистых выгод составляет –190 млн руб., то во втором – уже –155 млн руб., а в третьем –90 млн руб., то есть в принципе вариант с глубокой переработкой продукции имеет шансы выйти на положительный эффект, но в довольно отдаленной перспективе. Расчеты показали, что это может произойти уже на 14-м году проекта. Другими словами, проект в случае его реализации позволит со временем коренным образом изменить ситуацию в отрасли и создать условия для ее эффективного функционирования.

*Возможные меры поддержки реализации проекта.* Деградиацию отрасли, как показывает практика последних десятилетий, невозможно остановить простой текущей компенсацией затрат оленеводов, что практикуется государственными органами на национальном и региональных уровнях. Кардинальное улучшение ситуации требует изменения технологического уклада включая переход на изгородное содержание и организацию глубокой переработки продукции. Однако данный переход требует больших капитальных вложений в первоначальный период, а у оленеводов таких средств просто нет, то есть реализация подобных проектов является финансово неосуществимой без государственной поддержки.

В соответствии с Методикой финансовая осуществимость обеспечивается не отрицательным накопленным сальдо (чистыми выгодами в ситуации «с проектом»). В нашем случае (вариант 3-й – наилучший с точки зрения получаемых чистых выгод) без какой-либо поддержки для обеспечения финансовой реализуемости требуются накопления в сумме 260,7 млн руб. (табл. 4), и это неподъемная без государственной поддержки сумма для инициатора проекта. Вариантов такой поддержки может быть несколько. Рассмотрим некоторые из них.

Таблица 3

**Денежные потоки проекта (2–й вариант), тыс. руб.**

(разработано авторами по данным коммерческих предложений и инициатора проекта)

	Годы расчетного периода							
	0	1	2	3	4	5	...	11
<b>Всего инвестиций в оленеводство</b>		61035	38857	45429	43000			
Мини–завод по убою				23590				
Цех по переработке субпродуктов				22580				
Транспортировка на место проекта				7200				
<b>Всего инвестиций на убой и первичную переработку</b>				53370				
<b>Итого инвестиций</b>		61035	38857	98799	43000			
<b>Итого текущих затрат в оленеводстве</b>	2079	2303	2575	2862	2718	2718	...	2718
<b>Текущие затраты на убой и первичную переработку</b>								
Оплата труда					1248	1248	...	1248
Электро- и водоснабжение					133	133	...	133
Транспортировка					1029	1029	...	1029
<b>Итого текущих затрат на убой и первичную переработку</b>					2410	2410	...	2410
<b>Всего текущих затрат</b>	2079	2303	2575	2862	5128	5128	...	5128
<b>Выгоды</b>								
Выручка от реализации после убоя и первичной переработки					13524	13524	...	13524
Выручка от реализации субпродуктов					1208	1208	...	1208
Выручка от реализации прочей продукции					2484	2484	...	2484
<b>Всего выгоды</b>					17216	17216	...	17216
Чистые выгоды	-2079	-63338	-41432	-101660	-30912	12088	...	12088
Чистые выгоды нарастающим итогом	-2079	-65417	-106849	-208509	-239421	-227333	...	-154929

Таблица 4

**Денежные потоки проекта (3–й вариант), тыс. руб.**  
(разработано авторами по данным коммерческих предложений и инициатора проекта)

	Годы расчетного периода							
	0	1	2	3	4	5	...	11
<b>Всего инвестиций в оленеводство</b>		61035	38857	45429	43000			
<b>Всего инвестиций на убой</b>				53370				
<b>Цех глубокой переработки</b>								
Цех «под ключ»				30000				
Транспортировка на место проекта				3600				
<b>Всего инвестиций на глубокую переработку</b>				33600				
<b>Итого инвестиций</b>		61035	38857	132399	43000			
<b>Итого текущих затрат в оленеводстве</b>	2079	2303	2575	2862	2718	2718		2718
<b>Итого текущих затрат на убой и первичную переработку</b>					2410	2410		2410
<b>Текущие затраты на глубокую переработку</b>								
Оплата труда с начислениями					445	445	...	445
Электро- и водоснабжение					341	341	...	341
Затраты на сырье и материалы					207	207	...	207
<b>Итого текущих затрат на глубокую переработку</b>					994	994	...	994
<b>Итого текущих затрат</b>	2079	2303	2575	2862	6122	6122	...	6122
<b>Выгоды</b>								
Выручка от реализации мясной продукции					26839	26839	...	26839
Выручка от реализации субпродуктов					1208	1208	...	1208
Выручка от реализации прочей продукции					2484	2484	...	2484
<b>Всего выгоды</b>					30531	30531	...	30531
Чистые выгоды	-2079	-63338	-41432	-135260	-18590	24410	...	24410
То же нарастающим итогом	-2079	-65417	-106849	-242109	-260700	-236290	...	-89955

Первый вариант – прямые государственные инвестиции или полное финансирование капитальных затрат инициатора проекта. Данный вид поддержки полностью меняет значения показателей эффективности проекта. Суммарные чистые выгоды без поддержки в номинальном выражении (–89,96 млн руб.) благодаря поддержке приобретают положительное значение – 185,33 млн руб. (табл. 5).

Несмотря на резкое повышение эффективности и сокращение потребности в собственных средствах для финансирования (накопленное сальдо изменяется с –260,7 до –9,8 млн руб.), поддержка все же не обеспечивает финансовую реализуемость проекта, поскольку минимальное накопленное сальдо имеет отрицательное значение. Для решения этой проблемы требуется дополнительное финансирование текущих затрат первые четыре года расчетного периода (табл. 6).

Как видим, отрицательных денежных потоков больше нет, то есть проект становится финансово осуществимым. При этом показатели эффективности ожидаемо еще более возросли.

Поддержка может иметь и другие, кроме прямых инвестиций, формы. Так, широко применяется льготное кредитование, выражающееся, как правило, в снижении процентной ставки за кредит. Например, возможен вариант, когда государство финансирует капитальные вложения, а инициатор берет на себя ответственность за финансирование недостающих средств, выраженных в отрицательных потоках чистых выгод (табл. 5). Предположим, что инициатор имеет возможность взять кредит на финансирование недостающих средств с некоторым запасом (например, на 10%) в течение первых четырех лет ( $2079 \times 1,1 + 2303 \times 1,1 + 2575 \times 1,1 + 2862 \times 1,1 = 10800$  тыс. руб.) под 10% годовых (табл. 7). Возвращать основную сумму долга и проценты за его использование на протяжении инвестиционного периода (до четвертого года включительно) заемщик не в состоянии. Поэтому здесь целесообразно применить схему обслуживания кредита с отсрочкой выплаты долга и процентов на 4 года с капитализацией невыплаченных процентов.

Таблица 5

**Денежные потоки без поддержки и при полном финансировании капитальных затрат, тыс. руб.**

(разработано авторами по данным инициатора проекта)

	Годы расчетного периода							
	0	1	2	3	4	5	...	11
<b>Без поддержки</b>								
Чистые выгоды	–2079	–63338	–41432	–135260	–18590	24410	...	24410
Чистые выгоды нарастающим итогом	–2079	–65417	–106849	–242109	–260700	–236290	...	–89955
<b>С полным финансированием капитальных затрат</b>								
Госфинансирование капитальных затрат		61035	38857	132399	43000			
Чистые выгоды	–2079	–2303	–2575	–2862	24410	24410	...	24410
Чистые выгоды нарастающим итогом	–2079	–4382	–6957	–9819	14591	39001	...	185335

Таблица 6

**Денежные потоки при полном финансировании капитальных  
и текущих затрат во время инвестиционной фазы проекта, тыс. руб.**  
(разработано авторами по данным инициатора проекта)

	Годы расчетного периода							
	0	1	2	3	4	5	...	11
Компенсация текущих затрат первые 4 шага	2079	2303	2575	2862				
Чистые выгоды	0	0	0	0	24410	24410	...	24410
Чистые выгоды нарастающим итогом	0	0	0	0	24410	48819	...	195154

Таблица 7

**Денежные потоки с учетом получения и обслуживания кредита  
на финансирование недостающих средств, тыс. руб.**  
(разработано авторами по данным инициатора проекта)

	Годы расчетного периода								
	0	1	2	3	4	5	6	11	
Кредиты на финансирование текущих затрат первые 4 года с отсрочкой и капитализацией	2287	2533	2832	3148					
Долг нарастающим итогом	2287	4820	7652	10800	10800				
Начислены проценты		229	482	765	1080				
Капитализация процентов		229	482	765					
Выплата процентов (капитализация закончена)					1080				
Сумма основного долга на конец периода (с капитализацией)	2287	5049	8363	12276	12276				
Выплата долга с процентами в четвертом году					13356				
Чистое финансирование	2287	2533	2832	3148	-13356				
Чистые выгоды «до финансирования»	-2079	-2303	-2575	-2862	24410	24410	...	24410	
Чистые выгоды «после финансирования»	208	230	257	286	11053	24410	...	24410	
Чистые выгоды «после финансирования» нарастающим итогом	208	438	696	982	12035	36445	...	182779	

Расчеты показывают, что и в этом случае отрицательные значения накопленного сальдо в потоках не наблюдаются, что свидетельствует о финансовой состоятельности проекта.

Как полная государственная, так и смешанная (поддержка и кредит) поддержка, обеспечивают высокую эффективность и финансовую реализуемость проекта.

### **Выводы**

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что несмотря на сложившиеся за последние десятилетия негативные тенденции в отрасли северного оленеводства, у нее имеется значительный потенциал для развития. Но для его максимальной реализации необходим кардинальный переход от традиционных экстенсивных технологий выпаса к новым инновационным технологиям замкнутого цикла: изгородного содержания, убоя животных, переработки продукции, производства и реализации готовых продуктов с высокой добавленной стоимостью. Такая трансформация требует значительных капитальных вложений, которые не по силам оленеводам без внешней поддержки.

Государство традиционно помогает оленеводам материально и финансово. Однако эта помощь носит оперативный характер и позволяет лишь замедлять деградацию отрасли, но не дает толчка для поступательного развития. Расчеты показали, что краткосрочная, но существенная финансовая поддержка в период технологической трансформации (для нашего пилотного проекта – первые 4 года) создает благоприятные условия для перехода отрасли на полное самофинансирование в обозримом будущем. Если государство заинтересовано в выходе отрасли из кризиса и создании условий для устойчивого развития северных территорий, оно должно пересмотреть свою экономическую политику: от постоянной текущей поддержки оленеводов в сторону финансирования коренных технологических преобразований.

### **Библиографический список**

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов от 21 июня 1999 г. № ВК 477. Вторая редакция / Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ, ГК по строительству, архитектуре и жилищной политике; рук. авторского коллектива: В.В. Коссов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.
2. *Александров Д.С., Кошелев В.М., Россохина О.А., Чекмарева Н.В.* Рекомендации по разработке бизнес-плана для малых форм хозяйствования в агропромышленном комплексе. – М.: Росинформагротех, 2007. – 224 с.
3. *Александров Д.С., Кошелев В.М., Чекмарева Н.В.* Управление проектами в АПК: учебник. – М.: Юрайт, 2022. – 193 с.
4. Economic analysis of investment operations: analytical tools and practical applications / Pedro Belli, Jock R. Anderson, Howard N. Barnum, John A. Dixon, Jee-Peng Tan. – WBI development studies. Washington, 2001. – 264 p.
5. Price Gittinger. Economic Analysis of Agricultural Projects. Second Edition. The John Hopkins University Press. Baltimore and London. – 1982. – 650 с.
6. Методика составления технологической карты, расчета нормативных затрат по стадному содержанию оленей в Республике Саха (Якутия): Методическое пособие / Гос. комитет РС (Я) по делам Арктики, ФГБНУ Якутский НИИ сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова. – Якутск, 2017.

# TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION OF REINDEER HUSBANDRY IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

V.M. KOSHELEV, M.A. ROMANYUK, M.A. SUKHARNIKOVA,  
N.V. CHEKMAREVA, A.P. FROLOVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*Over the past few decades, the reindeer husbandry in Russia has gradually degraded. This is manifested in the reduction of the reindeer herd, lower economic efficiency of production, and a lack of financial resources for development. According to government statistics, in 2022 the unprofitability rate of domestic reindeer husbandry was 51.73%. The state constantly provides financial support to reindeer farms, compensating up to 95% of current costs, which allows them to continue their production activities, but does not provide opportunities for development. This paper proposes a transition from a policy of financial support for the current activities of reindeer herders to a radical transformation of the industry from traditional grazing technologies to reindeer herding in hedges, as well as to the use of modern technologies for slaughtering, processing and producing reindeer products with high added value. The evaluation of such a development on the example of a particular pilot transformation project in the Chukotka Autonomous District showed the economic viability of the proposed approach. However, due to the lack of sufficient financial resources of reindeer herders, the project requires state support and/or the search for alternative sources of financing for capital investments and working capital growth. Only under this condition will the project be financially feasible and economically effective in the future. Moreover, if this project is implemented and its results are widely disseminated in the territories of the Arctic zone of Russia, it will create favorable conditions not only for the industry to overcome the crisis, but also for achieving the goals of sustainable development of the Far North.*

**Keywords:** Arctic Zone of Russia, reindeer husbandry, technological transformation, economic effect, investment project, state support.

## References

1. Kossov V.V., Livshits V.N., Shakhnazarov A.G. *Guidelines for assessing the effectiveness of investment projects*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Russia: OAO NPO “Izd–vo “Ekonomika”, 2000:42. (In Russ.)
2. Aleksanov D.S., Koshelev V.M., Rossokhina O.A., Chekmareva N.V. *Recommendations on the development of a business plan for small–scale farming in the agro–industrial sector*. Moscow, Russia: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2007:224. (In Russ.)
3. Aleksanov D.S., Koshelev V.M., Chekmareva N.V. *Project management in agro–industrial sector*: textbook for universities. Moscow, Russia: Izdatel’sтво Yurayt, 2022:193. (In Russ.)
4. Pedro Belli, Jock R. Anderson, Howard N. Barnum, John A. Dixon, Jee–Peng Tan. *Economic analysis of investment operations: analytical tools and practical applications*. WBI development studies. Washington, USA, 2001,264.
5. Price Gittinger. *Economic Analysis of Agricultural Projects*. Second Edition. The John Hopkins University Press. Baltimore and London, 1982:650.
6. *Methodology for drawing up a technological map and calculating standard costs of reindeer herding in the Republic of Sakha (Yakutia)*: methodical manual. Gos. komitet RS (YA) po delam Arktiki, FGBNU Yakutskiy NII sel’skogo khozyaystva im. M.G. Safronova. Yakutsk, Russia, 2017. (In Russ.)

## Сведения об авторах

**Кошелев Валерий Михайлович**, заведующий кафедрой управления, д-р экон. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; email: vmkoshelev@gmail.com; тел.: (916) 623–85–15

**Романюк Мария Александровна**, доцент кафедры управления, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ma.romanyuk@yandex.ru; тел.: (916) 865–30–95

**Сухарникова Мария Анатольевна**, доцент кафедры управления, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: masukharnikova@mail.ru; тел.: (903) 583–60–85

**Чекмарева Наталья Вячеславовна**, доцент кафедры управления, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: cnv2005@yandex.ru; тел.: (910) 458–32–23

**Фролова Арина Петровна**, студент Института экономики и управления АПК, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: arina.frolova.0404@mail.ru; тел.: (905) 341–02–52

## Information about the authors

**Valeriy M. Koshelev**, DSc (Econ), Professor, Head of the Management Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (916) 623–85–15; e-mail: vmkoshelev@gmail.com)

**Maria A. Romanyuk**, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Management Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (916) 865–30–95; e-mail: ma.romanyuk@yandex.ru)

**Maria A. Sukharnikova**, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Management Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (903) 583–60–85; e-mail: masukharnikova@mail.ru)

**Natalya V. Chekmareva**, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Management Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (910) 458–32–23; e-mail: cnv2005@yandex.ru)

**Arina P. Frolova**, student of the Institute of Economics and Management in Agribusiness, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (905) 341–02–52; e-mail: arina.frolova.0404@mail.ru)

## АНАЛИЗ, ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИКРОБИОМА ИЗ СЛЕПЫХ ОТРОСТКОВ КИШЕЧНИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СВИНЕЙ

Ю.А. ЛЫСЕНКО<sup>1,2</sup>, А.Г. КОЩАЕВ<sup>2</sup>, В.А. БЕЛЯК<sup>2</sup>,  
А.В. ЛУНЕВА<sup>1</sup>, Е.Ю. МАРЧЕНКО<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева  
<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина)

*В статье представлены данные по использованию современных методов анализа, выделению и идентификации представителей микробиоценоза слепых отростков кишечника промышленных свиней, выращиваемых по интенсивной технологии. Для изучения состава микрофлоры различных таксономических групп в химусе промышленных свиней был использован бактериальный метагеномный анализ. Для выделения доминирующих представителей рода *Lactobacillus* применялись классические микробиологические методы исследования. Идентификация пробиотически значимых культур микроорганизмов осуществлялась с применением масс-спектрометрического анализа на MALDI-TOF MS в спектрометре VastoSCREEN, а также дополнительно путем определения нуклеотидной последовательности гена 16S рПНК. Проводилось полногеномное секвенирование выделенных превалирующих чистых культур рода *Lactobacillus*. В результате исследований установлено, что в слепых отростках кишечника поросят-сосунков, свиней на доращивании и откорме наблюдается многообразие состава микробных сообществ, которое с возрастом в количественном соотношении меняется. Результаты масс-спектрометрического анализа выявили наличие белковых спектров важных представителей бактерий рода *Lactobacillus*. Из них доминировали два вида *Lactobacillus amylovorus* и *Limosilactobacillus micosae*, которые дополнительно были подтверждены путем анализа их нуклеотидной последовательности гена 16S рПНК и при проведении полногеномного секвенирования.*

**Ключевые слова:** микрофлора кишечника, свиньи, выделение, идентификация, метагеномный анализ, желудочно-кишечный тракт, пробиотик, масс-спектрометрия, лактобактерии, нуклеотидная последовательность.

### Введение

Внедрение пробиотиков в программы профилактики заражения животных условно-патогенными микроорганизмами является многообещающим подходом [12, 24]. Причина этого – их пролонгированное действие в поддержании благоприятного консорциума микроорганизмов в составе просвета и слизистой желудочно-кишечного тракта животных. Как потенциальная замена антибиотиков, пробиотики полезны для улучшения иммунной функции хозяина и уменьшения возникновения кишечных заболеваний в животноводстве [9, 25]. Пробиотические агенты в составе препаратов имеют потенциал к предотвращению либо снижению агрессивного влияния условно-патогенной микрофлоры, риск попадания в организм которой с кормом довольно велик [2, 17, 18]. Кроме того, нельзя забывать о фактической способности пробионтов влиять на колонизацию бактерий в определенных частях слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, а также на секрецию органических кислот, пищеварительных ферментов и биоактивных пептидов [6, 15, 20].

Современные тенденции скрининга потенциальных штаммов-пробионтов сосредоточены в основном на решении вопроса о том, обладают ли штаммы антибактериальной функцией. В последующем встает вопрос о влиянии их на конверсионные показатели

организма животных, поэтому весьма важным является поиск различных биологических активностей молочнокислых бактерий, которые обладают различным пробиотическим потенциалом [23]. В этой связи поиск новых перспективных автохтонных штаммов-пробионтов на сегодняшний день является многообещающим направлением.

**Цель исследований:** выделение и идентификация представителей микробиоценоза слепых отростков кишечника промышленных свиней, выращиваемых по интенсивной технологии, с использованием современных методов анализа.

### Материал и методы исследований

Лабораторные исследования осуществлялись на базе структурных подразделений Кубанского ГАУ – научно-испытательного центра токсико-фармакологических исследований и разработки лекарственных средств ветеринарного применения, кормовых добавок и дезинфектантов (НИЦ Ветфармбиоцентр), центра молекулярно-генетических исследований в АПК и центра биотехнологии, а также на кафедре биотехнологии, биохимии и биофизики.

Проведение метагеномного анализа микробных сообществ и их соотношения в желудочно-кишечном тракте свиней осуществляли согласно данным источников научной литературы [7].

Состав доминирующей полезной микрофлоры рода *Lactobacillus* в содержимом слепых отростков кишечника промышленных свиней определяли и выделяли общепринятыми микробиологическими методами исследований [1, 4].

Идентификация бактериальных штаммов осуществлялась по показателям спектров рибосомальных белков на MALDI-TOF MS (спектрометр VactoSCREEN) и при автоматическом сопоставлении их с уже имеющимися данными в базе VactoSCREEN [8, 14].

Дополнительно осуществлялась идентификация превалирующих чистых культур путем определения нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК согласно данным [3, 5, 11, 13].

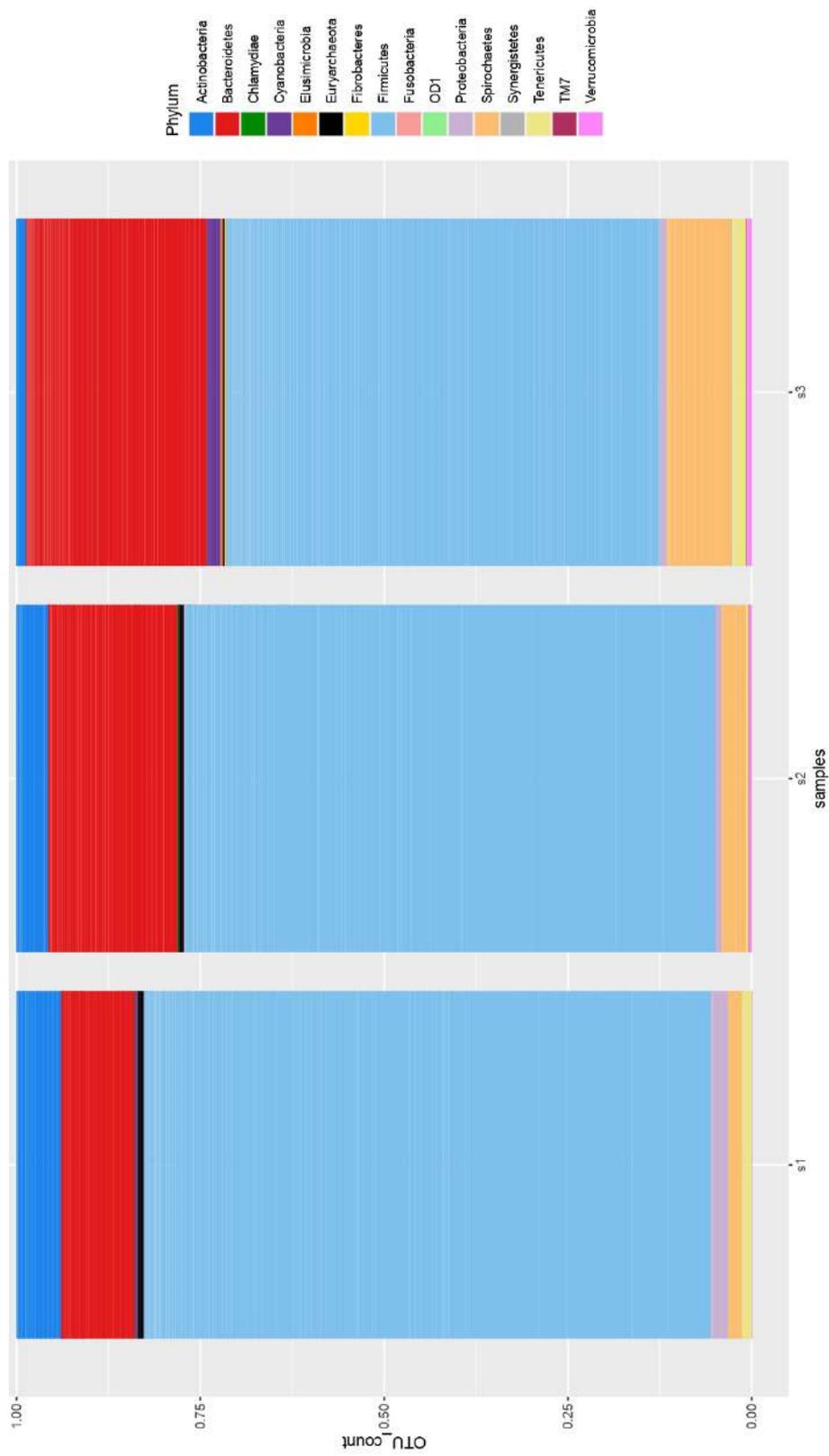
Полногеномное секвенирование выделенных превалирующих чистых культур микроорганизмов и таксономическую принадлежность изолятов осуществляли по методикам [16, 19, 21, 22, 26, 27].

### Результаты и их обсуждение

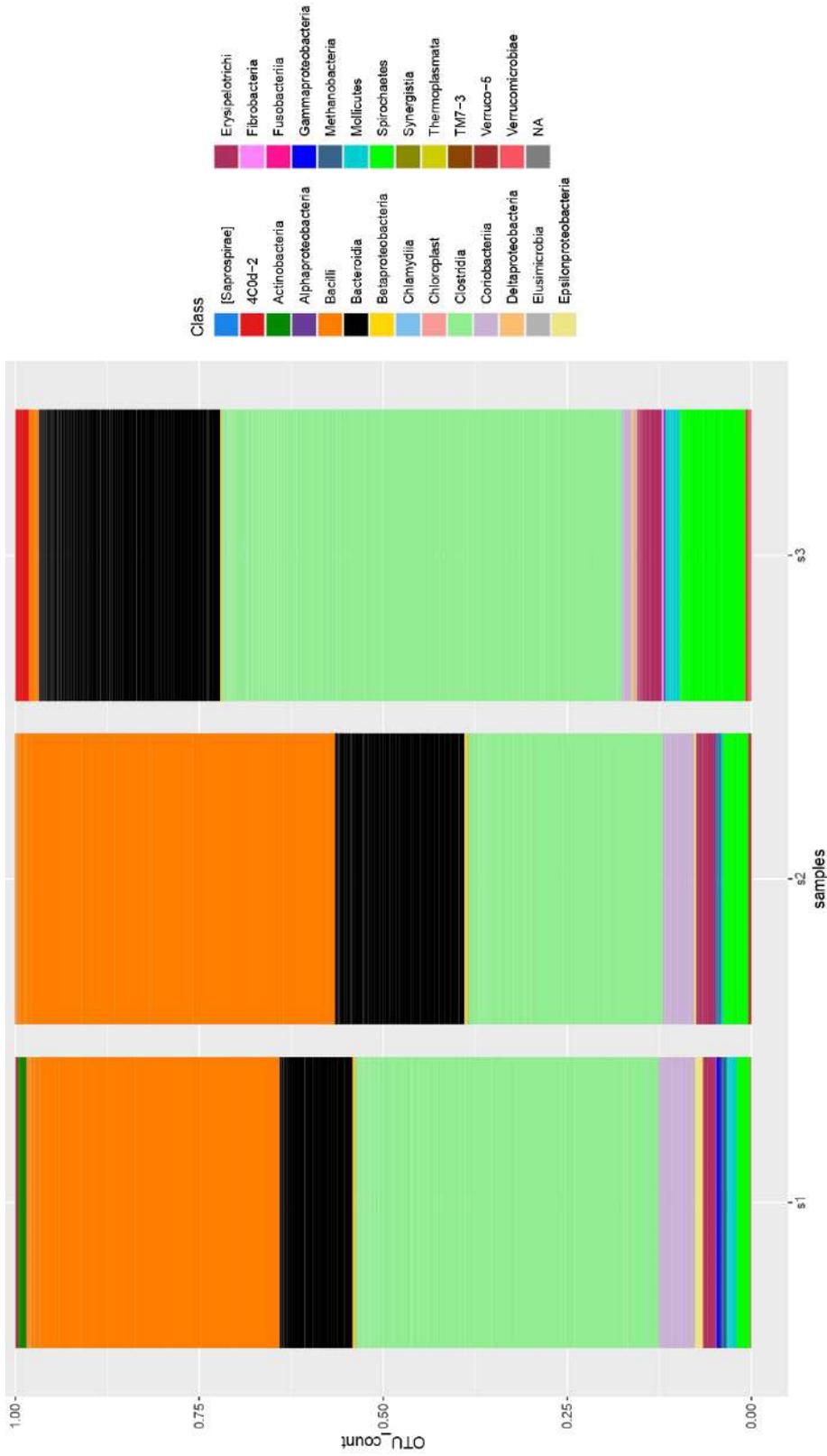
*Метагеномный анализ микробных сообществ и их соотношение в химусе слепых отростков кишечника свиней.* Результаты количественного анализа представленности таксономических групп микроорганизмов в слепых отростках кишечника свиней различных технологических групп отражены на рисунках 1–4.

В результате метагеномного анализа внутреннего содержимого слепых отростков кишечника (химуса) промышленных свиней, содержащихся при интенсивной системе откорма, были получены данные, отражающие корреляцию процентного содержания тех или иных систематических групп микроорганизмов. Исследованию подверглись образцы химуса свиней трех хозяйственно-технологических групп: сосунов (S1), доращивания (S2) и откорма (S3).

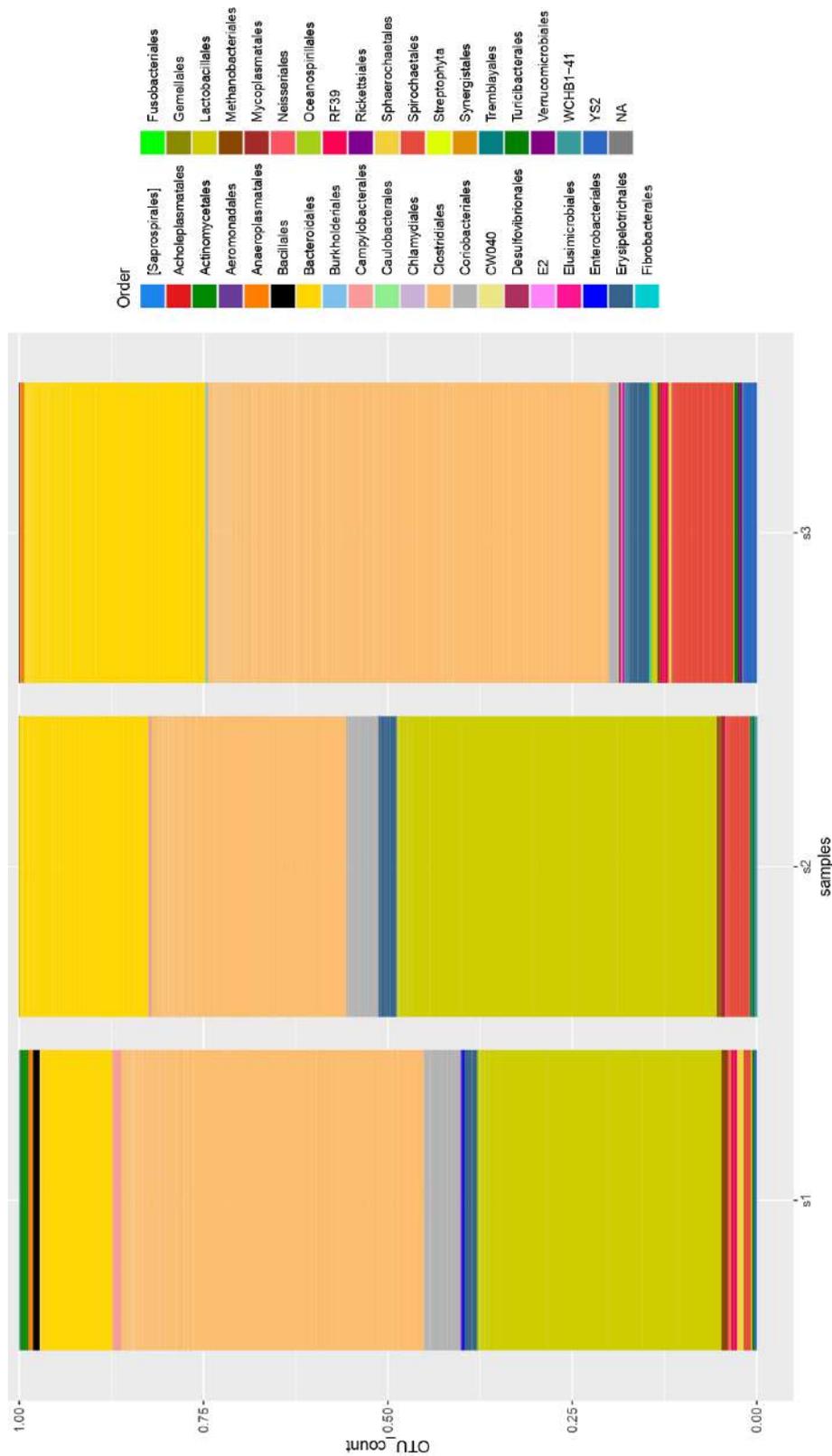
У поросят на грудном вскармливании (сосунов) выявлено преобладание типов *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria* – 79,3%; 10,7%; 6,4% соответственно. Преобладающими классами оказались *Clostridia*, *Bacilli*, *Bacteroidia* – 10,0%; 35,7%; 47,8%. Также в соответствии с систематикой превалировали отряды *Clostridiales*, *Lactobacillales*, *Bacteroidales* в соотношении 42,1%; 35,0%; 10,0% и роды *Lactobacillus*, *Ruminococcus*, *Prevotella* (51,4%; 5,7%; 3,4%).



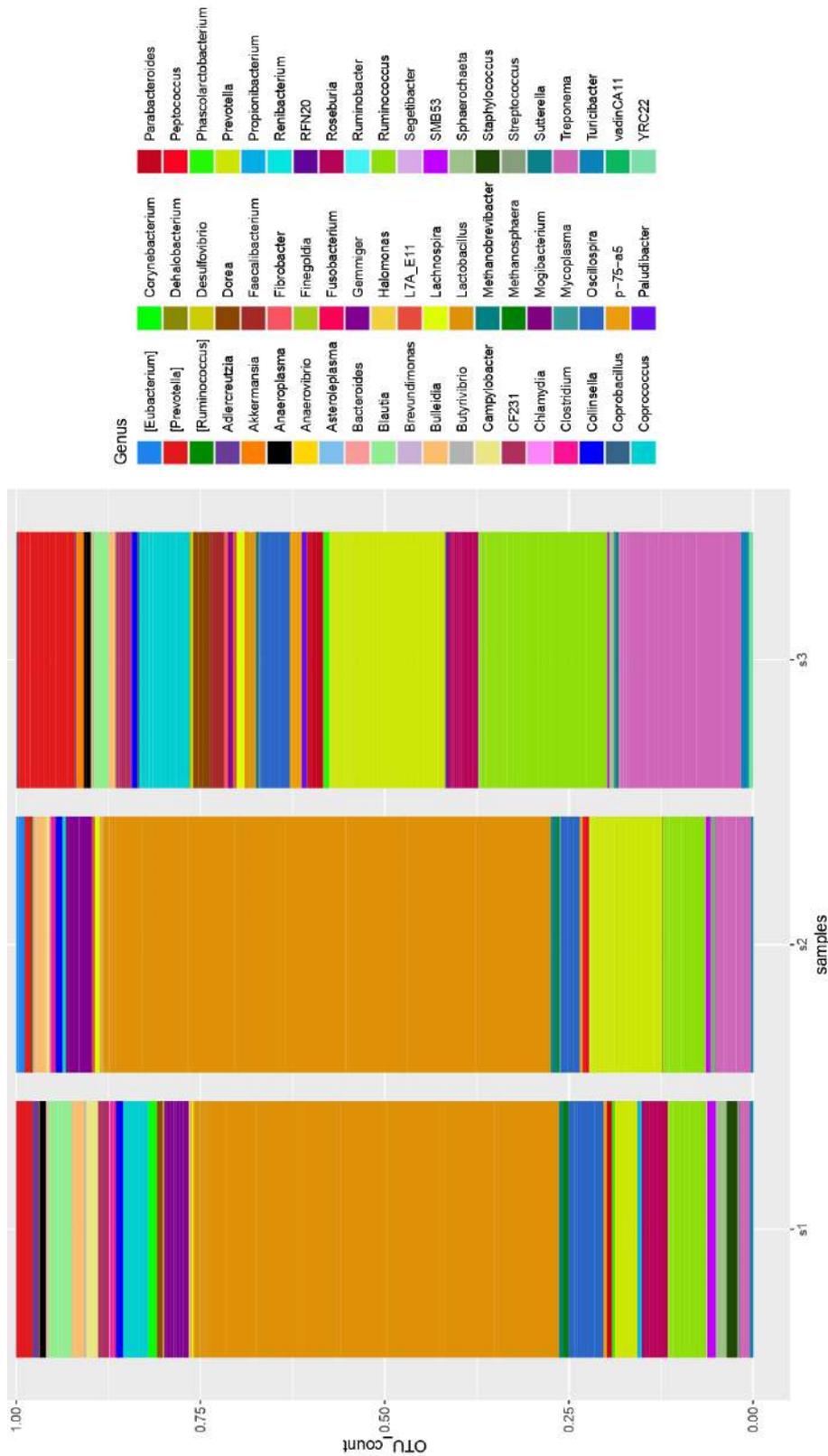
**Рис. 1.** Бактериальный состав слепого отростка кишечника свиной: s1 – пороенок-сосун; s2 – пороенок на доращивании; s3 – свинья на откорме – на уровне филы



**Рис. 2.** Бактериальный состав слепого отростка кишечника свиной: s1 – поросенок-сосун; s2 – поросенок на дорашивании; s3 – свишня на откорме – на уровне класса



**Рис. 3.** Бактериальный состав слепого отростка кишечника свиней: s1 – поросят-сосун; s2 – поросят на доращивании; s3 – свиных на откорме – на уровне отряда



**Рис. 4.** Бактериальный состав слепого отростка кишечника свинок: s1 – поросенок-сосун; s2 – поросенок на дорашивании; s3 – свинья на откорме – на уровне рода

В исследуемых образцах хозяйственно-технологической группы доращивания вариация типов *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria* составила, соответственно, 74,2%; 17,8%; 4,2%. Аналогичные первой исследуемой группе животных классы составили 23,5%; 45%; 17,8%. В данной группе свиней преобладали аналогичные первой группе отряды, имеющие показатели 26,7%; 0,7%; 18,0% и роды с показателями 62,8%; 5,7%; 10,2% соответственно.

В группе свиней на откорме в процентном соотношении аналогичные показатели первых двух групп составили: типы *Firmicutes* (60,7%), *Bacteroidetes* (27,1%), *Actinobacteria* (1,4%); классы *Clostridia* (56,4%), *Bacilli* (2,1%), *Bacteroidia* (25,7%); отряды *Clostridiales* (56,4%), *Latobacillales* (0,7%), *Bacteroidales* (25,2%); роды *Lactobacillus* (4,2%), *Ruminococcus* (18,5%), *Prevotella* (16,4%).

*Выделение и идентификация штаммов-изолятов превалирующих чистых культур рода Lactobacillus.* Классическими микробиологическими методами были выделены 6 штаммов-изолятов молочнокислых бактерий.

Для дальнейшей идентификации цельноклеточные бактерии помещали на плашку-мишень MALDI-TOF MS и их масс-спектры снимали в спектрометре VastoSCREEN с использованием прилагающегося программного обеспечения (фирма «Литех», Россия), позволяющего проводить кластерный и корреляционный анализ с возможностью субтипирования микроорганизмов [8, 10, 14].

В результате масс-спектрометрического анализа были получены белковые спектры, которые относились к следующим бактериям: *Lactobacillus amylovorus*; *Limosilactobacillus mucosae*; *Lactobacillus johnsoni*; *Lactobacillus brevis*; *Lactobacillus corineformis*. Среди них превалирующую часть составляли *Lactobacillus amylovorus* и *Limosilactobacillus mucosae*, которые в перспективе вошли в состав новой микробной кормовой добавки для применения в рационе свиней.

Для подтверждения видовой принадлежности выделенных микроорганизмов дополнительно проводился анализ их нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК. Результаты анализа представлены в таблице 1.

В результате анализа нуклеотидных последовательностей было однозначно установлено, что выделенные лактобактерии, действительно, относятся к *Lactobacillus amylovorus* и *Limosilactobacillus mucosae*. Для *Limosilactobacillus mucosae* установлена гомология с ближайшим типовым штаммом DSM 13345, и сходство составило >100,0%; у *Lactobacillus amylovorus* аналогичный показатель составил >99,5%, что дает подтверждение видовой принадлежности изучаемых штаммов бактерий.

*Полногеномное секвенирование превалирующих видов лактобактерий. Выделение ДНК из чистой культуры.* Суспензию жидкой культуры молочнокислых бактерий центрифугировали на приборе MiniSpin («Eppendorf», Германия) при 14000 об/мин в течение 5 мин. Бактериальный осадок использовали для выделения ДНК с использованием набора DNeasy® Blood & Tissue kit («QIAGEN», Германия) согласно протоколу разработчика. Качество и количество выделенной ДНК, а также подготовленных библиотек были оценены при помощи флюориметра Qubit («ThermoFisher», США).

*Полногеномное секвенирование.* Для определения полной нуклеотидной последовательности выделенных штаммов бактерий использовали секвенатор MiSeq («Illumina Inc», США). Сборку генома *de novo* осуществляли на базе программы UGENE с использованием алгоритмов SPAdes v.3.15.3. Качество сборки геномов оценивали с помощью QUAST v.5.0.2. Аннотация геномов микроорганизмов по кодирующим последовательностям ДНК (CDs) была произведена с помощью NCBI Prokaryotic Genome Annotation Pipeline (PGAP) при депонировании полученных геномов в базу данных. Таксономическую принадлежность изолятов определяли методом dDDH с помощью веб-сервиса Type (Strain) Genome Server (TYGS).

**Результаты анализа нуклеотидной последовательности образцов  
чистых культур микроорганизмов**

№ образ-ца	Последовательность	Видовая принад-лежность
18	<p align="center">           AGGGTTTGATCATGGCTCAGGACGAACGCTGGCGGCGTGCCTA            ATACATGCAAGTCGAGCGAGCGGAACCAACAGATTTACTTTCG GTA-            ATGACGTTGGGAAAGCGAGCGGCGGATGGGTGAGTAACAC            GTGGGGAACCTGCCCTAAGTCTGGGATACCATTTGAAACAGGT            GCTAATACCGGATAATAAAGCAGATCGCATGATCAGCTTTTGAAAGGC            GCGTAAGCTGTCGCTAAGGGATGGCCCCGCGTGATTAGC            TAGTTGGTAAGGAAACGGCTTACCAAGGCGACGATGCATAGC            CGAGTTGAGAGACTGATCGCCACATTGGGACTGAGACACG            GCCCAAACCTCCTACGGGAGGCAGCAGTAGGGAATCTTCCCACAAT            GGACGCAAGTCTGATGGAGCAACGCCGCGTGAGTGAAGAAGGTTTTTC            GGATCGTAAAGCTGTGTTGTTGGTGAAGAAGGATAGAGGTAGTAAGT            GCCTTTATTTGACGCGTAATCAACCAGAAAGTCACGGCTAACTACGTGCCA            GCAGCCGCGGTAATAGTAGGTGGCAAGCGTTGTCCGGATTTATTGGGCG            TAAAGCGAGCGCAGGCGGAAAATAAGTCTAATGTGAAAGCCCTCGGCT            TAACCGAGGAACTGCATCGGAAACTG         </p>	<p align="center">Сиквенс двойной с преобладанием <i>Lactobacillus amylovorus</i></p>
19	<p align="center">           GCTTGACCGGACTTGACGTTGGTTTACCAGCGAGTGGCGGACGGGT            GAGTAACACGTAGGTAACCTGCCCAAAGCGGGGGATAACATTTGAAA            CAGATGCTAATACCGCATAACAATTTGAATCGCATGATTCAAATTTAAA            GATGGTTTCGGCTACACTTTGGGATGGACCTGCGGCGCATTAGCTT            GTTGGTAGGGTAACGGCCTACCAAGGCTGTGATGCGTAGCCGAGTT            GAGAGACTGATCGGCCACAATGGAACCTGAGACACGGTCCATACTCCTAC            GGGAGGCAGCAGTAGGGAATCTTCCACAATGGGCGCAAGCCTGATGGAG            CAACACCGCGTGAGTGAAGAAGGGTTTCGGCTCGTAAAGCTCTGTTGT            TAGAGAAGAACGTGCGTGAGAGCAACTGTTACGCGAGTGACGGTATC            TAACCAGAAAAGTCACGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTAATAC            GTAGGTGGCAAGCGTTATCCGGATTTATTGGGCGTAAAGCGAGCGCAG            GCGGTTTGATAAGTCTGATGTGAAAGCCTTTGGCTTAACCAAAGAAGT            GCATCGGAAACTGTCAGACTTGAGTGCAGAAGAGGACAGTGGAACTC            CATGTGTAGCGGTGGAATGCGTAGATATGGAAGAACACCAGTGGCGAAT            GCGGCTGTCTGGTCTGCAACTGACGCTGAGGCTCGAAAGCATGGGTAG            CGAACAGGATTAGATACCCTGGTAG         </p>	<p align="center">Сиквенс двойной с преобладанием <i>Limosilactobacillus mucosae</i></p>

*Сборка и аннотация генома.* В результате секвенирования была определена и подтверждена принадлежность двух доминирующих изолятов к видам *Lactobacillus amylovorus* и *Limosilactobacillus mucosae* соответственно.

В результате аннотации геномов были получены данные, представленные в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что размер генома, число последовательностей, кодирующих белок, (CDSs), число рРНК и тРНК у штамма *L. amylovorus* больше, чем у *L. mucosae*, однако у второго штамма число G + C (%) и контигов достигает больших значений, чем у первого.

На рисунках 5 и 6 изображены строения геномов изученных штаммов с открытыми рамками считывания и сайтами рестрикции.

**Данные, полученные в результате аннотации геномов**

Характеристика/Значение	<i>Lactobacillus amylovorus</i>	<i>Limosilactobacillus mucosae</i>
Размер генома	2035254	1959850
Содержание G + C (%)	38	45
Контиги N50	2334	2080
Контиги L50	243	266
Число контигов	1296	1499
Число последовательностей, кодирующих белок (CDSs)	2809	2712
Число рРНК	52	33
Число тРНК	46	27

В результате аннотации геномов системой NCBI PGAP в геноме *Lactobacillus amylovorus* были найдены гены, кодирующие синтез бактериоцина лактококцина, или низина (номер в GenBank – MDF9460744.1; длина – 98 п.н.), а также два гена, кодирующих синтез гельветицина J (MDF9462078.1 и MDF9462173.1; длина – 312 и 342 п.н.). Также имеется ген, кодирующий синтез гельвитицина, под номером MDF9462079.1 с длиной 131 п.н. Кроме того, были обнаружены 2 гена, кодирующие синтез бактериоциноподобных веществ (B1p family class II bacteriocin, MDF9460925.1 и MDF9460926.1, длиной 57 и 63 п.н. соответственно), и 2 гена безымянных бактериоцинов (MDF9461238.1 и MDF9462623.1 длиной 325 и 76 п.н.).

В итоге проекты геномов бактерий были депонированы международной электронной базой данных NCBI под индивидуальными номерами BioSample, BioProject, GenBank и Sequence Read Archive (SRA), представленными в таблице 3.

**Номера в GenBank депонированных штаммов**

Штамм/номер	BioSample	BioProject	GenBank	Sequence Read Archive (SRA)
<i>L. amylovorus</i>	SAMN33879542	PRJNA948185	GCA_029477185.1	SRR23952874
<i>L. mucosae</i>	SAMN33879563	PRJNA948195	GCA_029477165.1	SRR23954828

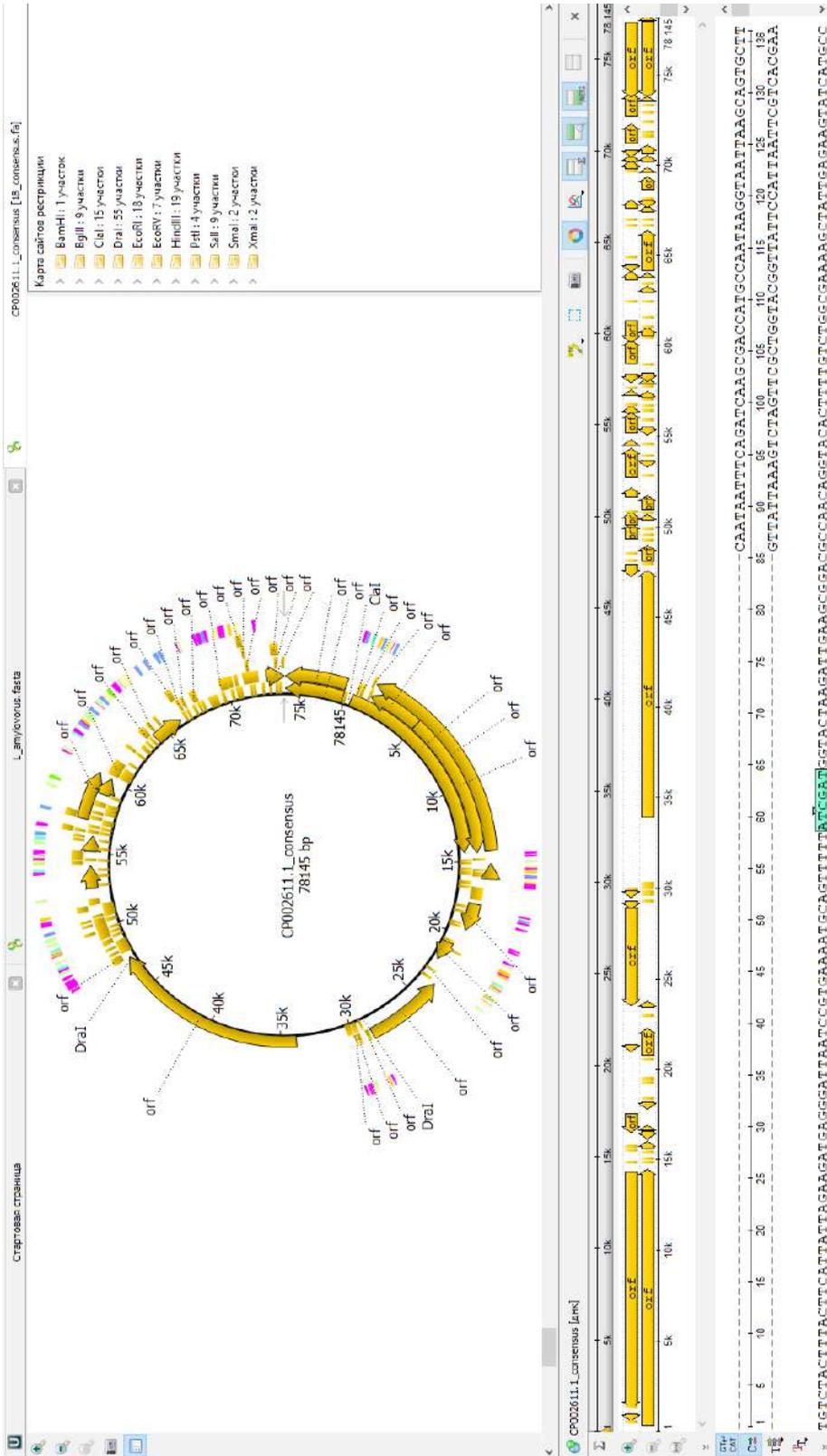


Рис. 5. Общее строение генома *Lactobacillus amylovorus* KSAU



## Выводы

Результаты метагеномного анализа продемонстрировали, что в слепых отростках кишечника свиней различных технологических групп (сосунов, на дорастивании и откорме) наблюдается разнообразие микробных таксономических групп, а также с возрастом их количественное соотношение не остается на постоянном уровне и изменяется. Из представителей рода *Lactobacillus* преобладающими видами оказались *Lactobacillus amylovorus* и *Limosilactobacillus mucosae*. Данные чистые культуры микроорганизмов современными масс-спектрометрическим и молекулярно-генетическими методами были идентифицированы. Были собраны и аннотированы два генома доминирующих штаммов-пробионтов, в структуре которых выявлены генетические элементы, кодирующие синтез ряда антибиотических веществ (бактериоцинов).

Таким образом, штаммы *Lactobacillus amylovorus* и *Limosilactobacillus mucosae* стали основой разрабатываемой микробной кормовой добавки и были депонированы в ИБФМ РАН под номерами ВКМ В-3750D и ВКМ В-3751D, соответственно.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/22.13.*

## Библиографический список

1. Буряко И.А. Выделение и изучение бактерий рода *Lactobacillus*, перспективных для силосования кормов: автор. дис. ... канд. биол. наук. – Минск, 1991. – 21 с.
2. Коцаев А.Г., Лысенко Ю.А., Мищенко В.А. и др. Интенсификация процесса культивирования физиологически адаптированных лактобацилл как основа создания биопрепаратов микробного происхождения для птицеводства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 128. – С. 1102–1115.
3. Клименко Е.С., Погодина А.В., Рычкова Л.В., Белькова Н.Л. Возможность таксономической идентификации бифидобактерий на основании различных варибельных районов гена 16S рРНК // Генетика. – 2020. – Т. 56, № 8. – С. 904–914.
4. Лабинская А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований: учебник. – М.: Медицина. – 1978. – 394 с.
5. Локачук М.Н., Фролова Ю.М. Видовая идентификация чистых культур заквасочных микроорганизмов // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 3S. – С. 184–187.
6. Бойко А.А., Коцаев А.Г., Лысенко Ю.А. и др. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров в зависимости от условий содержания и кормления при использовании в рационе микробной добавки // Ветеринария и кормление. – 2022. – № 3. – С. 8–11.
7. Устинова В.В., Смирнова Т.Г., Варламов Д.А. и др. Полногеномное секвенирование генома *Mycobacterium heckeshornense* // Бактериология. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 108–109.
8. Попов Д.А., Овсенко С.Т., Вострикова Т.Ю. Применение метода MALDI-TOF MS в современной микробиологической лаборатории // Поликлиника. – 2016. – № 1–3. – С. 53–56.
9. Коцаев А.Г., Фисенко Г.В., Лысенко Ю.А. и др. Продуктивность и мясные качества перепелов при использовании пробиотической кормовой добавки // Аграрная наука. – 2015. – № 11. – С. 15–18.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019618111. Программа для идентификации микроорганизмов VastoSCREEN-ID:

№ 2019616938. Заяв. 14.06.2019; Опубл. 26.06.2019. Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «Литех».

11. Соловьева В.В., Григорьева Т.В., Ризванов А.А. Идентификация микроорганизмов с помощью молекулярно-генетического анализа нуклеотидной последовательности гена 16S рибосомной РНК: Методическое пособие. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2011. – 44 с.

12. Радченко В.В., Ильницкая Е.В., Шуваева Т.М. и др. Сравнительный анализ и пробиотический потенциал новых штаммов рода *Lactobacillus* из эволюционно закрепленных микробных ассоциаций желудочно-кишечного тракта дикой птицы // Биофармацевтический журнал. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 25–30.

13. Турова Т.П. Применение методов геносистематики для решения вопросов таксономии и изучения биоразнообразия прокариот: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Москва, 2009. – 86 с.

14. Васильев Д.А., Феоктистова Н.А., Мاستиленко А.В. и др. Установление видовой принадлежности штаммов энтеробактерий методом MALDI-TOF MS // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2 (42). – С. 110–113.

15. Коцаев А.Г., Лысенко Ю.А., Радченко В.В. и др. Эффективность использования пробиотической добавки трилактокор в рационе перепелов // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 8 (162). – С. 4.

16. Bankevich A., Nurk S., Antipov D. et al. A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing // SPAdes: J. Comp. Biol. – 2012. – Vol. 19 (5). – Pp. 455–477.

17. Zhang J., Chen X., Liu P. et al. Dietary clostridium butyricum induces a phased shift in fecal microbiota structure and increases the acetic acid-producing bacteria in a weaned piglet model // J. Agric Food Chem. – 2018. – № 66. – Pp. 515–66.

18. Wu J., Zhao Y., Wang X. et al. Dietary nutrients shape gut microbes and intestinal mucosa via epigenetic modifications // Critic Rev Food Sci Nutri. – 2020. – 20:1–15.

19. Auch A.F. et al. Digital DNA-DNA hybridization for microbial species delineation by means of genome-to-genome sequence comparison // Standards in genomic sciences. – 2010. – Vol. 2. – Pp. 117–134.

20. Vemuri R., Gundamaraju R., Shinde T. et al. *Lactobacillus acidophilus* Dds-1 modulates intestinal-specific microbiota, short-chain fatty acid and immunological profiles in aging mice // Nutrients. – 2019. – 11:6.

21. Meier-Kolthoff J.P., Goker M. TYGS is an automated high-throughput platform for state-of-the-art genome-based taxonomy // Nature communications. – 2019. – Vol. 10, № 1. – 2182 p.

22. Gurevich A. et al. QUAST: quality assessment tool for genome assemblies // Bioinformatics. – 2013. – Vol. 29, № 8. – Pp. 1072–1075.

23. Kim E.Y., Kim Y.H., Rhee M.H. et al. Selection of *Lactobacillus* sp. Psc101 that produces active dietary enzymes such as amylase, lipase, phytase and protease in pigs // J. Gene Appl Microbiol. – 2007. – Vol. 53. – 111:7.

24. Sondheimer N., Lindquist S. Rnq1: an epigenetic modifier of protein function in yeast // Mol Cell. – 2000. – № 5. – Pp. 163–72.

25. Tahimic C.G., Wang Y., Bikle D.D. Anabolic effects of Igf-1 signaling on the skeleton // Front Endocrinol. – 2013. – 4:6.

26. Tatusova T., DiCuccio M., Badretdin A. et al. NCBI prokaryotic genome annotation pipeline // Nucleic acids research. – 2016 – Vol. 44, № 14. – Pp. 6614–6624.

27. Okonechnikov K. et al. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit // Bioinformatics. – 2012. – V. 28, № 8. – Pp. 1166–1167.

# ANALYSIS, ISOLATION AND IDENTIFICATION OF THE MICROBIOME FROM THE CECA OF THE INTESTINES OF INDUSTRIAL PIGS

Y.A. LYSENKO<sup>1,2</sup>, A.G. KOSHCHAEV<sup>2</sup>, V.A. BELYAK<sup>2</sup>,  
A.V. LUNEVA<sup>1</sup>, E.YU. MARCHENKO<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;  
<sup>2</sup>Kuban State Agrarian University)

*The article presents data on the use of modern methods of analysis, isolation and identification of representatives of the microbiocenosis of the ceca of the intestines of industrial pigs raised using intensive technology. Bacterial metagenomic analysis was used to study the composition of microflora of various taxonomic groups in the chyme of industrial pigs. Classical microbiological research methods were used to isolate the dominant representatives of the genus Lactobacillus. Identification of the probiotically relevant microbial cultures was performed by mass spectrometric analysis using MALDI-TOF MS in a BactoSCREEN spectrometer, as well as by nucleotide sequencing of the 16S rRNA gene. Full-genome sequencing of isolated dominant pure cultures of the genus Lactobacillus was carried out. As a result of the research, it was found that in the cecum of the intestines of suckling piglets, growing and fattening pigs there is a diversity of microbial communities, which changes in quantitative proportions with age. The results of mass spectrometric analysis revealed the presence of protein spectra of important representatives of bacteria of the genus Lactobacillus, among which two species, Lactobacillus amylovorus and Limosilactobacillus mucosae, were dominant, which were additionally confirmed by analyzing their nucleotide sequence of the 16S rRNA gene and by performing full-genome sequencing.*

**Keywords:** *intestinal microflora, pigs, isolation, identification, metagenomic analysis, gastrointestinal tract, probiotic, mass spectrometry, Lactobacillus, nucleotide sequence.*

## References

1. Buryako I.A. *Isolation and study of bacteria of the genus Lactobacillus promising for silage of forages*. PhD (Biol.) thesis abstract. Minsk, USSR, 1991: 21 (In Russ.)  
Isolation and selection of bacteria of the genus Lactobacillus as the basis of probiotic preparations. *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Probiotiki, prebiotiki i sinbiotiki i funktsional'nye produkty pitaniya"*. Moscow, Russia, 2004: 19. (In Russ.)
2. Koshchaev A.G., Lysenko Yu.A., Mishchenko V.A. et al. Intensification of the process of cultivation of physiologically-adapted Lactobacillus as a basis for the creation of biopreparations of microbial origin for poultry farming. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;128:1102–1115. (In Russ.)
3. Klimenko E.S., Pogodina A.V., Rychkova L.V., Bel'kova N.L. The ability of taxonomic identification of bifidobacteria based on the variable regions of 16S rRNA gene. *Genetika*. 2020;56(8):904–914. (In Russ.)
4. Labinskaya A.S. *Microbiology with microbiological research techniques*. Moscow, Russia: Meditsina. 1978:394. (In Russ.)
5. Lokachuk M.N., Frolova Yu.M. Species identification of lactobacilli for the sourdough. *Food Systems*. 2021;4(3S):184–187. (In Russ.)
6. Boyko A.A., Koshchaev A.G., Lysenko Yu.A. et al. Meat productivity of broiler chickens depending on the conditions of keeping and feeding when using microbial additives in the diet. *Veterinariya i kormlenie*. 2022;3:8–11. (In Russ.)
7. Ustinova V.V., Smirnova T.G., Varlamov D.A. et al. Full genome sequencing of the genome of Mycobacterium heckeshornense. *Bacteriology*. 2017;2(3):108–109. (In Russ.)

8. Popov D.A., Ovseenko S.T., Vostrikova T.Yu. Application of MALDI-TOF MS method in a modern microbiological laboratory. *Poliklinika*. 2016;1–3:53–56. (In Russ.)
9. Koshchaev A.G., Fisenko G.V., Lysenko Yu.A. et al. Productivity and meat quality of quails at use probiotic feed additive. *Agrarian Science*. 2015;11:15–18. (In Russ.)
10. Certificate of state registration of computer program No. 2019618111. Program for identification of microorganisms BactoSCREEN-ID: No. 2019616938: applied on 14.06.2019: published on 26.06.2019. LLC Scientific and Production Firm “Litech”. (In Russ.)
11. Solov’eva V.V., Grigor’eva T.V., Rizvanov A.A. *Identification of microorganisms using molecular genetic analysis of the nucleotide sequence of the 16S ribosomal RNA gene: methodical manual*. Kazan, Russia: Kazan Federal University, 2011:44. (In Russ.)
12. Radchenko V.V., Ilitskaya E.V., Shuvaeva T.M. et al. A comparative analysis of the probiotic potential of new strains of the genus *Lactobacillus* of the evolutionary fixed microbial associations of the gastrointestinal tract of wild birds. *Biofarmatsevticheskiy zhurnal*. 2020;12(1):25–30. (In Russ.)
13. Turova T.P. Application of genosystematics methods to address taxonomy and biodiversity of prokaryotes. DSc (Bio) thesis: 03.00.07. Moscow, Russia, 2009:86. (In Russ.)
14. Vasiliev D.A., Feoktistova N.A., Mastilenko A.V. et al. Species identification of enterobacteria strains by means of MALDI-TOF MS. *Vestnik Ul’yanovskoy gosudarstvennoy sel’skhozayajstvennoy akademii*. 2018;2(42):110–113. (In Russ.)
15. Koshchaev A.G., Lysenko Yu.A., Radchenko V.V. et al. Efficiency of using probiotic additive trilactocor in the diet of quails. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017;8(162):4. (In Russ.)
16. Bankevich A., Nurk S., Antipov D. et al. A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. *SPAdes: J. Comp. Biol.* 2012;19(5):455–477.
17. Zhang J., Chen X., Liu P. et al. Dietary clostridium butyricum induces a phased shift in fecal microbiota structure and increases the acetic acid-producing bacteria in a weaned piglet model. *J. Agric. Food Chem.* 2018;66:5157–66.
18. Wu J., Zhao Y., Wang X. et al. Dietary nutrients shape gut microbes and intestinal mucosa via epigenetic modifications. *Critic Rev. Food Sci. Nutri.* 2020;20:11–5.
19. Auch A.F. et al. Digital DNA-DNA hybridization for microbial species delineation by means of genome-to-genome sequence comparison. *Standards in Genomic Sciences*. 2010;2:117–134.
20. Vemuri R., Gundamaraju R., Shinde T. et al. *Lactobacillus acidophilus* Dds-1 modulates intestinal-specific microbiota, short-chain fatty acid and immunological profiles in aging mice. *Nutrients*. 2019;11:6.
21. Meier-Kolthoff J.P., Goker M. TYGS is an automated high-throughput platform for state-of-the-art genome-based taxonomy. *Nature Communications*. 2019;10(1):2182.
22. Gurevich A. et al. QUAST: quality assessment tool for genome assemblies. *Bioinformatics*. 2013;29(8):1072–1075.
23. Kim E.Y., Kim Y.H., Rhee M.H. et al. Selection of *Lactobacillus* sp. Psc101 that produces active dietary enzymes such as amylase, lipase, phytase and protease in pigs. *Gene Appl. Microbiol.* 2007;53:111–7.
24. Sondheimer N., Lindquist S. Rnq1: an epigenetic modifier of protein function in yeast. *Mol. Cell*. 2000;5:163–72.
25. Tahimic C.G., Wang Y., Bikle D.D. Anabolic effects of Igf-1 signaling on the skeleton. *Front Endocrinol.* 2013;4:6.
26. Tatusova T., DiCuccio M., Badretdin A. et al. NCBI prokaryotic genome annotation pipeline. *Nucleic Acids Research*. 2016;44(14):6614–6624.
27. Okonechnikov K. et al. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics*. 2012;28(8):1166–1167.

## Сведения об авторах

**Лысенко Юрий Андреевич**, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; старший научный сотрудник отдела сопровождения грантов и НИР ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет»; 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 13; тел.: (961) 518–07–22; e-mail: yuraduban45@mail.ru

**Кощаев Андрей Георгиевич**, д-р биол. наук, академик РАН, профессор, профессор кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет»; 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 13; тел.: (989) 288–27–48; e-mail: kagbio@mail.ru

**Беляк Владимир Анатольевич**, аспирант кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет»; 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 13; тел.: (995) 229–43–16; e-mail: vladimirbelyj22@yandex.ru

**Лунева Альбина Владимировна**, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (918) 417–21–38; e-mail: albina.luneva@mail.ru

**Марченко Евгений Юрьевич**, кандидат ветеринарных наук, ассистент кафедры ветеринарной медицины РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–17–82; e-mail: marchenko.vet@mail.ru

## Information about the authors

**Yuriy A. Lysenko**, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Veterinary Medicine, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (961) 518–07–22; e-mail: yuraduban45@mail.ru)

**Andrey G. Koshaev**, DSc (Bio), Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Professor at the Department of Biotechnology, Biochemistry and Biophysics, Kuban State Agrarian University (13 Kalinina St., Krasnodar, 350044, phone: (989) 288–27–48; e-mail: kagbio@mail.ru)

**Vladimir A. Belyak**, postgraduate student, Department of Biotechnology, Biochemistry and Biophysics, Kuban State Agrarian University (13 Kalinina St., Krasnodar, 350044, phone: (995) 229–43–16; e-mail: vladimirbelyj22@yandex.ru)

**Albina V. Luneva**, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Veterinary Medicine, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (918) 417–21–38; e-mail: albina.luneva@mail.ru)

**Evgeniy Yu. Marchenko**, CSc (Vet), Assistant at the Department of Veterinary Medicine, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–17–82; e-mail: marchenko.vet@mail.ru)

## ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА МОЛОКА И КОРРЕЛЯЦИЙ МЕЖДУ ЕГО ОТДЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ У КОЗ И ОВЕЦ РАЗНЫХ ПОРОД

М.И. СЕЛИОНОВА<sup>1</sup>, В.И. ТРУХАЧЕВ<sup>1</sup>, А.М.М. АЙБАЗОВ<sup>1</sup>, А.А. БЕЛОУС<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева  
<sup>2</sup> ФГБНУ ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста)

*Разведение коз и овец для производства молока имеет в России положительную динамику. Для эффективного ведения селекции необходимо накопление информации о составе козьего и овечьего молока и характере корреляционных связей между его компонентами у разных пород. В статье представлено сопоставление ИК-спектров показателей молока альпийских и зааненских коз, овец пород лакон и остфризская, полученных на автоматическом анализаторе CombiFoss 7 D. Установлено, что в молоке альпийских коз достоверно выше на 7,2–82,4% ( $p < 0,001$ ) содержание массовой доли жира, сухих веществ, пальмитиновой, а также длинно-, средне-, мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот, чем в молоке зааненских коз. В молоке овец породы лакон были выше уровень жира, белка, казеина, содержание сухих веществ, мочевины, миристиновой, средне-, коротко- и насыщенных жирных кислот, транс-изомеров жирных кислот на 19,4–82,6% ( $p < 0,001$ ), чем у остфризских. У последних отмечены большее содержание лактозы и меньшее число дифференциальных соматических клеток на 19,4 и 23,4% ( $p < 0,01$ ). В молоке овец уровень массовой доли жира, белка, казеина, сухого вещества был в среднем в 1,3–1,9 раза выше, чем в молоке коз. При этом наибольшее преимущество отмечено в содержании мононенасыщенных, короткоцепочечных и полиненасыщенных жирных кислот, что является важным для функционального питания человека. Расчет коэффициентов корреляции выявил как общие закономерности, так и отдельные различия в связях между компонентами молока у коз и овец. Общими были: высокая функциональная связь между уровнем МДБ и казеина; высокая положительная связь между МДЖ и СВ, жирными кислотами ( $r = 0,61 \dots 0,96$  соответственно); высокая и средняя положительная связь между насыщенными (НЖК, ДЦЖК, СЦЖК, миристиновой, пальмитиновой) и ненасыщенными (МНЖК, ПНЖК, КЦЖК, олеиновая, стеариновая) жирными кислотами ( $r = 0,40 \dots 0,99$ ), количеством соматических клеток и их дифференциальным числом ( $r = 0,36$  и  $0,33$ ). Различия заключались в том, что в молоке коз между мочевиной, олеиновой и длинноцепочечными кислотами связь слабopоложительная, у овец она отсутствовала; между стеариновой – слабо положительная, у овец – слабо отрицательная; между лактозой и длинноцепочечными жирными кислотами в молоке коз связь средняя положительная, у овец – слабо отрицательная.*

**Ключевые слова:** козы, овцы, молоко, ИК-спектры, соматические клетки, корреляция.

### Введение

Овцеводство и козоводство для России являются традиционными отраслями животноводства. Однако если в XVIII–XX вв. мелкий рогатый скот в нашей стране разводили преимущественно для получения шерсти и пуха, то в последнее время все большее предпочтение отдается производству молока. С одной стороны, это обусловлено заменой шерсти и пуха другими, в том числе синтетическими, текстильными волокнами, с другой стороны – растущим потребительским спросом на продукцию из козьего и овечьего молока. Особенно интерес к содержанию молочных коз и овец возрос после введения ограничений на ввоз из-за рубежа некоторых сортиментов молочной

продукции. Все эти обстоятельства стимулировали в нашей стране становление не только молочного козоводства и овцеводства, но и развитие предприятий по переработке молока коз, овец, по производству новой линейки молочных продуктов [1, 2].

Отличительные свойства молока коз и овец, а именно меньший, чем в молоке коров, размер жировых глобул и их равномерное дисперсное распределение, более чем в 2 раза большая концентрация коротко- и среднецепочечных жирных кислот, высокое содержание белка, определяют уникальные функциональные свойства козьего и овечьего молока [3, 4]. Кроме того, в белковых мицеллах молока мелкого рогатого скота выше концентрация кальция и неорганического фосфора, они более устойчивы при нагревании, легче высвобождают казеин [5]. При производстве овечьего сыра не требуется внесение хлорида кальция, что является технологическим преимуществом, поэтому молоко овец подходит особенно для переработки в сыр [6, 7]. Выход сыра из козьего или коровьего молока, как правило, составляет около 1:10, тогда как из овечьего – около 1:5 [8, 9]. Молоко коз не содержит моносахаридов и характеризуется практически отсутствием  $\alpha$ 1s-казеина, который вызывает аллергические реакции. Это делает его уникальным источником сырья для производства детского питания и молочных продуктов с высокой биологической ценностью [10]. Мелкий и крупный рогатый скот различается по типу секреции молока: у первых он апокринный, у вторых – мерокринный, что определяет разный уровень соматических клеток в их молоке [11, 12]. Белково-липидно-минеральный комплекс сыров является богатейшим источником аминокислот, ненасыщенных жирных кислот, кальция и фосфора [13, 14].

Для создания отечественной сырьевой базы козьего и овечьего молока в нашу страну были завезены специализированные молочные породы. В настоящее время в реестре зарегистрированных и допущенных к использованию указаны следующие породы молочных коз: зааненская, альпийская, мурсиана гранадина и нубиан [15]. Овцы молочных пород – лакон, остфризская, ассаф – разводятся в ряде фермерских хозяйств в разных регионах страны. Это Республика Марий Эл, Краснодарский край, Московская, Тверская и Нижегородская области, однако до настоящего времени они не внесены в реестр. Чтобы аргументированно проводить работу в данном направлении, а также целенаправленно осуществлять селекцию, необходимы накопление данных об уровне продуктивности коз и овец разных пород, знание о направлении и характере корреляционных связей между компонентами молока, что и определило актуальность исследований.

**Цель исследований:** изучить компонентный состав молока и определить связь между его отдельными показателями у молочных коз и овец разных пород.

### **Материал и методы исследований**

Объектом исследований явились молочные козы пород зааненской ( $n = 146$ , ООО «Эко ферма "Климовское"», Калужская область), альпийской ( $n = 127$ , КФХ «Былинкино» Московской области) и овцы пород лакон ( $n = 128$ , КФХ Николаев М.И., Краснодарский край), остфризской ( $n = 96$ , КФХ, Московская область). Технология производства козьего и овечьего молока предполагала доение 2 раза в день с использованием доильного оборудования «DeLaval» (Германия), «Gea Farm Technologies» (Германия), параллель «Mdisplacement 2×16», доильный аппарат «TOP FLOW» соответственно.

Удельный вес животных I, II, III лактаций и старше среди исследованных коз пород зааненской, альпийской и овец породы лакон составил 35%, 33% и 32%, овец остфризской породы I и II лактаций – 65% и 35%, соответственно. Диапазон разницы в дате начала лактации не превышал 1,5 месяца. Пробы молока осуществлялись трижды, в период с мая по июнь, в момент контрольных доений: у коз – каждый

месяц, у овец – каждые 14 дней. Консервация проб выполнялась путем внесения микротаблетки Broad Spectrum Microtabs II («Bentley Instruments», США).

Компонентный анализ молока коз и овец проводился в ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста на базе ОНИС БиоТехЖ с использованием автоматического анализатора CombiFoss 7 DC («FOSS», Дания), который включает в себя MilkoScan (ближняя инфракрасная спектроскопия) и Fossomatic 7 DC (проточная цитометрия). Определялись такие показатели, как массовая доля жира (МДЖ), белка (МДБ), лактозы (МДЛ), сухое вещество (СВ), казеин, мочевины; жирные кислоты (ЖК): миристиновая (С14:0), пальмитиновая (С16:0), стеариновая (С18:0), олеиновая (С18:1), длинно-, средне- и короткоцепочечные (ДЦЖК, СЦЖК, КЦЖК), моно- и полиненасыщенные (МНЖК, ПНЖК), насыщенные (НЖК), трансизомеры жирных кислот (ТЖК), количество соматических клеток (КСК), дифференциальное количество соматических клеток (ДКСК, или дифференциация на полиморфноядерные нейтрофилы).

Описательную статистику экспериментальных данных выполняли в программе Microsoft Office Excel 2013. Рассчитывали средние значения для компонентов молока (М), их стандартные ошибки ( $\pm m$ ), коэффициенты вариации (Сv), коэффициенты корреляции (r). Выявленные различия для компонентов молока считались статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ , для коэффициентов корреляции – при  $p \leq 0,05$ ,  $|r| \geq 0,12$ .

### Результаты и их обсуждение

Исследование компонентов молока у коз и овец и полученные данные позволили провести как межпородное, так и межвидовое их сопоставление.

Установлено, что молоко альпийских коз в сравнении с молоком зааненских коз отличалось достоверно большим содержанием массовой доли жира, сухих веществ, пальмитиновой, а также длинно-, средне-, мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот. При этом если превосходство по первым двум показателям составило 40,3% ( $p < 0,001$ ) и 7,2% ( $p < 0,01$ ), то по остальным оно было несколько выше и находилось в диапазоне от 48,4% до 82,4% ( $p < 0,001$ ). Не выявлены различия по уровню белка, казеина, мочевины, олеиновой, полиненасыщенных жирных кислот, их трансизомеров, а также по общему содержанию соматических клеток и их дифференциальным формам. Обращает на себя внимание меньший размах изменчивости таких показателей, как содержание лактозы, жирных кислот, за исключением стеариновой и полиненасыщенных жирных кислот, в молоке коз зааненской породы (табл. 1).

Сравнительный анализ показателей молока овец разных пород выявил больше различий. Так, в молоке овец породы лакон были выше уровень жира, белка, казеина, содержание сухих веществ, мочевины, миристиновой, средне-коротко- и насыщенных жирных кислот, а также трансизомеров жирных кислот. При этом, аналогично различиям у коз, по первым четырем показателям превосходство составляло от 19,4% ( $p < 0,01$ ) до 39,0% ( $p < 0,001$ ), тогда как по остальным, а именно по жирным кислотам, оно было более выраженным и находилось в диапазоне от 50,0% до 82,6% ( $p < 0,001$ ).

Следует отметить большее содержание лактозы и меньшее число дифференциальных соматических клеток в молоке остфризских овец – на 19,4% и 23,4% ( $p < 0,01$ ). Подчеркнем, что коэффициенты изменчивости для показателей молока овец остфризской породы были значительно меньшими, чем у овец породы лакон. Возможно, это связано с тем, что для первой породы исследованные животные были первых двух лактаций, тогда как для второй – первой-четвертой лактаций, чему в дальнейшем следует уделить особое внимание. Тем не менее считаем важными полученные результаты для создания массива данных о компонентах молока и об их изменчивости у овец разных пород, для дальнейшей селекционно-племенной работы с молочными овцами.

**Компонентный состав молока коз и овец разных пород**

Показатель	Козы				Овцы			
	Зааненская		Альпийская		Лакон		Остфризская	
	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %
МДЖ, %	3,05±0,04	20,68	4,28 <sup>1</sup> ±0,06	26,49	7,65 <sup>2</sup> ±0,15	30,09	5,87±0,07	12,36
МДБ (общий), %	3,16±0,02	12,55	3,22±0,02	16,66	5,91 <sup>2</sup> ±0,06	15,46	4,51±0,02	5,29
МДЛ, %	4,23±0,01	5,27	4,24±0,02	12,74	4,49±0,03	10,2	5,11 <sup>2</sup> ±0,01	2,26
СВ, %	11,52±0,06	8,69	12,35 <sup>1</sup> ±0,07	13,51	19,33 <sup>2</sup> ±0,19	14,88	16,19±0,08	5,07
Казеин, %	2,22±0,02	14,61	2,28±0,02	19,20	5,13 <sup>2</sup> ±0,06	17,71	3,69±0,02	5,90
Мочевина, мг×100 мл <sup>-1</sup>	60,62±0,56	18,66	58,83±0,46	18,31	71,66 <sup>2</sup> ±0,95	19,7	37,66±0,51	13,96
Миристиновая, г/100 г	0,29±0,03	26,04	0,39±0,01	36,29	0,84 <sup>2</sup> ±0,02	34,24	0,49±0,01	15,69
Пальмитиновая, г/100 г	0,59±0,01	23,87	0,89 <sup>1</sup> ±0,01	37,10	1,60±0,04	36,75	1,11±0,02	16,63
Стеариновая, г/100 г	0,17±0,01	34,15	0,24±0,02	34,25	0,46±0,01	42,73	0,48±0,01	17,84
Олеиновая, г/100 г	1,16±0,02	24,05	1,24±0,02	30,38	1,92±0,05	35,21	1,81±0,02	15,36
ДЦЖК, г/100 г	0,91±0,01	25,20	1,66 <sup>1</sup> ±0,02	30,54	2,58±0,06	35,7	2,39±0,03	15,56
СЦЖК, г/100 г	0,97±0,01	27,15	1,44 <sup>1</sup> ±0,02	34,90	2,78 <sup>2</sup> ±0,06	33,42	1,63±0,02	15,32
КЦЖК, г/100 г	0,69±0,01	22,98	0,70±0,01	35,58	1,79 <sup>2</sup> ±0,04	37,56	0,98±0,01	14,78
МНЖК, г/100 г	0,66±0,01	16,13	0,98 <sup>1</sup> ±0,01	29,66	1,32±0,03	25,42	1,63±0,02	14,87
ПНЖК, г/100 г	0,11±0,004	26,37	0,15±0,005	27,82	0,26±0,01	29,86	0,21±0,01	12,52
НЖК, г/100 г	1,71±0,02	26,09	2,73 <sup>1</sup> ±0,04	34,75	5,26 <sup>2</sup> ±0,11	28,67	3,51±0,05	14,07
ТЖК, г/100 г	0,06±0,008	46,32	0,10±0,01	47,36	0,21 <sup>2</sup> ±0,01	52,74	0,14±0,01	25,52
КСК, тыс. ед/мл	1018,47±±99,00	124,49	1181,56±±59,27	118,52	510,93±±90,16	262,32	306,46±±57,21	194,71
ДКСК, %	82,63±0,59	14,32	81,40±0,40	11,53	55,37±1,93	51,73	31,96 <sup>2</sup> ±1,64	28,64

**Примечание.** <sup>1</sup> – достоверно при  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$  при сравнении коз пород альпийской и зааненской; <sup>2</sup> – достоверно при  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$  при сравнении овец пород лакон и остфризской.

При сопоставлении характеристик молока коз и овец прослеживается явное превосходство последних по всем исследованным показателям, кроме общего содержания соматических клеток и их дифференциальных форм, о чем сказано ниже. В молоке овец уровень массовой доли жира, белка, казеина, сухого вещества был в среднем в 1,3–1,9 раза выше, чем в молоке коз ( $p < 0,001$ ). Еще большее преимущество отмечено в концентрации жирных кислот всех классов, и это превосходство составляло диапазон от 1,5 до 2,7 раза (табл. 1). При этом следует особо подчеркнуть, что в молоке овец в 1,8; 2,0 и 2,7 раза было больше мононенасыщенных, короткоцепочечных и полиненасыщенных жирных кислот соответственно, что является важным для функционального питания человека. Если эти 3 класса жирных кислот сложить, то в молоке коз их уровень в среднем составляет 1,65 г/100 г, в молоке овец – 4,32 г/100 г, что в 3–8 раз больше, чем в молоке голштинской породы (0,48 г/100 г) [16].

Интересным оказалось и то, что как у коз, так и у овец, при выраженном различии в уровне массовой доли жира достоверная разность в содержании полиненасыщенных жирных кислот не выявлена. Это позволяет предположить, что данный показатель является генетически обусловленным, поэтому он более стабилен, меньше подвержен воздействию условий внешней среды.

При изучении жирных кислот в молоке коз и овец отмечено также, что при различии в уровне содержания просматривается четкая аналогичность в их удельном распределении (рис. 1).

В молоке коз из исследованных показателей, как отмечалось выше, два параметра, а именно общее количество соматических клеток и их дифференциальное число, были выше в сравнении с молоком овец.

Согласно ГОСТ 32940–2014 «Молоко козье сырое. Технические условия», число соматических клеток не должно превышать 1000 тыс. ед/мл. В наших исследованиях их содержание было несколько выше несмотря на то, что все животные были клинически здоровыми. Возможно, необходимы дополнительные исследования по определению допустимого уровня соматических клеток в молоке коз и соотношению его к числу дифференцированных форм.

Известно, что для оценки состояния здоровья молочной железы более информативным является показатель «Дифференциальное количество соматических клеток – ДКСК», который отражает содержание лимфоцитов, макрофагов и полиморфноядерных нейтрофилов. В ряде исследований установлено, что именно эти клетки связаны с воспалительным процессом [15]. Полученные в настоящих исследованиях данные указывают на то, что при разном уровне числа соматических клеток в молоке коз разных пород (1018 и 1181 тыс. ед/мл) дифференциальное число было практически одинаковым – 82,6 и 81,4%. Аналогичная закономерность прослеживалась и у овец: 510,9 и 306,4 тыс. ед/мл, 55,3 и 41,9%.

Рассматривая тему соматических клеток для молока мелкого рогатого скота, необходимо подчеркнуть, что если для коз он установлен, то для овец – нет. Исходя из полученных данных для овец, можно предположить соотношение данного показателя с уровнем, определенным для молока коров. Согласно ГОСТу 31449–2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия» число соматических клеток в молоке коров не должно превышать 400 тыс. ед/мл. Однако в любом случае необходимо отметить, что в сравнении с молоком коз содержание соматических клеток в молоке овец в 2–3 раза ниже, и это, по-видимому, характерно для данного вида животных. С нашей точки зрения, содержание соматических клеток на уровне 300–600 тыс. ед./мл можно рассматривать как норму.

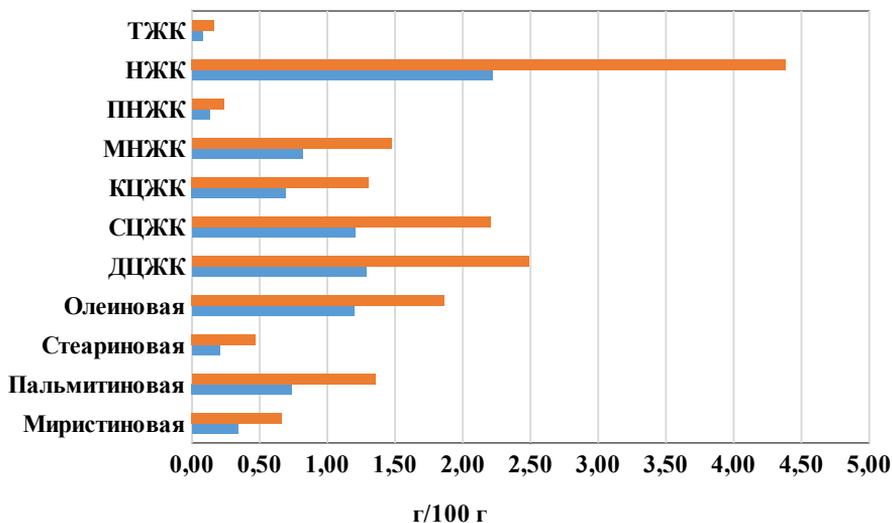


Рис. 1. Содержание жирных кислот в молоке коз и овец

Расчет коэффициентов корреляции выявил как общие закономерности, так и отдельные различия. Так, характер и направленность связи между МДЖ и МДБ, казеином, мочевиной были аналогичными: средняя положительная ( $r = 0,39 \dots 0,49$ ;  $r = 0,22 \dots 0,42$  соответственно), а также между МДЖ и СВ, жирными кислотами – высокая положительная ( $r = 0,61 \dots 0,86$ ;  $r = 0,70 \dots 0,96$  соответственно). Как в молоке коз, так и в молоке овец отмечена высокая функциональная связь между уровнем МДБ и казеина ( $r = 0,95$  и  $0,99$ ). Также общей для молока коз и овец была средняя и высокая положительная связь между насыщенными (НЖК, ДЦЖК, СЦЖК, миристиновая, пальмитиновая) и ненасыщенными (МНЖК, ПНЖК, КЦЖК, олеиновая, стеариновая) жирными кислотами ( $r = 0,42 \dots 0,97$ ;  $r = 0,40 \dots 0,99$ ) (табл. 2).

Для таких показателей, как мочевина, лактоза и соматические клетки, наряду с однонаправленными выявлены различные связи. Так, направленность связи между показателем содержания мочевины и уровнем других компонентов в молоке коз и овец в большинстве случаев была аналогичной, за исключением связи между некоторыми жирными кислотами. Например, между олеиновой и длинноцепочечными жирными кислотами в молоке коз выявлена слабоположительная связь ( $r = 0,18$  и  $0,13$ ), тогда как у овец она отсутствовала; между стеариновой, соответственно, связь была слабо положительной ( $r = 0,13$ ), тогда как у овец – слабо отрицательной ( $r = -0,19$ ).

Для показателя содержания лактозы общей для молока коз и овец была отрицательная связь между содержанием белка и казеина ( $r = -0,37$  и  $-0,22$ ;  $r = -0,14$  и  $-0,17$  соответственно), тогда как различия заключались в том, что в молоке коз отсутствовала связь между жиром, олеиновой, мононенасыщенными и насыщенными жирными кислотами, а в молоке овец связь была отрицательной ( $r = -0,12 \dots -0,36$ ). Также в молоке коз между содержанием лактозы и длинноцепочечными жирными кислотами выявлена средняя положительная связь ( $r = 0,32$ ), тогда как у овец она была слабой отрицательной ( $r = -0,18$ ).

Общей для молока коз и овец была средняя положительная связь между КСК и ДКСК ( $r = 0,36$  и  $0,33$  соответственно). При этом заметным отличием явилось отсутствие связи в молоке овец между КСК и другими компонентами, тогда как в молоке коз этот показатель слабо коррелировал с МДБ и казеина ( $r = 0,27$  и  $0,28$ ). Также в молоке овец между ДКСК и некоторыми показателями связь была очень слабой ( $r = 0,13 \dots 0,17$ ), тогда как в молоке коз она приближалась к средней ( $r = 0,19 \dots 0,28$ ) (табл. 2).

Коэффициенты корреляции между компонентами молока коз (над диагональю) и овец (под диагональю)

Показатель	МДЖ	МДБ	МДЛ	СВ	Казеин	Мочевина	Миристиновая	Пальмитиновая	Стеариновая	Олеиновая	ДЦЖК	СЦЖК	МНЖК	ПНЖК	НЖК	КЦЖК	ТЖК	КСК	ДКСК
МДЖ		0,39	-	0,77	0,45	0,49	0,75	0,79	0,66	0,74	0,68	0,84	0,66	0,61	0,86	0,78	-	-	-
МДБ	0,36		-0,37	0,73	0,95	0,26	0,30	0,19	0,24	0,43	0,35	0,42	0,37	0,13	0,32	0,19	-0,34	0,31	0,27
МДЛ	-0,12	-0,14		-	-0,22	-	-	-	0,16	0,14	0,32	-	-	-	-	-	-	-0,18	-
СВ	0,94	0,83	-		0,81	0,28	0,74	0,60	0,63	0,75	0,70	0,76	0,69	0,60	0,79	0,70	-	0,15	0,23
Казеин	0,42	0,99	-0,17	0,72		0,25	0,41	0,25	0,27	0,46	0,37	0,50	0,39	0,21	0,41	0,29	-	0,29	0,28
Мочевина	0,22	0,38	-0,19	0,20	0,35		0,18	0,26	0,13	0,18	0,15	0,30		0,23	0,25	0,22	-0,20	-	-
Миристиновая	0,91	0,78	-	0,88	0,66	0,37		0,85	0,45	0,48	0,44	0,94	0,42	0,54	0,95	0,93	0,14	-	-
Пальмитиновая	0,91	0,69	-	0,79	0,32	0,31	0,82		0,47	0,52	0,44	0,92	0,47	0,49	0,91	0,82	-	0,12	-
Стеариновая	0,70	0,20	-	0,60		-0,19	0,40	0,69		0,86	0,91	0,48	0,87	0,70	0,61	0,49	-	0,12	0,21
Олеиновая	0,91	0,53	-0,34	0,84	0,31	-	0,69	0,73	0,81		0,97	0,56	0,98	0,71	0,67	0,55	0,12	0,18	0,18
ДЦЖК	0,86	0,46	-0,18	0,79	0,28	-	0,62	0,66	0,79	0,99		0,49	0,95	0,70	0,62	0,53	0,23	-	0,19
СЦЖК	0,91	0,77		0,89	0,36	0,48	0,94	0,95	0,64	0,72	0,68		0,47	0,47	0,95	0,88	-	-	-
МНЖК	0,89	0,54	-0,36	0,81	0,22	-	0,66	0,73	0,91	0,99	0,99	0,72		0,71	0,60	0,48	-	0,20	-
ПНЖК	0,81	0,56		0,73	0,44	0,25	0,61	0,62	0,73	0,66	0,68	0,61	0,64		0,65	0,66	0,51	0,12	-
НЖК	0,96	0,72	-0,16	0,92	0,43	0,31	0,96	0,94	0,91	0,80	0,75	0,96	0,78	0,72		0,96	-	-	-
КЦЖК	0,82	0,67	-	0,85	0,52	0,44	0,89	0,89	0,57	0,59	0,54	0,88	0,72	0,78	0,91		0,14	-	-
ТЖК	0,76	0,47	-	0,62	-	-0,12	0,54	0,46	0,48	0,53	0,61	0,50	0,78	0,88	0,67	0,54		-	0,14
КСК	-	-	-0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36
ДКСК	0,15	0,15	-	0,13	0,15		0,15	0,17	-	-	-	0,17	-	-	0,16	-	-	-	0,33

Примечание. Уровень достоверности корреляций  $r \leq 0,05$ ;  $r = \pm 0,12$ .

## Выводы

1. Установлены межпородные и межвидовые различия в компонентном составе молока мелкого рогатого скота.

1.1. В молоке альпийских коз достоверно выше содержание массовой доли жира, сухих веществ, пальмитиновой, а также длинно-, средне-, мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот, чем в молоке зааненских коз. Превосходство находилось в диапазоне от 7,2% ( $p < 0,01$ ) до 82,4% ( $p < 0,001$ ). Не выявлена разность по уровню белка, казеина, мочевины, олеиновой, полиненасыщенных жирных кислот, их трансизомеров, а также по общему содержанию соматических клеток и их дифференциальным формам.

1.2. В молоке овец породы лакон в сравнении с молоком овец остфризской породы были выше уровень жира, белка, казеина, содержание сухих веществ, мочевины, миристиновой, средне-, коротко- и насыщенных жирных кислот, трансизомеров жирных кислот. Превосходство находилось в пределах от 19,4% ( $p < 0,01$ ) до 82,6% ( $p < 0,001$ ). В то же время в молоке остфризских овец отмечены большее содержание лактозы и меньшее число дифференциальных соматических клеток – на 19,4 и 23,4% ( $p < 0,01$ ).

В молоке овец породы лакон содержание массовой доли жира, белка истинного и общего, казеина, сухого вещества, насыщенных и ненасыщенных жирных кислот было в 2,1–2,91 раза выше, чем в молоке зааненских коз ( $p < 0,001$ ).

1.3. В молоке овец уровень массовой доли жира, белка, казеина, сухого вещества был в среднем в 1,3–1,9 раза выше, чем в молоке коз ( $p < 0,001$ ). Наибольшее преимущество отмечено в концентрации жирных кислот всех классов (в 1,5–2,7 раза) с акцентом на мононенасыщенные, короткоцепочечные и полиненасыщенные жирные кислоты, что является важным для функционального питания человека.

2. Расчет коэффициентов корреляции выявил как общие закономерности, так и отдельные различия в связях между компонентами молока у коз и овец.

2.1. К общим закономерностям для молока коз и овец относятся: высокая функциональная связь между уровнем МДБ и казеина ( $r = 0,95$  и  $0,99$  соответственно); высокая положительная связь между МДЖ и СВ, жирными кислотами ( $r = 0,61 \dots 0,86$ ;  $r = 0,70 \dots 0,96$  соответственно); высокая и средняя положительная между насыщенными (НЖК, ДЦЖК, СЦЖК, миристиновой, пальмитиновой) и ненасыщенными (МНЖК, ПНЖК, КЦЖК, олеиновая, стеариновая) жирными кислотами ( $r = 0,42 \dots 0,97$ ;  $r = 0,40 \dots 0,99$ ); средняя положительная – между МДЖ и МДБ, казеином, мочевиной ( $r = 0,39 \dots 0,49$ ;  $r = 0,22 \dots 0,42$  соответственно), КСК и ДКСК ( $r = 0,36$  и  $0,33$  соответственно).

2.2. Различия заключались в том, в молоке коз между мочевиной, олеиновой и длинноцепочечными кислотами связь слабоположительная ( $r = 0,18$  и  $0,15$ ), у овец она отсутствовала; между стеариновой кислотой и мочевиной, соответственно, связь была слабо положительной ( $r = 13$ ), у овец – слабо отрицательной ( $r = -0,19$ ).

2.3. Для показателя содержания лактозы в молоке коз отсутствовала связь между жиром, олеиновой, мононенасыщенными и насыщенными жирными кислотами, тогда как в молоке овец она была отрицательной ( $r = -0,12 \dots -0,36$ ); между лактозой и длинноцепочечными жирными кислотами в молоке коз выявлена средняя положительная связь ( $r = 0,32$ ), у овец – слабо отрицательная ( $r = -0,18$ ).

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 21–76–20008.*

## Библиографический список

1. *Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А.* Динамика поголовья коз и производства козьего молока и мяса в мире и в России // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 4. – С. 22–25. DOI: 10.26897/2074-0840-2020-4-22-25.
2. *Шевченко Д.О., Леценко И.А.* Характеристика отрасли молочного козоводства // Первый шаг в большую науку: Сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск, 5 февраля 2024 г. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. – С. 39–43.
3. *Abdulwahid Jaber Al-Fayad M.* Evaluation of Different Chemical and Physical Components of Milk in Cows, Buffalos, Sheep, and Goats // Archives of Razi Institute. – 2022. – № 77 (1). – Pp. 477–481. DOI: 10.22092/ARI.2021.356861.1932
4. *Muñoz-Salinas F., Andrade-Montemayor H.M., De la Torre-Carbot K., Duarte-Vázquez M.Á., Silva-Jarquín J.C.* Comparative Analysis of the Protein Composition of Goat Milk from French Alpine, Nubian, and Creole Breeds and Holstein Friesian Cow Milk: Implications for Early Infant Nutrition // Animals. – 2022. – № 12 (17). – P. 2236. DOI: 10.3390/ani12172236
5. *Шувариков А.С., Пастух О.Н.* Влияние породы коз на состав и технологические свойства молока // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию первого выпуска технологов сельскохозяйственного производства. – 2018. – С. 227–231.
6. *Павлова Л.А., Каширина Л.Г.* Особенности изготовления сыров из козьего молока // Бруцеллез: перспективы решения проблемы на основе новых научных знаний: Материалы Международной научно-практической конференции. Махачкала, 28 октября 2023 г. – Махачкала: ИП «Магомедалиев С.А.», 2023. – С. 339–345.
7. *Ingham B., Smialowska A., Kirby N.M., Wang C., Carr A.J.* A structural comparison of casein micelles in cow, goat and sheep milk using X-ray scattering // Soft matter. – 2018. – № 14 (17). – Pp. 3336–3343. DOI: 10.1039/c8sm00458g.
8. *Шувариков А.С., Канина К.А., Робкова Т.О., Юрова Е.А.* Состав и свойства овечьего, козьего и коровьего молока // Фермер. Черноземье. – 2019. – № 6 (27). – С. 46–47.
9. *Канина К.А., Жижин Н.А., Атанасов П.Р., Пастух О.Н.* Характеристика овечьего молока как сырья для производства молочных продуктов // Известия ТСХА. – 2022. – № 1 (6). – С. 146–158. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-6-146-158.
10. *Мухамедьянова Ф.И.* Козье молоко как сырье для производства продуктов питания // Инновационные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: Материалы I Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. Уфа, 25 мая 2023 г. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2023. – С. 83–87.
11. *Ремизова Е.В.* Морфология секреторного эпителия молочной железы коз // Ветеринарный врач. – 2014. – № 6. – С. 48–52.
12. *Ferro M.M., Tedeschi L.O., Atzori A.S.* The comparison of the lactation and milk yield and composition of selected breeds of sheep and goats // Translational animal science. – 2017. – № 1 (4). – Pp. 498–506. DOI: 10.2527/tas2017.0056.
13. *Гаврилова Н.Б., Чернопольская Н.Л., Щетинина Е.М.* Технологический потенциал козьего молока // Молочная промышленность. – 2021. – № 10. – С. 56–58. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-10-56-58.
14. *Калугина О.И., Шлятина К.А., Баранова Е.Р., Симон С.А.* Сыр как профилактика белково-энергетической недостаточности // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий: Сборник материалов I Международного конгресса. Кемерово, 28–30 ноября 2022 г. / Под общ. ред. А.Ю. Просекова. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. – С. 155–157. DOI: 10.21603/-I-IC-48.

15. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: Официальное издание. Т. 2. Породы животных. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – С. 214.

16. Сермягин А.А., Лашнева И.А., Косицин А.А., Игнатьева Л.П., Артемьева О.А., Sölkner J., Зиновьева Н.А. Морфологический состав соматических клеток в молоке коров как критерий оценки здоровья молочной железы в связи с продуктивностью и компонентами молока // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 6. – С. 1183–1198. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1183rus.

## CHARACTERIZATION OF MILK COMPOSITION AND CORRELATIONS BETWEEN ITS INDIVIDUAL COMPONENTS IN GOATS AND SHEEP OF DIFFERENT BREEDS

M.I. SELIONOVA<sup>1</sup>, V.I. TRUKHACHEV<sup>1</sup>, A.M. AYBAZOV<sup>1</sup>, A.A. BELOUS<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;  
<sup>2</sup>L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry)

*Breeding of goats and sheep for milk production shows positive dynamics in Russia. For effective breeding it is necessary to collect information on the composition of goat and sheep milk and the nature of correlations between its components in different breeds. The article compares infrared spectra of milk parameters of Alpine and Zaanen goats, Lacon and Ostfriesian sheep breeds, obtained on the automatic analyzer CombiFoss 7 D. It was found that in the milk of Alpine goats the content of the mass fraction of fat, solids, palmitic, long-, medium-, monounsaturated and saturated fatty acids was significantly higher by 7.2 to 82.4 percent ( $p < 0.001$ ) than in the milk of Zaanen goats. The milk of Lacon sheep had higher levels of fat, protein, casein, solids, urea, myristic, medium-, short-, and saturated fatty acids, and fatty acid trans-isomers by 19.4 to 82.6% ( $p < 0.001$ ) than that of Ostfriesian sheep; the latter had higher lactose content and lower differential somatic cell counts by 19.4% and 23.4% ( $p < 0.01$ ), respectively. In sheep milk, the level of mass fraction of fat, protein, casein, dry matter was on average 1.3 to 1.9 times higher than in goat milk, with the greatest advantage in the content of monounsaturated, short-chain and polyunsaturated fatty acids, which is important for functional human nutrition. Calculation of correlation coefficients revealed both general patterns and individual differences in the relationships between goat and sheep milk components. Common were a high functional relationship between protein and casein B content; high positive relationship between fat and TS, fatty acids ( $r = 0.61$  and  $0.96$ , respectively); high and medium positive relationship between saturated (SFA, LCFA, MCFA, myristic acid, palmitic acid) and unsaturated (MUFA, PUFA, SCFA, oleic acid, stearic acid) fatty acids ( $r = 0.40$  and  $0.99$ ); somatic cell count and differential cell count ( $r = 0.36$  and  $0.33$ ). The differences consisted in a weak positive relationship between urea, oleic acid and long chain fatty acids in goat milk while there was no relationship in sheep milk; between stearic acid there was a weak positive relationship in goat milk while there was a weak negative relationship in sheep milk; between lactose and long chain fatty acids there was a medium positive relationship in goat milk while there was a weak negative relationship in sheep milk.*

**Keywords:** goats, sheep, milk, IR spectra, somatic cells, correlation.

### References

1. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. Dynamics of goat population and production of goat milk and meat in the world and Russia. *Ovtsy, kozy, sherstyanoje delo*. 2020;4:22–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2020-4-22-25>

2. Shevchenko D.O., Leshhenko I.A. Characteristics of the dairy goat breeding industry. *III Mezhdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy konkurs "Perviy shag v bolshuyu nauku"*. February 05, 2024. Petrozavodsk, Russia: Mezhdunarodniy tsentr nauchnogo partnerstva "Novaya Nauka" (IP Ivanovskaya I.I.), 2024:39–43. (In Russ.)
3. Abdulwahid Jaber Al-Fayad M. Evaluation of Different Chemical and Physical Components of Milk in Cows, Buffalos, Sheep, and Goats. *Archives of Razi Institute*. 2022;77(1):477–481. <https://doi.org/10.22092/ARI.2021.356861.1932>
4. Muñoz-Salinas F., Andrade-Montemayor H.M., De la Torre-Carbot K., Duarte-Vázquez M.Á., Silva-Jarquín J.C. Comparative Analysis of the Protein Composition of Goat Milk from French Alpine, Nubian, and Creole Breeds and Holstein Friesian Cow Milk: Implications for Early Infant Nutrition. *Animals*. 2022;12(17):2236. <https://doi.org/10.3390/ani12172236>
5. Shuvarikov A.S., Pastukh O.N. Influence of goat breed on composition and technological properties of milk. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashhennaya 20-letiyu pervogo vypuska texnologov sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva "Nauchno-obrazovatel'nye i prikladnye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii"*. November 15, 2018. Cheboksary, Russia: Chuvash SAA, 2018:227–231. (In Russ.)
6. Pavlova L.A., Kashirina L.G. Features of the manufacture of cheese from goat's milk. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Brutselloz: perspektivy resheniya problemy na osnove novykh nauchnykh znaniy"*. October 28, 2023. Makhachkala, Russia: IP "Magomedaliyev S.A.", 2023:339–345. (In Russ.)
7. Ingham B., Smialowska A., Kirby N.M., Wang C., Carr A.J. A structural comparison of casein micelles in cow, goat and sheep milk using X-ray scattering. *Soft matter*. 2018;14(17):3336–3343. <https://doi.org/10.1039/c8sm00458g>
8. Shuvarikov A.S., Kanina K.A., Robkova T.O., Yurova E.A. Composition and properties of sheep, goat and cow milk. *Fermer. Chernozem'e*. 2019;6(27):46–47. (In Russ.)
9. Kanina K.A., Zhizhin N.A., Atanasov P.R., Pastukh O.N. Characteristics of sheep's milk as raw material for the production of dairy products. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;1(6):146–158. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-146-158>
10. Mukhamed'yanova F.I. Goat milk as a raw material for food production. *I Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov "Innovatsionnye nauchnye issledovaniya: opyt, problemy i perspektivy razvitiya"*. May 25, 2023. Ufa, Russia: Bashkir State Agrarian University, 2023:83–87. (In Russ.)
11. Remizova E.V. Morphology of secretory epithelial cells in goat mammary gland. *Veterinarniy vrach*. 2014;6:48–52. (In Russ.)
12. Ferro M.M., Tedeschi L.O., Atzori A.S. The comparison of the lactation and milk yield and composition of selected breeds of sheep and goats. *Translational Animal Science*. 2017;1(4):498–506. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0056>
13. Gavrilova N.B., Chernopolskaya N.L., Shhetinina E.M. Technological potential of goat's milk. *Molochnaya promyshlennost'*. 2021;10:56–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-10-56-58>
14. Kalugina O.I., Shlyapina K.A., Baranova E.R., Simon S.A. Cheese as a prevention of protein-energy malnutrition.: *I Mezhdunarodniy kongress "Noveyshie dostizheniya v oblasti meditsiny, zdravookhraneniya i zdorov'esberegayushchikh tekhnologiy"*. November 28–30, 2022. Kemerovo, Russia: Kemerovo State University, 2022:155–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/-I-IC-48>

15. The State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Vol. 2. “Animal Breeds” (official edition). Moscow, Russia: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2022:214. (In Russ.)

16. Sermyagin A.A., Lashneva I.A., Kositsin A.A., Ignatieva L.P. et al. Differential somatic cell count in milk as criteria for assessing cow’s udder health in relation with milk production and components. *Agricultural Biology*. 2021;6(56):1183–1198. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1183rus>

### Сведения об авторах

**Селионова Марина Ивановна**, проректор по научной работе, д-р биол. наук, профессор РАН, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: selionova@rgau-msha.ru; тел.: (968) 266–33–03

**Трухачев Владимир Иванович**, ректор, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: rector@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–12–96

**Айбазов Али-Магомет Муссаевич**, ведущий научный сотрудник, д-р с.-х. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: velikii-1@yandex.ru; тел.: (938) 351–01–02

**Белоус Анна Александровна**, заведующий лабораторией генетических технологий в агро- и аквахозяйстве отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, канд. биол. наук, ФГБНУ ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста; 142132, Российская Федерация, Московская область, г/о Подольск, п. Дубровицы; e-mail: belousa663@gmail.com; тел.: (985) 040–40–28

### Information about the authors

**Marina I. Selionova**, DSc (Bio), RAS Professor, Vice-Rector for Research, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (968) 266–33–03; e-mail: selionova@rgau-msha.ru; ORCID0000-0002-9501-8080)

**Vladimir I. Trukhachev**, Rector of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, RAS Academician (Full Member), DSc (Ag), Professor, DSc (Econ), Professor (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–12–96; e-mail: rector@rgau-msha.ru; ORCID0000-0002-4650-1893)

**Ali-Magomet M. Aybazov**, DSc (Ag), Chief Research Associate, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (938) 351–01–02; e-mail: velikii-1@yandex.ru; ORCID0000-0002-37041-3210)

**Anna A. Belous**, CSc (Bio), Head of the Laboratory of Genetic Technologies in Agro- and Aquaculture of the Department of Population Genetics and Genetic Bases of Animal Breeding, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (60 Dubrovitsy, urban district Podolsk, Moscow Region, 142132, Russian Federation; phone: (985) 040–40–28; e-mail: belousa663@gmail.com; ORCID0000-0001-7533-4281)

## ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ САДОВОДЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН

Л.А. ВЕЛИБЕКОВА<sup>1</sup>, А.А. ТЮТЮНИКОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт социально-экономических исследований ДФИЦ РАН<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района – филиал «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева»)

*Статья посвящена решению актуальной региональной проблемы – повышению эффективности функционирования садоводческих организаций в Республике Дагестан. Отмечается, что существенное уменьшение вклада этой категории товаропроизводителей в производство плодовой продукции, отсутствие инновационной, инвестиционной активности лимитирует развитие не только подотрасли садоводства, но и всей агропродовольственной сферы республики. Целью исследований является разработка предложений по усилению позиций садоводческих организаций в общереспубликанском производстве плодовой продукции, повышению результативности их деятельности. Методология работы основана на использовании региональной статистической информации, а также на исследованиях отечественных ученых-экономистов в области организации садоводства и развития различных форм хозяйствования. Проанализирована производственно-экономическая деятельность садоводческих организаций, размещенных в трех природно-климатических зонах республики. Период анализа охватывает 2017–2022 гг. Сделан вывод о необходимости дифференцированного размещения многолетних насаждений плодовых культур по территории республики, углубления специализации каждой природно-климатической зоны, применения повышающих коэффициентов государственной поддержки при условии закладки многолетних насаждений на высоте более 500 м над уровнем моря. Выявлено, что низкие размеры площадей многолетних насаждений не позволяют садоводческим организациям выйти на высокие объемы производства даже при условии использования интенсивных технологий возделывания. Региональным органам власти рекомендуется провести правовые, организационные мероприятия по расширению площадей путем кооперации садоводческих организаций и мелких личных подсобных хозяйств населения. Предложены составление паспорта и создание электронной базы садопригодных земель республики. Разработан инвестиционный план развития садоводства в республике до 2035 года. Прогнозируемое увеличение объемов производства плодов будет способствовать увеличению финансовых показателей от реализации продукции, повышению экономической эффективности деятельности садоводческих организаций. Представлен прогнозный расчет необходимого объема финансовых вложений на капитальные и текущие затраты при увеличении площади многолетних насаждений. Основным источником финансирования являются бюджетные средства региона. Расчеты показали, что срок окупаемости проекта составит 8 лет при норме доходности 30%. Материалы, полученные в процессе исследований, позволят внести определенные коррективы в перспективы размещения отрасли и стать основой разработки стратегии и комплексных программ регионального развития садоводства и сельских территорий.*

**Ключевые слова:** инвестиционный проект, природно-климатическая зона, развитие, садоводство, специализация, эффективность.

## Введение

Эффективное развитие садоводства в Республике Дагестан является важной региональной задачей, так как позволит решить широкий спектр разносторонних социально-экономических проблем, охватывающих многие сферы жизнедеятельности (обеспечение занятости, рост доходов, пополнение бюджета), а также повысит эффективность агропромышленного производства. Стоит отметить, что данная подотрасль не только занимает стратегическое положение в региональной аграрной экономике, но и является частью культурного наследия дагестанского населения. Оказываемая в последние годы существенная государственная поддержка сельскохозяйственным товаропроизводителям вносит позитивные изменения в развитие данного сектора. Если в 2016 г. объем выделяемых средств составлял 158,3 млн руб., то в 2021 г. – 205,2 млн руб., в 2023 г. – 457 млн руб. В текущем 2024 г. планируется увеличить затраты на господдержку еще на 9,4%. Как результат, можно наблюдать некоторые позитивные достижения. Заметными темпами происходит расширение площадей садов, в 2023 г. осуществлена закладка плодовых насаждений на площади 1,6 тыс. га, что на 26,5% больше уровня предыдущего года. Соответственно отмечается рост объема производства плодово-ягодной продукции, который в 2023 г. составил 220 тыс. т, или 105,2% к уровню 2022 г. Следует отметить, что республика во всероссийском рейтинге находится на 3 месте по валовому сбору плодов, на 2 месте – по площади закладки новых садов. Республика Дагестан в полном объеме обеспечивает внутренний спрос населения на фрукты, самообеспеченность на сегодняшний день – одна из высоких среди российских регионов: 72,5% при установленных Доктриной продовольственной безопасности 60%, а потребление свежих фруктов составляет 80 кг на душу населения, что превышает общероссийский показатель в 1,3 раза.

Таким образом, потенциал республики в этой подотрасли очевиден, и дальнейшее ее развитие должно происходить по пути совершенствования технологий, активизации инновационной деятельности, всемерной интенсификации, стимулирования вывоза фруктов в другие регионы страны. Поэтому необходимо уделить особое внимание продолжению осуществления государственной поддержки.

Новый этап геополитических и экономических преобразований требует смены подходов к развитию агропродовольственного сектора, которые должны обеспечить повышение эффективности производства, конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешних рынках. Садоводство, как и любая отрасль сельского хозяйства, должно развиваться по инновационному варианту с присущими ему положительными коннотациями (быстрая адаптация к изменяющимся рыночным условиям, рост производительности труда и рентабельности, сокращение издержек производства) и на этой основе ускоренно решать проблемы обеспечения населения свежими плодами, ягодами и продукцией их переработки.

В настоящее время мировая практика демонстрирует широкие возможности науки и технического прогресса в сельском хозяйстве. Опыт Китая, Индии, Бразилии, Турции – стран, играющих ключевую роль в производстве свежих фруктов, – бесспорно, свидетельствует о том, что внедрение инновационных агротехнологий обеспечивает достижение высокой технологической, экономической эффективности отрасли [1–6]. Как известно, освоить и внедрить данные технологии под силу только специализированным сельскохозяйственным организациям. В современных условиях растущего санкционного давления важно использовать это преимущество для ускорения научно-технологического развития.

В нашей стране практически с реформенных годов пропагандировалась необходимость восстановления сельскохозяйственных организаций, обеспечения

организационно-экономических условий для эффективного функционирования, повышения экономического потенциала. Однако до настоящего времени удельный вес данной категории хозяйств в производстве продукции сельского хозяйства остается неизменно низким и не достигает уровня предреформенного периода. Сегодня постановка такой задачи диктуется потребностью преодоления внутренней неконкурентоспособности на фоне зарубежных рестрикций. В этой связи актуализируется поиск путей решения проблем – таких, как развитие кооперации и интеграции форм хозяйствования, определение резервов рационального использования производственно-экономических ресурсов.

**Цель исследований:** разработка предложений по усилению позиций садоводческих организаций, повышению результативности их деятельности как значимой формы хозяйствования в аграрной структуре производства.

В соответствии с поставленной целью были обозначены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ функционирования садоводческих организаций в разрезе природно-климатических зон республики;
- определить организационные мероприятия по увеличению размеров площади многолетних плодовых насаждений в садоводческих организациях;
- разработать инвестиционный план развития садоводства в садоводческих организациях, определить прогнозный объем необходимых финансовых средств до 2035 года.

### **Материал и методы исследований**

Проблематика развития садоводства в России и отдельных регионах является актуальной и нашла отражение в научных исследованиях ряда авторов: Ю.И. Агирбова, А.В. Глотко, Л.В. Григорьевой, Е.А. Егорова, А.И. Завражного, К.Х. Ибрагимова, Н.Ю. Кузичевой, И.М. Куликова, И.А. Минакова, Р.Р. Мухаметзянова, И.В. Муханина, И.Н. Рыковой, Н.Р. Сучковой, Ю.В. Трунова, В.С. Ускова и др.

Региональные проблемы природно-климатического размещения, специализации, экономики садоводства отражены в исследованиях Т.Б. Алибекова, А.М. Аджиева, З.М. Асадулаева, Н.Г. Загирова, М. – Р.А. Казиева, Ш.С. Мудуева, М.К. Мурсалова, З.Ф. Пулатова, Ш.И. Шарипова и др.

Исследования состояния промышленного садоводства в Республике Дагестан базировались на всестороннем анализе размещения, специализации, производственной деятельности садоводческих организаций в разрезе природно-климатических зон.

В процессе исследований были использованы общенаучные методы познания, экономико-статистические методы, позволившие провести компаративный анализ и обосновать выводы.

Исходной информацией послужили данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Дагестан (Дагестанстат), Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Дагестан за 2017–2022 гг.

Авторами разработан инвестиционный проект развития садоводства в сельскохозяйственных предприятиях Республики Дагестан. Расчеты произведены в программе Microsoft Office Excel 2019.

### **Результаты и их обсуждение**

Сегодня садоводство Дагестана находится на новом этапе развития. Однако оценивая его, необходимо использовать не только абсолютные показатели объемов производства продукции и площади многолетних насаждений. Представляется, что

одним из репрезентативных показателей является аграрная структура производства, которая играет важнейшую роль в эффективном развитии сельского хозяйства.

Исследования показали, что в силу ряда региональных особенностей Республики Дагестан, экономических трансформаций, обусловленных современными реформами, специализированные садоводческие организации не играют значимой роли в производстве плодов и ягод. На их долю в 2022 г. приходилось 16,8% площадей многолетних насаждений и 9,9% валового сбора плодов. Крестьянские (фермерские) хозяйства, владея 5,6% площади, производят 4,9% продукции. Основная часть производства плодовой продукции в республике принадлежит личным подсобным хозяйствам населения, что накладывает на отрасль специфичный архаичный отпечаток. Удельный вес личных подсобных хозяйств населения в общей площади плодовых насаждений составил 77,3%, в производстве плодовой продукции – 85,2% [7]. Столь низкие позиции общественного сектора связаны с традиционной особенностью республики: с острой проблемой малоземелья и социально-экономическими, национальными и другими факторами. Для сравнения стоит привести пример Краснодарского края, где на долю садоводческих организаций приходится 76,3%, Ставропольского края (65,6%), Республики Кабардино-Балкария (43,5%). Такой высокий удельный вес сельскохозяйственных организаций в производстве плодов может явиться хорошим ориентиром для республики.

Как следует из данных рисунка 1, удельный вес хозяйств населения в производстве плодов и ягод за 2000–2022 гг. повысился с 78, до 85,2%. Но начиная с 2017 г. можно увидеть медленное повышение доли сельскохозяйственных организаций с 1,5 до 9,9% и доли крестьянских (фермерских) хозяйств – с 0,4 до 4,9%. Данная тенденция, на наш взгляд, обусловлена оказываемой государственной поддержкой, которая предоставляется этой форме хозяйствования в приоритетном порядке.

Таким образом, высокий удельный вес личных подсобных хозяйств населения в аграрной экономике снижает производственную базу, делает иллюзорной активизацию инновационной деятельности. Это не соответствует целям современного этапа региональной аграрной политики и в свою очередь обуславливает трансформацию структуры, формирование прогрессивных форм хозяйствования. В условиях республики это возможно только в случае перемещения значительной части произведенной продукции в эксплоярных формах хозяйствования в сельскохозяйственные организации.



**Рис. 1.** Удельный вес категорий хозяйств в производстве плодово-ягодной продукции в Республике Дагестан, % (составлено авторами [8])

Как видим, сложились две взаимосвязанные задачи обеспечения эффективного развития садоводства. На первый план выдвигаются совершенствование аграрной структуры путем восстановления, ревитализация действующих и формирование новых сельскохозяйственных организаций. На наш взгляд, решение этой дилеммы позволит перейти к решению второй задачи: технико-технологическое перевооружение производства, внедрение инновационной техники и технологий, а также разрешение многих актуальных экономико-социальных вопросов в регионе.

Региональный рынок плодородческой продукции Дагестана представлен относительно небольшим числом местных производителей. По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Дагестан, годовую отчетность в 2022 г. предоставили 65 садоводческих организаций, имеющих организационно-правовую форму общества с ограниченной ответственностью, акционерного общества и сельскохозяйственного производственного кооператива. Свое влияние на размеры садоводческих организаций, уровень затрат на производство оказывают природно-климатические зоны Республики Дагестан.

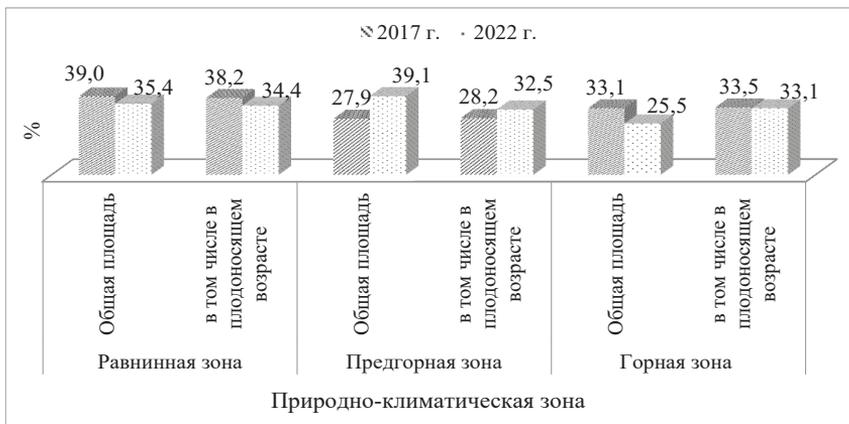
По характеру рельефа и другим физико-географическим условиям территория республики подразделяется на 3 вертикальные зоны: равнинная (площадь – 2,3 млн га, или 43,3% территории), предгорная (площадь – 0,8 млн га, или 15,8% территории), горная (площадь – 2,1 млн га, или 39,9% территории). Как видим, большая часть территории приходится на предгорно-горные зоны, которые характеризуются мелкоконтурностью, резкой пересеченностью рельефа, наличием труднодоступных участков, что и определяет мелкие размеры сельхозтоваропроизводства.

Исследования региональных ученых показывают, что основные зоны промышленного садоводства сосредоточены преимущественно в южной равнинной зоне, а также в предгорной и горной зона. Прежде всего, это горно-речные долины, где произрастают ценные породы плодовых культур [9, 10].

Наиболее важный показатель для анализируемых организаций – площадь многолетних насаждений, так как он определяет весь производственный процесс и ресурсное обеспечение. Площади многолетних плодовых насаждений в садоводческих организациях имеют неустойчивую тенденцию. Так, за 2017–2022 гг. данный показатель увеличился с 4,9 до 5,4 тыс. га, а в 2022 г. вновь сократился до 4,7 тыс. га, или на 13%. При этом в качестве положительного результата можно отметить рост площади в плодоносящем возрасте до 3,1 тыс. га. Удельный вес садов сельскохозяйственных предприятий, размещаемых на равнинной зоне, составляет 35%, в предгорной зоне – 39%, на горную зону приходится 26%.

Активная закладка новых интенсивных садов в республике привела к изменению в структуре размещения площадей многолетних насаждений. В динамике удельный вес площади плодовых насаждений на равнинной зоне сократился с 39,0 до 35,4%, в том числе в плодоносящем возрасте – с 38,2 до 34,4%, в горной зоне – с 33,1 до 25,5%, в том числе в плодоносящем возрасте – с 33,5 до 33,1%, а в предгорной зоне, наоборот, возрос с 33,1 до 39,1%, в том числе в плодоносящем возрасте – с 28,2 до 32,5% (рис. 2).

Таким образом, в настоящее время в республике площади плодовых садов сельскохозяйственных организаций сосредоточены преимущественно в предгорной зоне. Это наиболее благоприятная зона для садоводства, начиная от высоты посадок с 500 до 1000 м н.у.м. Равнинная зона является ведущей по масштабам раскорчевки старых садов и закладки новых, что и объясняет сокращение площадей. Уменьшение площадей в горной зоне, на наш взгляд, связано в большей части с миграцией населения, которое не стремится оставаться в данной местности и заниматься с сельскохозяйственной деятельностью. Здесь все еще сохраняются экстенсивные сады, посаженные в советский период. Вместе с тем в условиях малоземелья в республике горная зона имеет большие перспективы для развития террасного садоводства и рассматривается как важный резерв наращивания производства экологически чистой продукции, удовлетворения потребностей плододоконсервной промышленности.



**Рис. 2.** Динамика структуры размещения общей площади многолетних насаждений и площади в плодоносящем возрасте садоводческих организаций в разрезе природно-климатических зон, % (составлено авторами [8])

Исследования показали рост валовых сборов в сельскохозяйственных организациях, которые увеличились за 2017–2022 гг. с 2,6 до 21 тыс. т, или в 8 раз. Такую тенденцию можно связать с вступлением в пору плодоношения новых интенсивных садов, заложенных еще в 2011–2012 гг., а также с благоприятными погодными условиями.

Увеличение доли садоводства интенсивного типа позволило повысить продуктивность подотрасли. Заметный рост урожайности частично компенсировал сокращение площади многолетних насаждений, что обеспечило повышение общих объемов производства плодов по большинству видов семечковых и косточковых культур. Средняя урожайность семечковых пород в 2022 г. на сельхозпредприятиях равнинной зоны составила 68 ц/га, в предгорных районах – 132 ц/га, горных – 50,5 ц/га; по косточковым – 48,0; 30,5; 55,9 ц/га, соответственно. Вместе с тем важно подчеркнуть, что достигнутая в сельскохозяйственных организациях урожайность не соответствует интенсивному типу насаждений. Урожайность в интенсивных садах намного выше и составляет 400–450 ц/га и выше. Например, в Республике Кабардино-Балкария средняя урожайность плодовых культур в сельскохозяйственных организациях в 2022 г. составляла 430,1 ц/га, в Краснодарском крае – 329 ц/га. Поэтому перед республиканскими сельхозтоваропроизводителями поставлены актуальные задачи преодоления агротехнологического отставания.

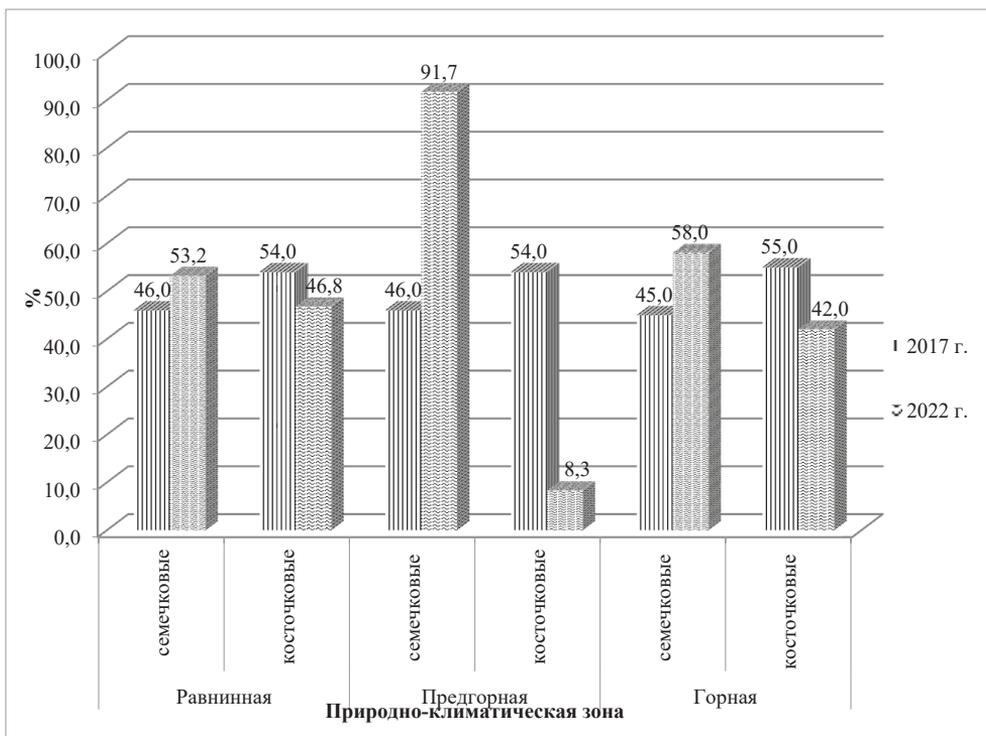
За счет сокращения площади плодовых насаждений доля валовых сборов в сельхозорганизациях, размещенных на равнинной зоне, сократилась с 43 до 28,2%, а в горной зоне – с 26,6 до 23,5%. В предгорной зоне положительное влияние оказали повышение урожайности и увеличение размеров площади, и в результате ее доля в валовом сборе увеличилась с 30,4 до 48,3% (рис. 3).

В настоящее время наибольший удельный вес в валовом сборе плодовых культур во всех природно-климатических зонах приходится на семечковые культуры, что связано с переходом товаропроизводителей на интенсивные технологии в садоводстве и использованием высокоурожайных скороспелых сортов яблони (рис. 4).

Отметим, что практически все сельскохозяйственные организации, но особенно предгорной и горной зон, существенно сократили производство косточковых культур, которые выращиваются в основном в хозяйствах населения. На наш взгляд, для республики и ее роли в территориальном разделении труда необходимо изменение сложившегося соотношения в пользу последних. Более того, это создаст стимул для развития перерабатывающей промышленности, так как для нее большую потребительскую ценность представляют косточковые культуры.



**Рис. 3.** Динамика удельного веса садоводческих организаций в валовом сборе плодовых культур в разрезе природно-климатической зоны, % (составлено авторами [8])



**Рис. 4.** Динамика удельного веса семечковых и косточковых культур в общем объеме производства садоводческих организаций в разрезе природно-климатических зон, % (составлено авторами [8])

В современных условиях вопросы экономической эффективности производства продукции приобретают для сельскохозяйственных товаропроизводителей огромное значение. Большое разнообразие климатических условий в республике обуславливает различную экономическую эффективность возделываемых плодовых культур. По всей совокупности специализированных организаций в 2022 г. по сравнению с 2017 г. себестоимость 1 т плодов возросла (рис. 5).

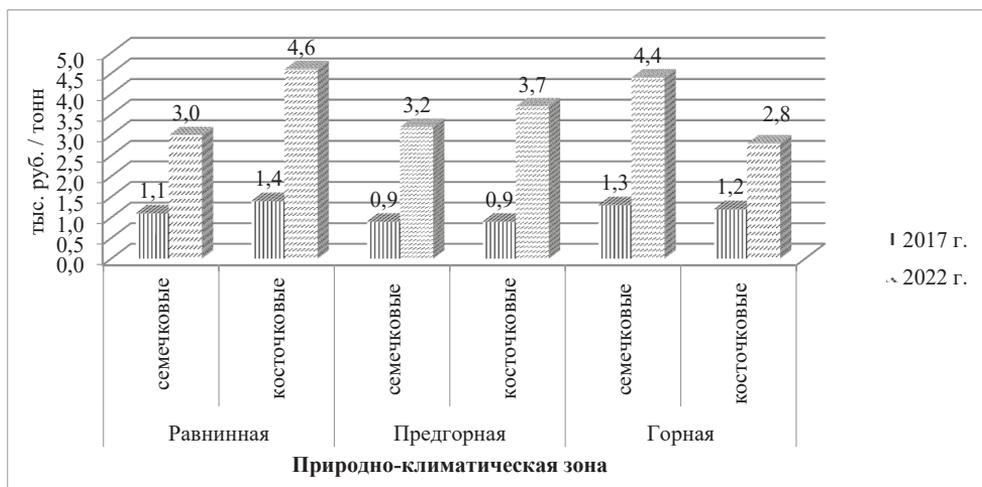
Отметим, что себестоимость производства плодовых культур в различных организационно-правовых формах садоводческих организаций республики сложилась

на одинаковом уровне. Существенное влияние на себестоимость плодово-ягодной продукции оказывают почвенно-климатические различия природных зон (тип почв, температура и влажность воздуха, солнечная радиация, продолжительность светового дня, возвратные морозы), что обуславливает определенные агротехнологические подходы и разный уровень затрат на 1 га, который может меняться в территориальном разрезе. Например, в горной зоне благодаря лучшей фитообстановке требуются 1–2 химические обработки деревьев в отличие от равнинной зоны, где проводят 4 обработки и более, а следовательно, и затраты будут выше. Но в горной зоне возможны возвратные заморозки весной, которые повреждают цветковые почки, особенно косточковых культур, и напрямую влияют на урожайность.

Анализ себестоимости производства плодовых культур показал, что затраты на производство семечковых в равнинной и предгорной зонах меньше, чем на производство косточковых культур, а в горной зоне себестоимость производства косточковых культур, наоборот, меньше, чем семечковых культур. Это подтверждает целесообразность дифференцированного размещения многолетних насаждений плодовых культур по территории республики и необходимость углубления специализации каждой природно-климатической зоны для устойчивого развития садоводства.

Благодаря интенсивным садам и увеличению валовых сборов садоводческие организации постепенно повышают уровень доходности производства. Это наглядно демонстрирует динамика экономических показателей эффективности в сельхозорганизациях за 2017–2022 гг. (табл. 1).

Существенный прирост выручки от реализации плодов (в 14,2 раза) позволил возместить рост полной себестоимости реализованной продукции (в 11,9 раза), получить прибыль и повысить уровень рентабельности с 11,7 до 33,1%. Средняя реализационная цена 1 ц на плодую продукцию является нестабильной и именно ее волатильность дает наибольший эффект прироста или снижения показателей прибыли и рентабельности. Высокий уровень рентабельности (68%) был получен в 2021 г., что является следствием таких факторов, как рост объемов реализации на 22,7% по сравнению с 2020 г., рост средней цены реализации на 31,0% и снижение себестоимости на 21%. Но уже в 2022 г. снижение средней реализационной цены и повышение себестоимости привели к снижению уровня рентабельности до 33,1%, или в 2 раза.



**Рис. 5.** Динамика себестоимости производства 1 т плодов в садоводческих организациях в разрезе природно-климатических зон, тыс. руб. (составлено авторами [8])

**Динамика показателей эффективности производства плодовой продукции в садоводческих организациях Республики Дагестан**  
(составлено авторами [11])

Таблица 1

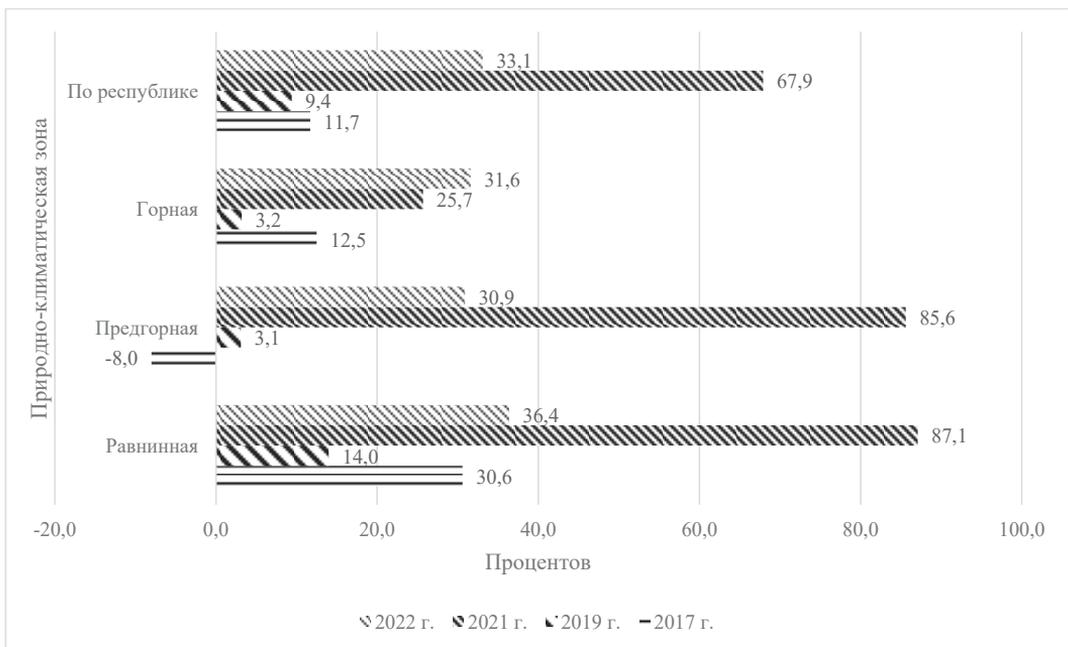
Показатель	Годы						2022 г. к 2017 г., раз
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Себестоимость производства семечковых и косточковых культур, руб./ц	58210,0	42597,0	42420,0	174047,0	169769,0	246060,0	4,2
Цепной темп роста, %	–	73,2	99,6	410,3	97,5	144,9	–
Реализовано продукции, ц	15472,0	20326,5	27000,0	80322,5	98560,7	141439,4	9,1
Цепной темп роста, раз	–	в 1,3 раза	в 1,3 раза	в 29,7 раза	в 12,7 раза	в 1,4 раза	–
Полная себестоимость реализованной продукции, тыс. руб/ц	22909,0	31568,0	30631,0	158351,0	153863,0	273824,0	11,9
Цепной темп роста, %	–	137,8	97,0	517,0	97,0	178,2	–
Полная себестоимость реализации единицы продукции, руб./ц	1480,7	1553,1	1134,5	1971,4	1559,1	1935,9	1,3
Цепной темп роста, %	–	104,9	73,0	173,8	79,1	124,2	–
Выручка от реализации, тыс. руб./ц	25594,0	31541,0	33505,0	160549,0	258091,0	364336,0	14,2
Цепной темп роста, %	–	123,2	106,2	479,2	160,8	141,2	–
Средняя цена единицы продукции, руб/ц	1654,2	1551,7	1240,9	1998,8	2618,6	2575,9	1,5
Цепной темп роста, %	–	93,8	80,0	161,1	131,0	98,4	–
Прибыль, тыс. руб/ц	2685,0	–27	2874,0	2198,0	104428,0	90512,0	33,7
Цепной темп роста, %	–	–	76,5	4751,0	86,7	76,5	–
Рентабельность, %	11,7	–0,1	9,4	1,4	67,9	33,1	–

В зональном разрезе рентабельность в равнинной зоне за 2017–2022 гг. увеличилась с 30,6 до 36,4%, в то время как в предгорной – с 8 до 30,9%, в горной – от 12,5 до 31,6% (рис. 6).

Наиболее рентабельным является производство в равнинной зоне, где не только благоприятный биоклиматический, агроэкологический, но более высокий экономический потенциал, чем в других зонах, поэтому здесь требуется меньше затрат на замещение лимитирующих ресурсов (преимущественно проведение мелиоративных работ). В этой связи, на наш взгляд, следует дифференцировать объем и механизмы государственной поддержки для сельхозтоваропроизводителей, размещенных в каждой природно-экономической зоне. Поэтому необходимо предусмотреть повышающие коэффициенты государственной поддержки при условии закладки многолетних насаждений на высоте более 500 м н.у.м.

Несмотря на отмечаемый рост уровня рентабельности деятельности, важно подчеркнуть, что реальные масштабы сельскохозяйственных предприятий республики недостаточны для эффективной деятельности и не соответствуют промышленному производству. По мнению различных авторов, вести расширенное воспроизводство сельскохозяйственной продукции можно при уровне рентабельности, превышающем 80% [12]. Низкая и неустойчивая доходность не обеспечивает им необходимые воспроизводственные возможности, что во многом способствует сохранению системных финансовых и экономических проблем, которые препятствуют ведению интенсивной, научно обоснованной системы садоводства, использованию современных агротехнологий и специализированных средств механизации.

Таким образом, общий вывод проведенного выше компаративного анализа свидетельствует о возросшем, но недостаточном уровне государственной поддержки аграрных предприятий. Специализированные садоводческие предприятия республики без государственной поддержки не могут функционировать и обеспечивать даже простое воспроизводство.



**Рис. 6.** Динамика уровня рентабельности производства плодовой продукции в садоводческих организациях в разрезе природно-климатических зон, % (составлено авторами [11])

Проблему развития садоводческих организаций, повышения эффективности их деятельности необходимо решать комплексно, то есть одновременно работать над тремя основными составляющими: во-первых, над увеличением размера площадей под многолетними насаждениями; во-вторых, над повышением объемов производства за счет интенсификации производственных процессов; в-третьих, над привлечением необходимого объема инвестиций.

На наш взгляд, в числе основных задач в секторе садоводческих организаций находится расширение площадей плодовых многолетних насаждений, и данная проблема приобретает особенно острый характер. Причиной этого является тот факт, что в ходе проведенных реформ в 1990-е гг. была утеряна система управляемости со стороны республиканских продовольственных объединений, а многие сельскохозяйственные организации, лишившись ключевых позиций, были раздроблены на многочисленные фермерские хозяйства, огромное число земельных долей и имущественных паев.

Мониторинг состояния и хозяйственного использования земель, предоставленных людям в долгосрочную аренду, показал, что сегодня некоторые из этих земель заброшены и не используются по назначению. Считаем, что в республике при всей сложности решения данного вопроса наиболее реальной и перспективной является кооперация сельскохозяйственных организаций с хозяйствами населения на основе объединения земельных участков. Полагаем, что такой подход необходимо рассматривать не только как один из возможных путей увеличения размеров садоводческих организаций, но и как важнейшее условие совершенствования аграрной структуры экономики, снижения весомой роли личных подсобных хозяйств населения. Без кооперации невозможно модернизировать аграрную экономику, сформировать современный образ села. Организация кооперативной системы должна основываться на договорной основе с изложением принципов и форм кооперирования садоводческих организаций и хозяйств населения, установлением обязательств сторон и экономических взаимоотношений. Формирование потребительских сельскохозяйственных кооперативов (кредитных, сбытовых) также послужит хорошим мотивом для хозяйств населения в наращивании объемов их производства, а следовательно, постепенного перехода на более высокий уровень хозяйствования.

Еще одним направлением увеличения размера площадей в сельскохозяйственных организациях является вовлечение в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных угодий. Земля – один из основных материальных ресурсов в сельском хозяйстве. В настоящее время в республике около 65 тыс. га сельскохозяйственных угодий остаются неиспользуемыми, в том числе 34 тыс. га пашни – это более 8% самой ценной категории земель. Для решения данной проблемы в 2021 г. в республике была проведена масштабная инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения, в ходе которой актуализирован реестр республиканской собственности и создан единый перечень земельных участков, зарезервированных для государственных и муниципальных нужд, реализации инвестиционных проектов. По госпрограмме в Дагестане можно провести работу по вовлечению в оборот более 10 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения за 2022–2024 гг. и 7,6 тыс. га – в 2025–2026 гг. Эти земли, на наш взгляд, можно рассматривать в качестве резерва и вовлечения для ведения садоводства, учитывая его приоритетную роль.

Практическая реализация предложенных направлений требует со стороны региональных органов власти комплексных радикальных мер законодательного,

правового и организационного характера на республиканском уровне. В этой связи важно отметить проведение следующих мероприятий:

- организация инвентаризации земельных участков республики, формирование реестра и электронной базы садопригодных земель с учетом того, что у каждого вида плодовых культур существуют свои требования к почвам;
- мотивирование землепользователей, имеющих небольшие земельные участки, к сельскохозяйственной кооперации для создания единого массива закладки садов;
- привлечение на долевых началах инвесторов и создание инвестиционных площадок.

По нашему мнению, необходимость в экстенсивном освоении земли связана с тем, что использование только интенсивных методов не позволяет получить необходимый объем валовых сборов для повышения самообеспеченности населения фруктами, перерабатывающей промышленности сырьем и экспортных возможностей республики.

Безусловно, расширение площадей потребует решения проблемы изыскания дополнительных финансовых источников, рационального их использования и быстрой окупаемости. Именно поэтому на первый план должно выйти утверждение региональной инвестиционной программы развития садоводства на основе прогнозов увеличения площади многолетних насаждений, валовых сборов, экономической оценки эффективности.

В рамках данных исследований был произведен прогнозный расчет (табл. 2) объема необходимых финансовых ресурсов (капитальных вложений) при расширении площадей многолетних насаждений в сельскохозяйственных организациях на основе модели оптимального планирования.

В качестве независимых переменных этой модели выступают  $x_{jkh}$  – площади вводимых посадок  $j$ -го вида в  $k$ -й зоне  $h$ -го года (га). Критерием оптимальности является максимум целевой функции  $NPV$  – суммы чистой приведенной стоимости по видам посадок во всех зонах на конец горизонта планирования, тыс. руб.

В модель заложены детализированные по видам посадок и зонам ограничения на минимальный ( $A$ ) и максимальный ( $B$ ) ежегодный прирост площади, максимальный ежегодный объем капитальных ( $C$ ) и текущих затрат ( $G$ ), максимальное ежегодное количество доступных для приобретения саженцев ( $L$ ).

В формализованном виде модель принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{jkh} \leq x_{jkh} \leq B_{jkh} \\ \sum_h x_{jkh} \leq P_{jk} \\ \sum_j \sum_k c_{jk} x_{jkh} \leq C_h \\ \sum_j \sum_k \sum_i g_{jkhi} x_{jkh} \leq G_h \\ \sum_j \sum_k l_{jk} x_{jkh} \leq L_h \\ x_{jkh} \geq 0 \\ NPV = \sum_j \sum_k \sum_h \sum_i d_{jkhi} x_{jkh} \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $c_{jk}$  – плановый норматив капитальных затрат на закладку 1 га  $j$ -го вида посадок в  $k$ -зоне;  $g_{jkhi}$  – плановый норматив текущих затрат в  $i$ -м году проекта на уход за 1 га сада  $j$ -го вида в  $k$ -зоне, заложенного в  $h$ -м году;  $l_{jk}$  – норматив потребностей саженцев на закладку 1 га  $j$ -го вида посадок в  $k$ -зоне;  $d_{jkhi}$  – дисконтированный денежный поток в  $i$ -м году в расчете на 1 га сада  $j$ -го вида посадок в  $k$ -зоне, заложенного в  $h$ -м году.

**Инвестиционный план развития садоводства в садоводческих организациях Республики Дагестан  
и объем необходимых капитальных вложений до 2035 года**  
(составлено авторами [1,2])

Показатель	Годы										
	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Площадь посадок, всего, га	5128	6164	7201	8237	9294	10247	10434	10605	10775	10946	11117
в том числе вновь введенных	1036	2073	3109	4166	5119	5306	5477	5647	5818	5989	6160
Площадь ежегодно вводимых посадок, га	1036	1036	1036	1057	953	187	171	171	171	171	171
Требуется саженцев семечковых культур, тыс. шт.	1000	1000	1000	1000	1000	177	177	177	177	177	177
Требуется саженцев косточковых культур, тыс. шт.	910	891	854	773	600	296	220	106	106	106	106
Валовой сбор по введенным посадкам, всего, тыс. т	0	29	71	143	228	323	422	509	571	619	642
в том числе: семечковых	0	11	27	54	85	122	160	193	216	234	241
косточковых	0	18	44	89	142	200	262	316	355	385	401
Капитальные затраты, млн руб.	4105	4359	4436	4641	4342	1217	963	896	829	756	755
Текущие затраты, млн руб.	121	327	509	775	1177	1483	1815	2181	2458	2609	2680
Выручка от реализации, млн руб.	0	826	2040	4112	6552	9226	12045	14512	16257	17591	18206
Дисконтированный денежный поток, млн руб.	-4226	-3328	-2158	-836	570	3107	3803	4046	3956	3741	3348
Чистая приведенная стоимость (NPV), млн руб.	-4226	-7554	-9712	-10548	-9978	-6870	-3067	979	4935	8676	12024
Дисконтированный срок окупаемости (DPP), лет	8										
Внутренняя норма доходности, %	30,4										

Для приведенных в работе результатов моделирования была принята ставка дисконтирования  $r = 0,16$  (16%).

В результате моделирования также получены:

1) прогнозы площадей посадок многолетних культур  $j$ -го вида в  $k$ -зоне на  $i$ -й год  $S_{jki} = S_{jki-1} + x_{jkh} - x_{jkh-w}$ , где  $i-1$  – год, предшествующий году прогноза,  $w$  – временной лаг срока хозяйственного использования посадок;

2) прогнозы валового сбора культур  $j$ -го вида в  $k$ -зоне на  $i$ -й год  $V_{jki} = \sum_h u_{ijkh} S_{jkh}$ ,

где  $u_{ijkh}$  – плановая урожайность в  $i$ -м году посадок культуры  $j$ -го вида в  $k$ -зоне, заложенных в  $h$ -м году;

3) прогнозы выручки от реализации культур  $j$ -го вида в  $k$ -зоне на  $i$ -й год  $R_{jki} = p_{jk} V_{jki}$ , где  $p_{jk}$  – средняя цена продукции культуры  $j$ -го вида в  $k$ -зоне;

4) прогнозы дисконтированных денежных потоков по культурам  $j$ -го вида в  $k$ -зоне на  $i$ -й год реализации проекта  $d_{jki} = \alpha_i \left( p_{jki} \sum_h u_{ijkh} x_{jkh} - \sum_j \sum_k c_{jkh} x_{jkh} - \sum_j \sum_k \sum_i g_{jkh} x_{jkh} \right)$ , где  $\alpha_i = (1+r)^{1-i}$  – коэффициент дисконтирования, рассчитанный на основе принятой ставки  $r$ .

Расчеты показывают, что увеличение площади многолетних насаждений с учетом введенных новых садов до 2035 г. в республике может составить 11,1 тыс. га, в том числе вновь введенных – 6,2 тыс. га. Под семечковыми культурами площадь увеличится до 4,4 тыс. га, под косточковыми – до 6,7 тыс. га. Наибольшая площадь садов будет расположена в предгорной (3326,9 га), равнинной (2885,9 га), горной (1290,8 га) зонах.

Отметим, что проект предусматривает не только экстенсивное расширение площади многолетних плодовых насаждений, но и интенсификацию, которая направлена на использование уплотненных схем посадок саженцев, продуктивных сортов, систем капельного полива, питания и защиты, формирования крон деревьев в интенсивных насаждениях. Так, новые интенсивные сады будут размещены в равнинной и предгорной зонах по схеме  $4 \times 0,9$  м с плотностью 2777,8 шт. деревьев на 1 га, а в горной – по схеме  $4 \times 1$  м с плотностью 2500 шт. деревьев на 1 га. В проекте предусмотрено приобретение плодовых саженцев собственного производства, отвечающих требованиям интенсивного сада. Максимальное количество саженцев – 1000 тыс. шт.

Интенсивный сад войдет в полное плодоношение на 2–3-й годы. В результате валовой сбор плодов увеличится к 2035 г. до 642,0 тыс. т, что больше нынешнего объема в 2,0 раза, в том числе в разрезе зон (равнинная – 183,6 тыс. т; предгорная – 212,6 тыс. т; горная – 27,8 тыс. т). В структуре валового сбора плодов на семечковые культуры приходится 37,5%, на косточковые – 62,5%.

Как известно, создание современных интенсивных систем садоводства, особенно в первые годы, связано со значительным увеличением удельных капитальных вложений, включающих в себя закладку и выращивание насаждений, приобретение сертифицированных саженцев, формирование необходимой материально-технической базы.

В приведенных расчетах были учтены максимальные капитальные и текущие затраты на приобретение необходимой садовой техники, организацию капельного орошения и другие расходы. Значительный объем инвестиций требуется в первые 3 года, с 2025 по 2028 гг., которые суммарно возрастут с 4226 до 5416,0 млн руб., а в последующие 2028–2035 гг. расходы сократятся до 3434 млн руб., что объясняется переходом многолетних насаждений в продуктивное состояние и сокращением текущих расходов на уходные работы в период вегетации.

Увеличение площадей под многолетними плодовыми насаждениями и соответственно валовых сборов повлекут за собой существенные изменения финансовых показателей. К 2035 г. предполагается увеличение выручки от реализации до 18206 млн руб. Как показывают расчеты, данные инвестиции, с учетом дисконтирования будущих

денежных потоков, окупятся через 8 лет, а внутренняя норма доходности (ставка по альтернативному варианту инвестиций с фиксированным доходом) составит 30,4%.

На наш взгляд, реализация такого масштабного инвестиционного проекта должна рассматриваться как инструмент реализации региональной аграрной политики, стимулирования развития не только подотрасли садоводства, но всей связанной с ней агропродовольственной сферой.

Нехватка мощностей по хранению приводит к тому, что производители вынуждены выходить на рынок с произведенной продукцией в тот же период после сбора урожая или вывозят ее за пределы республики – в основном в регионы Центрального федерального округа. В настоящее время в республике реализуются проекты по созданию новых современных плодохранилищ общей мощностью от 80–100 тыс. т единовременного хранения, но потребность республики в 2,5 раза больше.

Промышленное садоводство является сырьевой базой для плодоперерабатывающей промышленности. Если в начале 2000-х гг. в республике функционировали около 30 плодоперерабатывающих предприятий, то в 2022 г. – всего 10. Практически все они испытывают такие проблемы, как отсутствие сырья в объемах, необходимых для загрузки производственных мощностей, уровень которой снизился в 2022 г. до 1,0%; устаревшая материально-техническая база и медленные темпы выбытия устаревшего оборудования, его нерациональная возрастная структура; отсутствие финансовых средств и инвестиционная непривлекательность.

В настоящее время государственная поддержка садоводства сосредоточена на следующих направлениях: стимулирующая субсидия; льготное кредитование; грант «Агростартап»; техническая модернизация, в том числе в рамках программы льготного лизинга АО «Росагролизинг»; «Капексы» на плодохранилища и ССЦ; поддержка в рамках развития мелиоративного комплекса России; реализация подпрограммы ФНТП «Развитие садоводства и питомниководства»; проект подпрограммы ФНТП «Сельскохозяйственная техника и оборудование». Однако далеко не все садоводческие организации и плодоперерабатывающие предприятия участвуют в проведении этих мероприятий. Поэтому необходимо не только продолжить, но и повысить уровень государственной поддержки. Также симультанно должны быть реализованы меры, направленные на повышение общего уровня доходности основной части хозяйствующих субъектов, создание благоприятных условий для развития агропромышленного производства, повышение инвестиционной привлекательности отрасли.

По мере восстановления отрасли государственная поддержка сельскохозяйственных организаций будет постепенно сокращаться и сосредоточится на других стратегических направлениях: нейтрализации внутренних и внешних угроз, повышении инновационной активности, квалификации специалистов, модернизации производственной и рыночной инфраструктуры.

Еще один немаловажный аспект, необходимый для повышения эффективности садоводческих организаций, основывается на компетентности, профессионализме, предпринимательских способностях руководителя, и примеры такой успешной практики в республике имеются. Необходимо отметить, что ряд садоводческих организаций (ООО «Полоса», ООО «Анжелина» и др.) реализует крупнейшие в России инвестиционные проекты по закладке суперинтенсивных садов, строительству плодохранилищ. Здесь отработаны передовые наработки в сфере садоводства, на научной основе выстроены системы полива, питания, удобрения, защиты растений и соответственно получают высокие урожаи фруктов с высокими товарными характеристиками. Как сказал известный садовод Либерти Хайд Бейли, превративший садоводство из ремесла в прикладную науку, «Сад требует терпеливого труда и внимания. Он процветает потому, что кто-то приложил к нему усилия».

## Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать определенные выводы.

1. Садоводство всегда играло ведущую роль в экономике Дагестана. Благодаря государственной поддержке и благоприятным агроэкономическим условиям республика входит в число ведущих производителей плодовой продукции среди российских регионов.

2. Одной из сложных проблем для республики является трансформация производственной аграрной структуры, которая в условиях реальности требует скорейшего усиления роли и увеличения удельного веса садоводческих организаций в общем объеме производства плодовой продукции и площадей многолетних насаждений. Слабые позиции садоводческих организаций в структуре аграрной экономики не позволяют республике выйти на лидирующие позиции в наукоемком производстве, оттягивают научно-технологическое развитие подотрасли, что отражается на агротехнологических и экономических показателях.

3. Анализ динамики площадей многолетних насаждений, валовых сборов плодов в садоводческих организациях и их размещения по природным зонам республики позволяет внести определенные коррективы в перспективы развития отрасли. Наибольшая площадь размещаемых плодовых садов, а соответственно и объемов производства, в перспективе будет приходиться на хозяйства предгорных районов. В соответствии с этим предлагается дифференцировать механизмы государственной поддержки для сельхозтоваропроизводителей, размещенных в каждой природно-экономической зоне.

4. Нарращивание объемов производства необходимо осуществлять с учетом расширения площади посадок новых садов, так и интенсификации, используя уплотненные схемы посадок, новые сорта плодовых культур и другие агротехнологии, применяемые в интенсивном садоводстве.

5. Показано, что ключевыми направлениями восстановления и повышения эффективности функционирования садоводческих организаций выступают увеличение размера площадей многолетних насаждений путем кооперации с мелкими личными подсобными хозяйствами населения и вовлечение в оборот не используемых в республике сельскохозяйственных земель. Усиление экономики садоводческих организаций станет надежной базой для развития технологически взаимосвязанных сфер хранения, перерабатывающей промышленности, сбыта продукции.

6. Произведен финансовый расчет прогнозных параметров развития садоводства в сельскохозяйственных организациях республики до 2035 года, демонстрирующий возможности расширения площади многолетних плодовых насаждений, рост объемов валовых сборов, повышения финансовых показателей деятельности садоводческих организаций.

## Библиографический список

1. Агирбов Ю.И., Мухаметзянов Р.Р., Арзамасцева Н.В. и др. // Производство яблок в мире и в основных странах: площади, валовые сборы, урожайность // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – Т. 1, № 4. – С. 34–46. DOI: 10.26897/2949-4710-2023-4-34-46. EDN: LADNRU.

2. Платоновский Н.Г., Келеметов Э.М., Шульдяков А.В. и др. Направления и объемы поставок основных фруктов и ягод в египетском экспорте // Московский экономический журнал. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 951–994. DOI: 10.55186/2413046X\_2024\_9\_2\_126. EDN: MYKLDU.

3. *Останчук Т.В., Хежжев А.М., Свиридова Л.А. и др.* Изменение объемов глобального производства и международной торговли яблоками // *International Agricultural Journal*. – 2023. – Т. 66, № 1. DOI: 10.55186/25876740\_2023\_7\_1\_33. EDN: DHZUQU.

4. *Дубовицкий А.А., Климентова Э.А., Григорьева Л.В.* Анализ современного состояния отрасли садоводства в России и перспективы развития на основе реализации рыночного потенциала // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. – 2022. – Т. 15, № 4 (75). – С. 124–138. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_4\_124. EDN: GKOJZL.

5. *Рыкова И.Н., Аксенов С.С., Губанов Р.С.* Проблемы и перспективы развития садоводства и виноградарства в России // *Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки*. – 2019. – № 4 (52). – С. 7. EDN: NRQBLE.

6. *Хашир А.А.* Прогнозный сценарий развития рынка орехов и продукции их технологической переработки в России // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. – 2023. – № 10 (104). – С. 138–147. DOI: 10.33938/2310-138. EDN: URLQID.

7. *Велибекова Л.А.* Зональные особенности производства продукции садоводства в сельскохозяйственных организациях Республики Дагестан // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. – 2021. – № 10 (79). – С. 152–158. DOI: 10.33938/2110-144. EDN: FFSYVC.

8. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Дагестан. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. – URL: <https://05.rosstat.gov.ru/selhoz>.

9. *Казиев М. – Р.А., Теймуров С.А.* Актуальные вопросы научно-технического обеспечения развития сельского хозяйства Республики Дагестан // *Горное сельское хозяйство*. – 2023. – № 2 (32). – С. 10–22. DOI: 10.25691/GSH.2023.54.55.002. EDN: WVZSUK.

10. *Загиров Н.Г., Буржалиева З.Н.* Организационно-экономическая оценка инновационных проектов садоводства // *Субтропическое и декоративное садоводство*. – 2018. – № 64. – С. 174–182. EDN: XRVPCH.

11. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Дагестан. – URL: <https://mcxrd.ru/> (дата обращения: 16.05.2024).

12. *Шарипов Ш.И., Ибрагимова Б.Ш.* Импортозамещение в садоводстве России: тенденции и перспективы // *Региональная экономика: теория и практика*. – 2022. – Т. 20, № 12 (507). – С. 2317–2334. DOI: 10.24891/re.20.12.2317. EDN: GSVMNL.

## APPROACHES TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF HORTICULTURAL ENTERPRISES IN THE REPUBLIC OF DAGESTAN

L.A. VELIBEKOVA<sup>1</sup>, A.A. TYUTYUNIKOV<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Socio-Economic Research of the DFRC RAS, <sup>2</sup>Research Institute of Economics and Agroindustrial Complex Organization of the Central Black Earth Region, Branch of the Federal State Research Institution “Voronezh Federal Agrarian Scientific Centre named after V.V. Dokuchaev”)

*The article is devoted to the urgent regional problem of improving the efficiency of horticultural enterprises in the Republic of Dagestan. It is noted that the significant decrease in the contribution of this category of commodity producers to the production of fruit products, the lack of innovation and investment activity limit the development not only of the horticultural sub-branch, but*

also of the entire agro-food sector of the Republic. The aim of the research is to develop proposals to strengthen the position of horticultural enterprises in the national production of fruit products and to improve the efficiency of their activities. The methodology of the work is based on the use of regional statistical information, as well as on studies of domestic scientists and economists in the field of horticultural enterprises and development of various forms of management. Production and economic activity of horticultural enterprises located in three natural-climatic zones of the Republic is analyzed. The analysis period is 2017–2022. Conclusions are drawn on the necessity of differentiated placement of perennial orchard plantings on the territory of the Republic, deepening of specialization of each natural-climatic zone, application of increasing coefficients of state support, provided that perennial orchard plantings are planted at an altitude higher than 500 m above sea level. It has been shown that the small size of perennial plantings does not allow horticultural enterprises to achieve high production volumes, even if intensive cultivation techniques are used. It is recommended to the regional authorities to implement legal and organizational measures for the expansion of areas through cooperation between horticultural enterprises and small private subsidiary farms of the population. It is proposed to create a passport and an electronic database of horticultural land in the Republic. An investment plan for the development of horticulture in the Republic until 2035 has been developed. The projected increase in the volume of fruit production will contribute to the increase in the financial indicators from the sale of products, increase in the economic efficiency of horticultural enterprises. The forecast calculation of the required volume of financial investments for capital and current expenditures in case of increasing the area of perennial plantings is presented. The main source of financing is the regional budget. Calculations have shown that the payback period of the project will be eight years with a rate of return of 30%. The materials obtained in the process of this study will allow to make certain adjustments in the prospects of industrial location, to become the basis for the development of strategy and comprehensive programs of regional development of horticulture and rural areas.

**Keywords:** investment project, natural-climatic zone, development, horticulture, specialization, efficiency.

## References

1. Agirbov Yu.I., Mukhametzhanov R.R., Arzamastseva N.V., Kovaleva E.V. et al. Apple production: area, gross yield, productivity in the world and main countries. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;1(4):34–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-34-46>
2. Platonovskiy N.G., Kelemetov E.M., Shuldyakov A.V. et al. Directions and volumes of supplies of the main fruits and berries in Egyptian exports. *Moscow Economic Journal*. 2024;9(2):951–994. (In Russ.) [https://doi.org/10.55186/2413046X\\_2024\\_9\\_2\\_126](https://doi.org/10.55186/2413046X_2024_9_2_126)
3. Ostapchuk T.V., Khezhev A.M., Sviridova L.A. et al. Changes in global production and international apple trade. *International Agricultural Journal*. 2023;66(1). (In Russ.) [https://doi.org/10.55186/25876740\\_2023\\_7\\_1\\_33](https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_1_33)
4. Dubovitskiy A.A., Klimentova E.A., Grigorieva L.V. Analysis of the current state of the horticulture industry in Russia and prospects for further development due to market potential realization. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(4(75)):124–138. (In Russ.) [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_4\\_124](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_124)
5. Rykova I.N., Aksenov S.S., Gubanov R.S. Problems and prospects of horticulture and viticulture development in Russia. *Bulletin Peoples' Friendship Institute of the Caucasus (The Economy and National Economy Management)*. *Economic Sciences*. 2019;4(52):7. (In Russ.)
6. Khashir A.A. Forecast scenario for the development of the market of nuts and products of their technological processing in Russia. *Ekonomika, trud, upravlenie vsel'skomkhozaystve*. 2023;10(104):138–147. (In Russ.) <https://doi.org/10.33938/2310-138>

7. Velibekova L.A. Zone features of gardening products in agricultural organizations of the republic of dagestan. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2021;10(79):152–158. (In Russ.) <https://doi.org/10.33938/2110-144>

8. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Republic of Dagestan – Agriculture, hunting and forestry. (In Russ.) [Electronic source]. URL: <https://05.rosstat.gov.ru/selhoz>

9. Kaziev M.R.A., Teymurov S.A. Actual issues of scientific and technical support for the development of agriculture of the Republic of Dagestan. *Gornoe sel'skoe khozyaystvo*. 2023;2(32):10–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.25691/GSH.2023.54.55.002>

10. Zagirov N.G., Burzhalieva Z.N. Organizational and economic evaluation of innovative projects for horticulture. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*. 2018;64:174–182. (In Russ.)

11. Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Dagestan. (In Russ.) [Electronic source]. URL: <https://mcxrd.ru/> (accessed: May 16, 2024)

12. Sharipov Sh.I., Ibragimova B.Sh. Import substitution in horticulture in Russia: trends and prospects. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2022;2012(507):2317–2334. (In Russ.) <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2317>

### Сведения об авторах

**Велибекова Луиза Аликовна**, старший научный сотрудник отдела территориально-отраслевых пропорций в экономике региона, Институт социально-экономических исследований ДФИЦ РАН; 367000, Российская Федерация, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45; e-mail: [l.a.\\_velibecova@mail.ru](mailto:l.a._velibecova@mail.ru); тел.: (872) 267–06–20

**Тютюников Александр Александрович**, канд. экон. наук, ученый секретарь, Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района – филиал «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева»; 394042, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Серафимовича, 26а; e-mail: [tytnn@rambler.ru](mailto:tytnn@rambler.ru); тел.: (473) 222–99–40

### Information about the authors

**Luiza A. Velibekova**, Senior Research Associate, Department of Territorial and Sectoral Proportions in the Regional Economy, Institute of Socio-Economic Research of the DFRC RAS (45 M. Gadzhieva St., Makhachkala, 367000, Russian Federation; phone: (872) 267–06–20; e-mail: [l.a.\\_velibecova@mail.ru](mailto:l.a._velibecova@mail.ru))

**Aleksandr A. Tyutyunikov**, CSc (Econ), Scientific Secretary, Research Institute of Economics and Agroindustrial Complex Organization of the Central Black Earth Region, Branch of the Federal State Research Institution “Voronezh Federal Agrarian Scientific Centre named after V.V. Dokuchaev” (26a Serafimovicha St., Voronezh, 394042, Russian Federation; phone: (473) 222–99–40; e-mail: [tytnn@rambler.ru](mailto:tytnn@rambler.ru))

## СОДЕРЖАНИЕ

## УЧЕНЫЕ ТИМИРЯЗЕВКИ

- Смолина Г.А., Торшин С.П. Два славных юбилея в Тимирязевской академии: к 120-летию со дня рождения Д.Д. Иваненко и Е.Н. Гапона ..... 5

## БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

- Асадулаев З.М., Рамазанова З.Р., Анатов Д.М. Морфолого-анатомические адаптации листьев клонового подвоя Кубань-86 в условиях Дагестана..... 11
- Куликова Е.И., Зарубина Л.В., Суоров В.В., Дonya Д.В., Устинова Ю.В., Умнов Н.С. Изучение адаптационной способности лесных ягодных растений *ex vitro* в почвенно-климатических условиях Вологодской области ..... 36

## ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

- Макаров П.Н., Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Гулакова Н.М. Микрклональное размножение наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea* L.) и адаптация регенерантов методом гидропоники ..... 53
- Налбандян А.А., Федулова Т.П., Черепухина И.В., Руденко Т.С., Багмутова Т.Н. Молекулярно-генетическая идентификация и паспортизация гибридов сахарной свеклы с использованием микросателлитных маркеров ..... 70

## ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- Петрищев В.С., Агасьева И.С., Петрищева М.В. Роль энтомофагов из отрядов Жесткокрылые (*Coleoptera*, *Coccinellidae*) и Двукрылые (*Diptera*, *Syrphidae*) в регуляции численности мимозной листоблошки *Acizzia jamaicensis* (Kuwayama, 1908) Центральной зоны Краснодарского края..... 89
- Терехова В.И., Дыйканова М.Е., Воробьев М.В., Бочарова М.А. Влияние некорневых обработок органическими препаратами на качество и урожайность продукции томата .... 102

## ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

- Барнашова Е.К., Буенков А.Ю., Кудряшов С.П. Влияние метеорологических условий на масличность подсолнечника в условиях Нижнего Поволжья..... 116

## ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

- Алтухова Н.С., Янчуков И.Н., Савинов А.В., Иванов Ю.А. Динамика генетических изменений быков-производителей по признакам молочной продуктивности их дочерей в палево-пестрой популяции крупного рогатого скота ..... 128
- Загарин А.Ю. Характеристика корреляционных связей между биохимическими показателями крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров..... 140
- Кошелев В.М., Романюк М.А., Сухарникова М.А., Чекмарева Н.В., Фролова А.П. Технологическая трансформация северного оленеводства в Арктической зоне России ... 154
- Лысенко Ю.А., Коцаев А.Г., Беляк В.А., Лунева А.В., Марченко Е.Ю. Анализ, выделение и идентификация микробиома из слепых отростков кишечника промышленных свиней ... 168
- Селионова М.И., Трухачев В.И., А.Айбазов М.М., Белоус А.А. Характеристика состава молока и корреляций между его отдельными компонентами у коз и овец разных пород..... 184

## ЭКОНОМИКА

- Велибекова Л.А., Тютюников А.А. Подходы к повышению эффективности функционирования садоводческих организаций в Республике Дагестан..... 196

## CONTENTS

## SCIENTISTS OF TIMIRYAZEV UNIVESITY

- Smolina G.A., Torshin S.P.* Two glorious anniversaries at the Timiryazev Academy: to the 120<sup>th</sup> anniversaries of D.D. Ivanenko and E.N. Gapon ..... 5

## BOTANY, POMICULTURE

- Asadulaev Z.M., Ramazanova Z.R., Anatov D.M.* Morphological and anatomical adaptations of leaves of the Kuban-86 clonal rootstock in the conditions of Dagestan ..... 11
- Kulikova E.I., Zarubina L.V., Surov V.V., Donya D.V., Ustinova Yu.V., Umnov N.S.* Study of the adaptability of forest berry plants *ex vitro* to the soil and climatic conditions of the Vologda region ..... 36

## GENETICS, BIOTECHNOLOGY, SELECTION AND SEED BREEDING

- Makarov P.N., Makarov S.S., Makarova T.A., Samoilenko Z.A., Gulakova N.M.* Microclonal reproduction of *Digitalis purpurea* L. and adaptation of regenerants in hydroponics ..... 53
- Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Cherepukhina I.V., Rudenko T.S., Bagmutova T.N.* Molecular genetic identification and certification of sugar beet hybrids using microsatellite markers ..... 70

## AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

- Petrishchev V.S., Agasieva I.S., Petrishcheva M.V.* Role of entomophages of the classes *Coleoptera*, *Coccinellidae*, *Diptera* and *Syrphidae* in the population regulation of *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908) in the Central zone of Krasnodar Krai ..... 89
- Terekhova V.I., Dyikanova M.E., Vorobyov M.V., Bocharova M.A.* Effect of foliar fertilization with organic preparations on tomato quality and yield ..... 102

## PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

- Barnashova E.K., Buenkov A.Yu., Kudryashov S.P.* Effect of meteorological conditions on the oil content of sunflower in the conditions of the Lower Volga region ..... 116

## LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

- Altukhova N.S., Yanchukov I.N., Savinov A.V., Ivanov Y.A.* Dynamics of genetic changes in sires according to their daughters' milk productivity in the pale dairy cattle population .. 128
- Zagarin A.Yu.* Characterization of correlations between blood biochemical parameters and morphological features of broiler chickens ..... 140
- Koshelev V.M., Romanyuk M.A., Sukharnikova M.A., Chekmareva N.V., Frolova A.P.* Technological transformation of reindeer husbandry in the Arctic zone of Russia ..... 154
- Lysenko Y.A., Koshchaev A.G., Belyak V.A., Luneva A.V., Marchenko E.Yu.* Analysis, isolation and identification of the microbiome from the ceca of the intestines of industrial pigs ..... 168
- Selionova M.I., Trukhachev V.I., Aybazov A.M., Belous A.A.* Characterization of milk composition and correlations between its individual components in goats and sheep of different breeds ..... 184

## ECONOMY

- Velibekova L.A., Tyutyunikov A.A.* Approaches to improving the efficiency of horticultural enterprises in the Republic of Dagestan ..... 196

**Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»**

e-mail: [izvtsha@rgau-msha.ru](mailto:izvtsha@rgau-msha.ru)

тел.: (499) 976-07-48

---

Подписано в печать 03.09.2024 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная  
Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 13,56 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