



# Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2022 Том 17 № 1  
DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-1  
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал  
Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
**Свидетельство о регистрации** ПИ № ФС 77–61171 от 30.03.2015 г.  
**Учредитель:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

#### Главный редактор

**Плющиков В.Г.**, д-р с.-х. наук,  
профессор АТИ РУДН,  
Москва, Российская Федерация  
E-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru

#### Заместитель главного редактора

**Докукин П.А.**, канд. техн. наук,  
доцент Агроинженерного  
департамента АТИ РУДН, Москва,  
Российская Федерация  
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

#### Ответственный секретарь

**Терехин А.А.**, канд. с.-х. наук,  
доцент АТИ РУДН, Москва,  
Российская Федерация  
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

#### Члены редакционной коллегии

**Аббоуд-Аби Сааб М.**, д-р филос. (биология), ведущий научный сотрудник, Национальный центр исследований морской фауны Ливана, Бейрут, Ливан

**Акимов В.А.**, д-р тех. наук, проф., главный научный сотрудник, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, РФ

**Алтишулер А.М.**, д-р мед. и общ. наук, проф., Научно-исследовательский институт по чрезвычайным ситуациям, Израиль

**Аун Жорж Э.**, профессор, Государственный университет Ливана, Бейрут, Ливан

**Ашайеризаде О.**, PhD, доцент, Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов, Горган, Иран

**Бабински Л.**, PhD, проф., Дебреценский университет, Дебрецен, Венгрия

**Балестра Д.М.**, д-р филос. (биология), проф., ведущий научный сотрудник, Университет Тушии, Италия

**Валентини Р.**, д-р биол. наук, проф., Университет Тушии, Витербо, Италия

**Ватников Ю.А.**, д-р вет. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

**Гитас И.**, PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

**Донник И.М.**, академик РАН, вице-президент РАН, Москва, РФ

**Дубенок Н.Н.**, д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

**Еланский С.Н.**, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ

**Игнатов А.Н.**, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «Биоинженерия» РАН, Москва, РФ

**Карвальо П.А.**, PhD, проф., Университет Бразилиа, Бразилиа

**Ковeos Д.**, PhD, проф., декан факультета сельского хозяйства и природных ресурсов, Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

**Комитов Б.**, PhD, проф., Институт астрономии Болгарской академии наук, София, Болгария

**Кузнецов Вл.В.**, д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

**Левин Е.А.**, канд. техн. наук, доц., Мичиганский технологический университет, Мичиган-Сити, США

**Мадзалья А.**, д-р филос. (биология), проф., научный сотрудник, Университет Тушии, Италия

**Медавэр С.**, проф., декан сельскохозяйственного факультета, Ливанский государственный университет, Бейрут, Ливан

**Новиков А.Е.**, д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, РФ

**Овчинников А.С.**, д-р с.-х. наук, профессор, чл.-кор. РАН, Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, РФ

**Савин И.Ю.**, д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, РФ

**Стапакис Д.**, PhD, проф., департамент планирования и регионального развития, Университет Фессалии, Волос, Греция

**Сычёв В.Г.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, РФ

**Уша Б.В.**, д-р вет. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАН, Институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Москва, РФ

**Чамурлиев Г.О.**, зам. отв. секретаря редколлегии, канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ

**Шаад Н.В.**, д-р филос. (биология), проф., ведущий бактериолог, Министерство сельского хозяйства США, Вашингтон, США

**Вестник Российского университета дружбы народов.  
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО**

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

4 выпуска в год (ежеквартально)

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

**Цели и тематика.** Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследования в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарно-санитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 03.02.01 Ботаника, 03.02.13 Почвоведение, 06.01.01 Общее земледелие растениеводство, 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, 06.01.04 Агрохимия, 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, 06.01.06 Луговое хозяйство и лекарственные эфирномасличные культуры, 06.01.07 Защита растений, 06.01.09 Овощеводство, 06.02.01 Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных (ветеринарные науки), 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология (ветеринарные науки), 06.02.04 Ветеринарная хирургия (ветеринарные науки), 06.02.07 Разведение селекция и генетика сельскохозяйственных животных (сельскохозяйственные науки), 06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (сельскохозяйственные науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>

---

Редакторы: О.В. Горячева, М.И. Яблонская

Компьютерная верстка: М.В. Рогова

**Адрес редакции:**

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Почтовый адрес редакции**

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2

Тел.: (495) 434-70-07; e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Подписано в печать 28.03.2022. Выход в свет 30.03.2022. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times, Robot».

Усл. печ. л. 10,8. Тираж 500 экз. Заказ № 13. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3,

тел. (495) 952-04-41; [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



# RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2022 VOLUME 17 No. 1  
DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-1  
agrojournal.rudn.ru  
Founded in 2006

**Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA**

## EDITOR-IN-CHIEF

*Prof. Dr Vadim G. Plyushchikov*  
RUDN University, Moscow, Russian  
Federation  
**E-mail:** pliuschchikov-vg@rudn.ru

## DEPUTY CHIEF EDITOR

*Dr Petr A. Dokukin*  
RUDN University, Moscow, Russian  
Federation  
**E-mail:** dokukin-pa@rudn.ru

## EXECUTIVE SECRETARY

*Dr Aleksey A. Terekhin*  
RUDN University, Moscow, Russian  
Federation  
**E-mail:** terekhin-aa@rudn.ru

## EDITORIAL BOARD

- Marie Abboud-Abi Saab**, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, National Centre of Sea Animals Research of Lebanon, Beirut, Lebanon
- Valeriy A. Akimov**, Professor, Dr of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Institute for Research of Civil Defense and Emergencies Situations of the Emergencies Ministry of Russia, Moscow, Russian Federation
- Aleksandr M. Altshuler**, Dr of Medical and Social Sciences, Professor, Emergency Research Institute, Israel
- Georges Emilo Aoun**, Professor, Lebanese University, Beirut, Lebanon
- Omid Ashayerizadeh**, PhD, Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
- Laszlo Babinszky**, PhD, Professor, University of Debrecen, Debrecen, Hungary
- Giorgio M. Balestra**, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy
- Georgiy O. Chamurliiev**, Deputy Executive Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agricultural Engineering Department, Agrarian Technological Institute, RUDN University, Moscow, Russian Federation
- Paulo A. Carvalho**, PhD, Professor, University of Brasilia, Brazil
- Irina M. Donnik**, Academician of RAS, Vice-president of RAS, Moscow, Russian Federation
- Nikolay N. Dubenok**, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy of Timiryazev, Moscow, Russian Federation
- Sergey N. Elanskiy**, Professor, Dr Biology science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
- Ioannis Gitas**, PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- Aleksandr N. Ignatov**, Professor, Dr of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Centre "Bioengineering", RAS, Moscow, Russian Federation
- Dimitris Koveos**, Professor, PhD, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- Boris Komitov**, PhD, Professor, Institute of Astronomy of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
- Vladimir V. Kuznetsov**, Professor, Dr of Biological Sciences, Corresponding Member of RAS, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Moscow, Russian Federation
- Eugene A. Levin**, Associate professor, PhD in Photogrammetry, Michigan Technological University, United States
- Angelo Mazzaglia**, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy
- Samir Medawar**, Professor, dean of the Agricultural Faculty, Lebanese University, Beirut, Lebanon
- Andrey E. Novikov**, Dr of Technical Sciences, Department of Processes and Apparatus of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation
- Aleksey S. Ovchinnikov**, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
- Igor Y. Savin**, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Soil Institute of V.V. Dokuchaev, Moscow, Russian Federation
- Viktor G. Sychev**, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the RAS, director, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry RAS, Moscow, Russian Federation
- Norman V. Schaad**, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), USA Ministry of Agriculture, Washington, United States
- Dimitris Stathakis**, Professor, PhD, University of Thessaly, Volos city, Greece
- Boris V. Usha**, Honoured Scientist of Russia, Academician of RAS, Dr of Veterinary Sciences, Professor, Institute of Veterinary Expertise, Sanitary and Ecology, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
- Ricardo Valentini**, Professor, Dr of Biological Sciences, Tuscia University, Italy
- Yuriy A. Vatnikov**, Professor, Dr of Veterinary Sciences, Veterinary Medicine of ATI, RUDN University, Moscow, Russian Federation

# RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

Published by the RUDN University  
(Peoples' Friendship University of Russia),  
Moscow, Russian Federation

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

## Aims and Scope

*RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries* is a peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference "Innovation Processes in Agriculture", which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>

---

Editors *O.V. Goryacheva, M.I. Yablonskaya*  
Computer design *M.V. Rogova*

### Address of the Editorial Board:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation  
Ph. +7 (495) 952-04-41  
e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

### Postal Address of the Editorial Board:

8/2 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation  
Ph. +7 (495) 434-70-07; e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation

### Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation,  
Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



## Содержание

### Растениеводство

**Зубкова Т.В.** Продуктивность ярового рапса при использовании многокомпонентных удобрений .....7

**Петрухина Д.И., Тхорик О.В., Шишко В.И., Харламов В.А., Цыгвинцев П.Н.** Перспективные двурядные пленчатые сорта для повышения урожайности и качества зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири .....20

### Генетика и селекция растений

**Халилуев М.Р., Харченко П.Н., Овчинникова В.Н.** Агробактериальная трансформация картофеля *Solanum tuberosum* L. генетическими конструкциями, содержащими растительный промотор *pro-SmAMP1*, выделенный из *Stellaria media* L. .... 31

### Защита растений

**Arafa Elhashash.** Molecular Analysis of Parasitoid Flies Tachinidae (Анализ молекулярных данных паразитоидных мух семейства Tachinidae) ..... 48

### Озеленение населенных пунктов

**Назарова Н.М., Фёдорова Д.Г.** Оценка состояния широко использующихся в озеленении Оренбурга древесно-кустарниковых растений методами эколого-фенологического мониторинга .....62

**Святковская Е.А., Салтан Н.В., Уманец М.С., Тростенюк Н.Н.** Мониторинг состояния древесных растений в зоне влияния железнодорожного транспорта в условиях Заполярья .....72

### Защитное лесоразведение

**Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Кочегаров И.С.** Сравнительная характеристика посадочного материала березы повислой, выращенного из семян осеннего и весеннего посева .....90

### Животноводство

**Квартникова Е.Г., Шастина Е.В.** Эффективность откорма кроликов на мясо при разных технологиях .....104

**Челнокова М.И., Челноков А.А.** Особенности развития висцеральных органов у эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун» при красном и зеленом монохроматическом светодиодном освещении ..... 112

## Contents

### Crop production

- Zubkova T.V. Influence of multicomponent fertilizers  
on spring rapeseed productivity .....7
- Petrukhina D.I., Tkhorik O.V., Shishko V.I., Kharlamov V.A., Tsygvintsev P.N.  
Effects for barley growth and development of single exposure  
to low-temperature argon plasma at different organogenesis stages.....20

### Genetics and plant breeding

- Khaliluev M.R., Kharchenko P.N., Ovchinnikova V.N. Agrobacterium-mediated  
transformation of potato *Solanum tuberosum* L. with constructs carrying  
the strong plant-derived promoter *pro-SmAMP1* from *Stellaria media* L. .... 31

### Plant protection

- Arafa Elhashash. Molecular Analysis of Parasitoid Flies Tachinidae ..... 48

### Landscaping of settlements

- Nazarova N.M., Fedorova D.G. Assessment of arboreal and shrubby plants widely  
used in greening of Orenburg by methods of ecological and phenological monitoring .....62
- Sviatkovskaya E.A., Saltan N.V., Umanets M.S., Trostenyuk N.N. Monitoring  
the state of woody plants in railway impact zone in the Kola Polar region.....72

### Protective afforestation

- Kabanova S.A., Kabanov A.N., Danchenko M.A., Kochegarov I.S. Comparative  
characteristics of planting material of silver birch grown from seeds of autumn  
and spring sowing .....90

### Animal breeding

- Kvartnikova E.G., Shastina E.V. Efficiency of meat-fattening rabbits farmed  
by different keeping technologies .....104
- Chelnokova M.I., Chelnokov A.A. Features of development of visceral organs  
in embryos of egg cross chickens ‘Lohmann Brown’ under red  
and green monochromatic LED lighting .....112



## Растениеводство Crop production

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19

УДК 633.853.494, 631.811

Научная статья / Research article

### Продуктивность ярового рапса при использовании многокомпонентных удобрений

Т.В. Зубкова 

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Российская Федерация

✉ ZubkovaTanua@yandex.ru

**Аннотация.** Полевые опыты проведены на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Центрального Черноземья с 2018 по 2020 гг. В качестве объекта исследований был выбран сорт ярового рапса Рубеж. Обработку растений рапса проводили двукратно в фазу розетки и роста центрального стебля согласно схеме: 1) контроль (без обработки); 2) Эколист Макро 12–4–7 (2 л/га); 3) Бионекс-Кеми (2 л/га); 4) Эколист Макро 12–4–7+ Борогум (2 л/га + 1,0 л/га); 5) Бионекс-Кеми + Борогум (2 л/га + 1,0 л/га). Установлено, что используемые в опыте препараты способствовали сокращению вегетационного периода на 2–3 дня. Обработка растений ярового рапса препаратами положительно повлияла на показатели структуры урожая и в целом на продуктивность ярового рапса. Внекорневая подкормка исследуемыми препаратами способствовала большему завязыванию и сохранности стручков. Максимальную прибавку по сравнению с контролем удалось получить при использовании комплекса удобрений Эколист Макро 12–4–7+ Борогум на 1,80 ц/га и Бионекс-Кеми + Борогум на 1,62 ц/га. Изучаемые препараты снижали в семенах ярового рапса белок, но значительно повышали масличность. Максимальный выход масла был получен от применения смеси Эколист Макро 12–4–7+ Борогум (769,4 кг/га).

**Ключевые слова:** рапс, микроудобрения, внекорневые подкормки, урожайность, масличность

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 7 ноября 2021 г., принята к публикации 14 февраля 2022 г.

**Для цитирования:** Зубкова Т.В. Продуктивность ярового рапса при использовании многокомпонентных удобрений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 7–19. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19

© Зубкова Т.В., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

## Influence of multicomponent fertilizers on spring rapeseed productivity

Tatyana V. Zubkova 

Yelets State University named after I.A. Bunin, Yelets, Russian Federation

✉ ZubkovaTanua@yandex.ru

**Abstract.** Field experiments were conducted on leached chernozem in conditions of forest-steppe of the Central Chernozem region in 2018–2020. Spring rapeseed cv. Rubezh was chosen as the object of the research. The processing of rapeseed plants was carried out twice: in the leaf rosette phase and growth of the central stem—according to the scheme: 1. Control (without treatment); 2. Ecolist Macro 12–4–7 (2L/ha); 3. Bionex-Kemi (2L/ha); 4. Ecolist Macro 12–4–7+ Borogum (2L/ha + 1.0 l/ha); 5. Bionex-Kemi + Borogum (2L/ha + 1.0 L/ha). The studies conducted showed that the fertilizers used in the experiment contributed to a reduction in the growing season by 2–3 days. The treatment of spring rapeseed plants with agents positively affected both the indicators of the crop structure and, in general, the productivity of spring rapeseed. Foliar top dressing with the studied fertilizers contributed to greater fruit setting and preservation of the pods. In comparison with the control, the maximum increase—1.80 c/ha and 1.62 c/ha—was obtained when using Ecolist Macro 12–4–7+ Borogum fertilizer complex and Bionex-Kemi + Borogum, respectively. The studied multicomponent fertilizers resulted in reducing of protein in spring rapeseed seeds, but significantly increased the oil content. The maximum oil yield was obtained from the use of a mixture of Ecolist Macro 12–4–7+ Borogum (769.4 kg/ha).

**Keywords:** rapeseed, micro fertilizers, foliar top dressing, yield, oil content

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Article history:** Received: 7 November 2021. Accepted: 14 February 2022

**For citation:** Zubkova TV. Influence of multicomponent fertilizers on spring rapeseed productivity. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):7–19. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19

### Введение

Рапс является одной из самых распространенных среди возделываемых в мире масличных культур [1]. Именно создание селекционерами безэруковых низкоглюкозинолатных сортов способствовало значительному развитию потенциала данной культуры в мировом производстве [2, 3]. В агропромышленном секторе рапс является в настоящее время незаменимым компонентом севооборотов в таких крупных регионах выращивания, как Австралия, Западная Канада, Центральный Китай и многие страны Европейского Союза [4].

Рапс является сырьем для производства растительного масла и экстракционного шрота [5, 6]. Масло рапса характеризуется высоким содержанием олеиновой кислоты (около 60 %) и полиненасыщенной линоленовой кислоты (около 10 %) [7, 8]. Также рапсовое масло используется в качестве топлива для дизельных автомобилей и тракторов, особенно в странах Европы [9].

Липецкая область в 2021 г. была лидером по производству ярового рапса в Центральном федеральном округе. Общая площадь под масличными культурами составила более 330 тыс. га, из которых на долю рапса приходилось 58,5 тыс. га. В 2015 г. по размеру посевных площадей ярового и озимого рапса область занимала лишь 10-е место. Уже в 2019 г. посевная площадь под яровым рапсом составила 47,4 тыс. га, а в 2020 г. — 51,6 тыс. га. По валовому сбору масличных культур область вышла в 2020 г. на 5-е место в Центральном федеральном округе, на 13-е — в Российской Федерации.

Средняя урожайность по области в 2021 г. составила 16,8 ц/га. Лидерами стали следующие районы: Добровский (21,7 ц/га), Становлянский (21,2 ц/га), Воловский (21,0 ц/га), Измалковский (20,8 ц/га) и Чаплыгинский (18,5 ц/га).

Для увеличения урожайности данной культуры необходимым является дальнейшее совершенствование технологии возделывания культуры применительно к региональным условиям выращивания.

Недостаточное питание растений приводит к нарушению основных физиологических процессов, что неблагоприятно для роста и развития растений, способствует снижению урожая [10–13].

Внекорневые подкормки в современных агротехнологиях являются весьма эффективным способом для оперативного обеспечения сельскохозяйственных культур необходимыми элементами питания [14, 15].

**Цель исследований** — оценка урожайности и качества семян ярового рапса в зависимости от внекорневой подкормки выбранными удобрениями в условиях лесостепи Центрального Черноземья.

## Материалы и методы исследования

Исследования по влиянию микроудобрений на урожайность ярового рапса проводили на опытном поле Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина (ЕГУ им. И.А. Бунина) по следующей схеме: 1) контроль (без обработки); 2) Эколист Макро 12–4–7 (2 л/га); 3) Бионекс-Кеми (2 л/га); 4) Эколист Макро 12–4–7 + Борогум (2 л/га + 1,0 л/га); 5) Бионекс-Кеми + Борогум (2 л/га + 1,0 л/га).

Микроудобрения вносили в фазу розетки листьев рапса и в начале роста центрального стебля. По календарным срокам это приходилось на III декаду мая и I декаду июня. Опыты были заложены в 4-кратной повторности. Почва опытного участка — чернозем выщелоченный со следующей агрохимической характеристикой: pH — 5,3...5,5, содержание гумуса — 5,7...5,8 %, общее содержание азота — 0,28...0,29 %, фосфора — 197,2...198,3 мг/кг, калия — 124,7...125,3 мг/кг, кальция — 25,7...26,1 мг-экв./100 г и магния — 2,41...2,45 мг-экв./100 г.

В качестве объекта исследований был выбран сорт ярового рапса Рубеж. Данный сорт характеризуется высокими продуктивностью и качеством маслосемян. Высевали яровой рапс в I декаде мая, на глубину 2 см с нормой посева 2,0 млн шт./га. В полевом опыте яровой рапс возделывался по общепринятой технологии для Центрального федерального округа. Опыты проводились

в соответствии с методикой опытного дела Б.А. Доспехова [16]. Определение фотосинтетических пигментов проводили методом спектрофотометрии с помощью спектрофотометра КФК-ЗМ. Содержание жира и белка определяли методом инфракрасной спектроскопии. Исследование содержания основных элементов в семенах золы рапса с использованием метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

**Характеристика препаратов:**

*Эколист Макро 12–4–7* — жидкое многокомпонентное удобрение с высоким содержанием основных макро- (азот, фосфор, калий) и микроэлементов, предназначенное для некорневых подкормок сельскохозяйственных культур в периоды интенсивного роста или в условиях труднодоступности основных питательных элементов. Эколист Макро 12–4–7 содержит полностью усвояемые микроэлементы со специальным хелатным комплексом — хелацид. Хелацид является новым комплексом микроэлементов в виде хелатов ЭДТА и органических кислот. Способствует быстрому и безопасному проникновению микроэлементов в клетки листьев растений, делая некорневые подкормки лучшим и наиболее эффективным способом устранения либо недопущения дефицита микроэлементов.

Состав удобрения Эколист Макро 12–4–7, г/л: N—144,0; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—48,0; K<sub>2</sub>O—84,0; B—0,24; Cu—0,12; Fe—0,24; Mn—0,12; Mo—0,06; Zn—0,06.

*Борогум* — органогуминовое удобрение, которое используется для быстрого корнеобразования и стимуляции роста.

Состав, %: B—11,0, Mo—0,005, Co—0,01, Cu—0,01, Zn—0,01, Mn—0,05, Ni—0,001, Li—0,0005, S—0,01, Se—0,0001, Cr—0,001.

*Бионекс-Кеми Растворимый* — удобрение, которое используется для стимулирования роста и развития сельскохозяйственных культур, а также для улучшения качества продукции.

Состав Бионекс-Кеми Растворимый, %: N—14; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—18; Mg—0,7; S—20; B—0,025; Fe—0,01; Zn—0,01; Cu—0,01; Mn—0,01; Mo—0,005; Co—0,001.

Микроэлементы Co, Cu, Mn, Zn — в полимерно-хелатной форме.

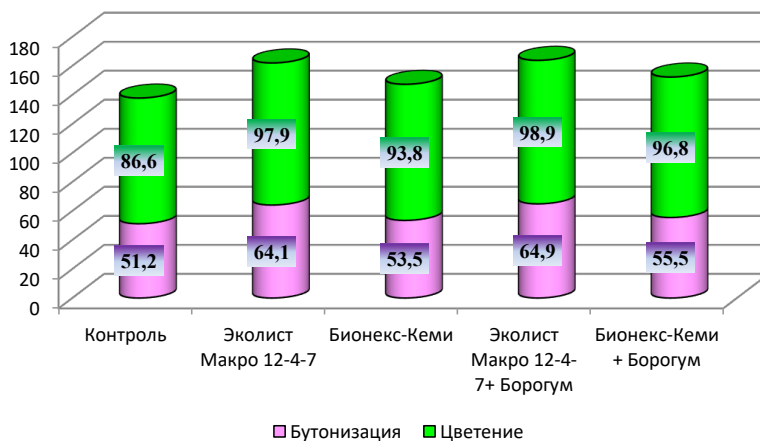
## Результаты исследований и обсуждение

В 2018, 2019 и 2020 гг. за май–август среднесуточная температура воздуха была равна 19,4, 18,5 и 17,9 °С; сумма осадков — 137,0, 214,8 и 227,0 мм; ГТК (по Селянинову) — 0,58, 0,94 и 1,28 соответственно. В целом погодные условия для развития растений ярового рапса в годы исследований складывались положительно.

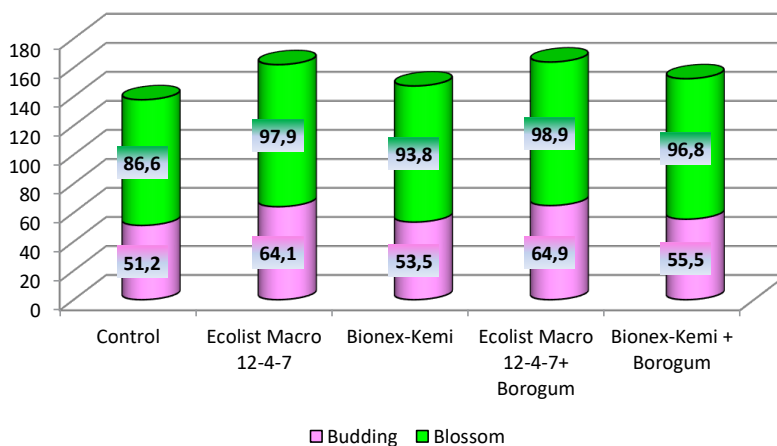
В среднем вегетационный период развития ярового рапса сорта Рубеж составил от 100 до 103 дней. Обработка растений препаратами способствовала сокращению вегетационного периода на 3...5 дней.

Установлено, что внесение всех исследуемых препаратов способствовало увеличению высоты растений ярового рапса. Обработка растений комплексом Эколист Макро 12–4–7+Борогум в наибольшей степени увеличивала данный

показатель. Разница по сравнению с контролем на данном варианте в фазу бутонизации составила 13,7 см при  $HCP_{05} = 1,7$  см, а в фазу цветения — 12,3 см при  $HCP_{05} = 1,9$  см (рис. 1).



**Рис. 1.** Высота растений ярового рапса, см (среднее за 2018–2020 гг.):  $HCP_{05}$  (фаза бутонизации) – 1,7 см;  $HCP_{05}$  (фаза цветения) – 1,9 см



**Fig. 1.** Height of spring rape plants, cm (average for 2018–2020):  $LSD_{05}$  (budding phase) – 1.7 cm;  $LSD_{05}$  (flowering phase) – 1.9 cm

Зависимость количества листьев у растений ярового рапса по фазам развития в зависимости от обработки удобрениями приведена на рис. 2. Отмечаем, что лучшая облиственность растений, начиная с фазы розетки, была на вариантах с обработкой растений смесью препаратов Эколист Макро 12–4–7+Борогум. Максимальное количество листьев на растении ярового рапса сорта Рубеж было зафиксировано в фазу цветения: на контроле 13,7 шт., на вариантах с Эколист

Макро 12–4–7–18,8 шт., с Бионекс-Кеми — 18,6 шт., с Эколист Макро 12–4–7+Борогум — 19,1 шт., с Бионекс-Кеми + Борогум — 18,9 шт.

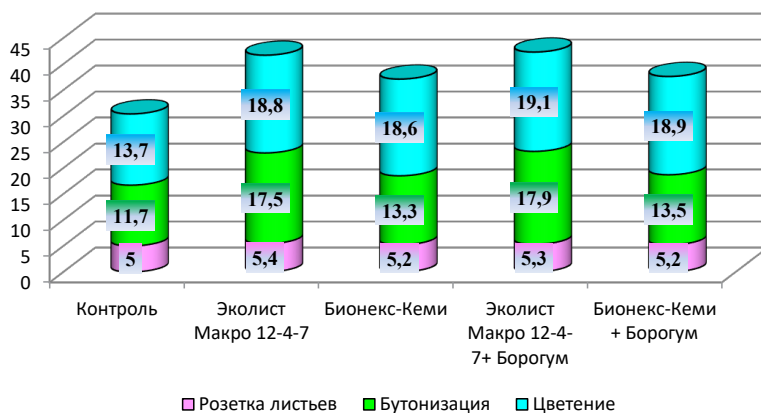


Рис. 2. Количество листьев у растений ярового рапса, шт. (среднее за 2018–2020 гг.)

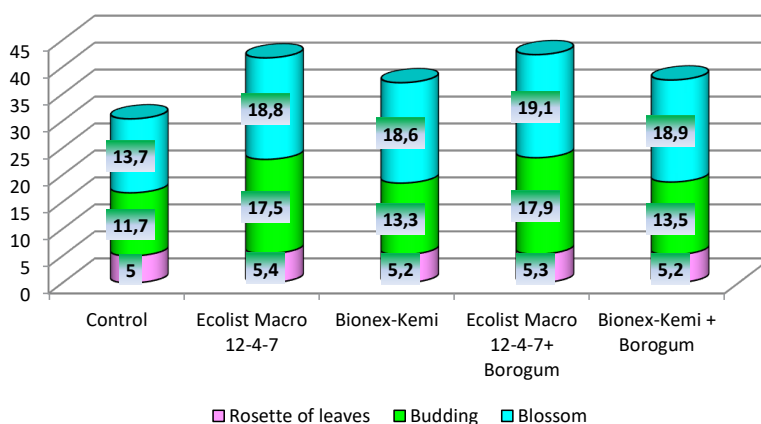


Fig. 2. The number of leaves in spring rape plants, pcs (average for 2018–2020 years)

Площадь листьев у сорта ярового рапса Рубеж в период цветения варьировала под влиянием вариантов удобрений от 32,1 до 35,5 см<sup>2</sup>. Лучшие результаты были получены при использовании смесей Эколист Макро 12–4–7+ Борогум — 35,5 см<sup>2</sup> и Бионекс-Кеми + Борогум — 34,1 см<sup>2</sup>.

Внекорневая подкормка исследуемыми препаратами способствовала большему завязыванию и сохранности стручков. Так на одном растении рапса контрольного варианта в среднем формировалось 39,8 стручка (рис. 3). Внесение микроудобрения Эколист Макро 12–4–7 увеличивало количество стручков на 17,4 шт. Максимальное количество стручков на одном растении отмечалось на варианте Эколист Макро 12–4–7+ Борогум (54,1 шт.). Такое сочетание удо-



бренный способствовало также увеличению числа семян в стручке на 20,4 % относительно контроля. По вариантам исследований данный показатель находился в пределах от 20,1 до 24,2 шт.

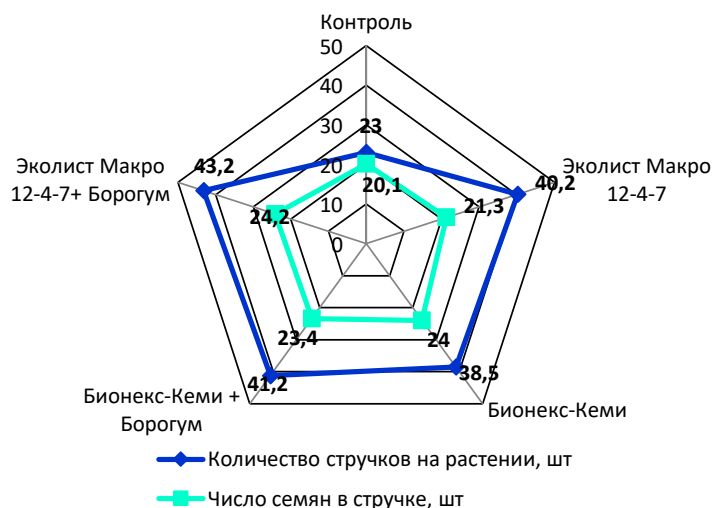


Рис. 3. Элементы структуры урожайности ярового рапса (среднее за 2018–2020 гг.)

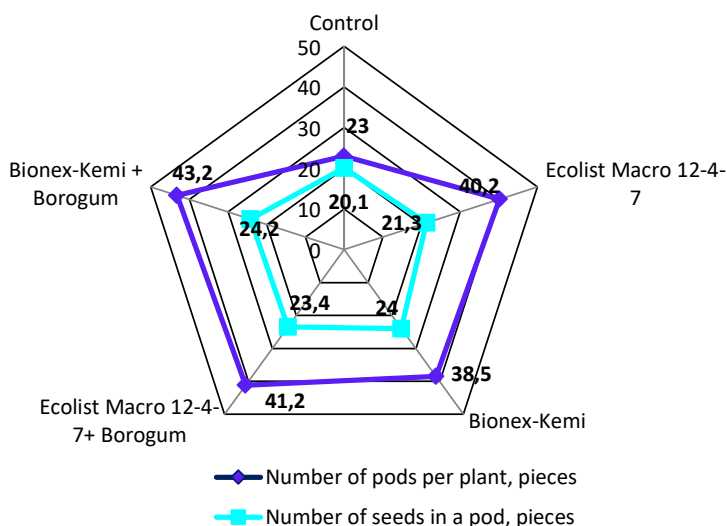


Fig. 3. Elements of yield structure of spring rapeseed (average for 2018–2020)

В результате роста обеспеченности питания растений микроэлементами масса 1000 семян возросла. Этот показатель находился в пределах 3,40...3,44 г.

Для исследования влияния микроудобрений на фотосинтетическую активность ярового рапса были определены показатели содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов, суммы пигментов.

Хлорофилла *a* в растениях содержится больше, чем хлорофилла *b*. Наши исследования позволили установить, что содержание хлорофилла *a* в листьях значительно увеличивалось на вариантах с Эколист Макро 12–4–7 (0,74 мг/г) и с Эколист Макро 12–4–7+ Борогум (0,84 мг/г) (рис. 4).

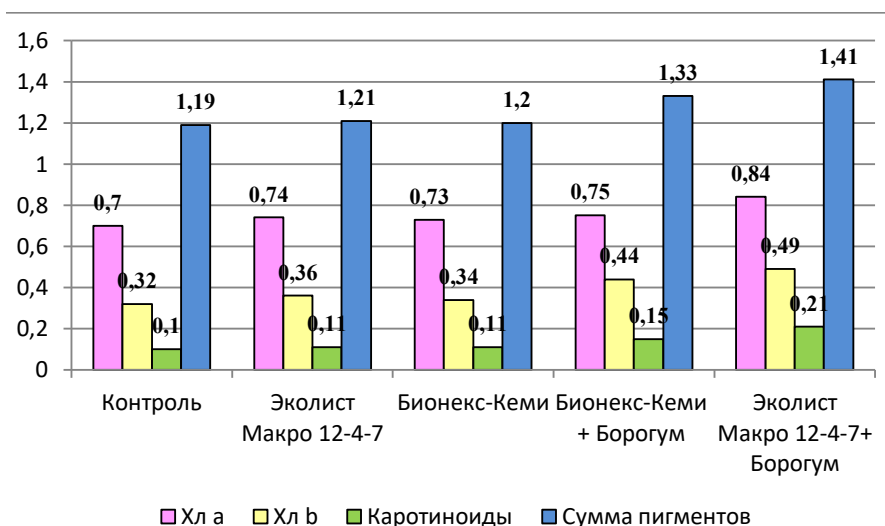


Рис. 4. Влияние микроудобрений на фотосинтетическую активность растений рапса (среднее за 2018–2020 гг.)

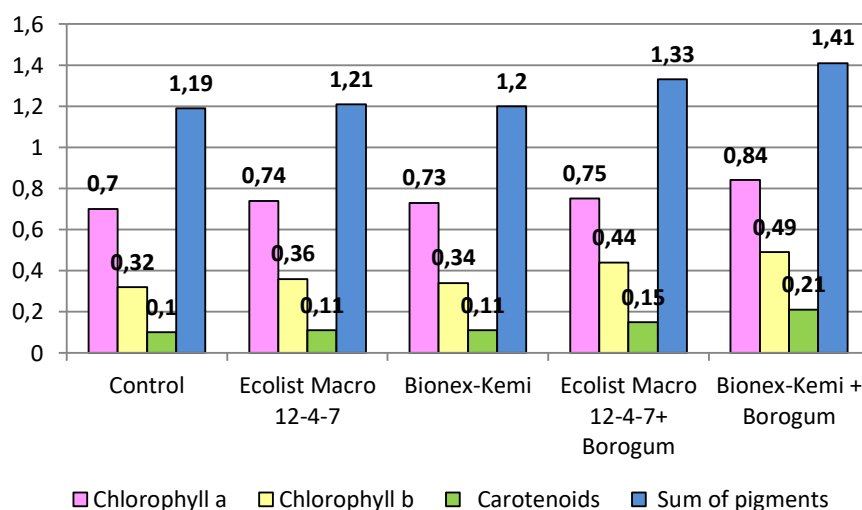


Fig. 4. Effect of micronutrients on photosynthetic activity of rapeseed plants (2018–2020)

Общая сумма пигментов на контрольном варианте составила 1,19 мг/г, на Эколист Макро 12–4–7–1,21, на Бионекс-Кеми — 1,20, на Бионекс-Кеми + Борогум — 1,33 и на Эколист Макро 12–4–7+ Борогум — 1,41 мг/г.

Содержание каротиноидов также изменялось в зависимости от вида применяемых удобрений и имело следующий убывающий вид по вариантам исследования: Эколист Макро 12–4–7+ Борогум  $\geq$  Бионекс-Кеми + Борогум  $\geq$  Эколист Макро 12–4–7  $\geq$  Бионекс-Кеми  $\geq$  контроль.

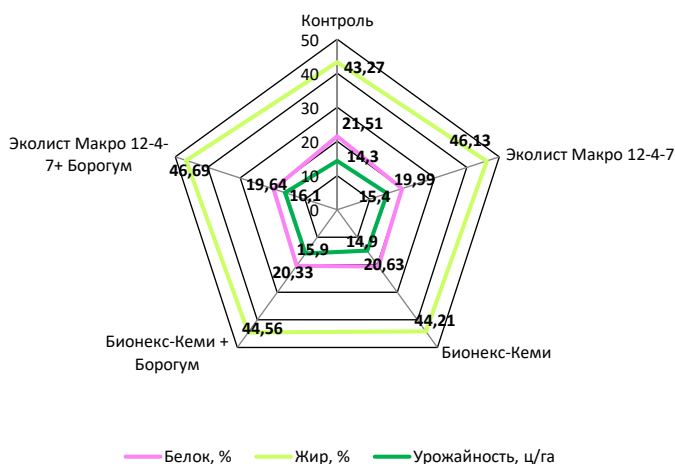
Применение микроудобрений способствовало получению дополнительного урожая семян ярового рапса. Препарат Эколист Макро 12–4–7 обеспечивал прирост дополнительной продуктивности растений на 1,10 ц/га, смесь микроудобрений Эколист Макро 12–4–7+ Борогум на 1,80 ц/га, микроудобрения Бионекс-Кеми на 0,64 ц/га, смесь Бионекс-Кеми + Борогум на 1,62 ц/га (НСР<sub>05</sub> 0,9 ц/га) (рис. 5).

В производстве семян рапса важным показателем является содержание в семенах жира и белка. Изучаемые препараты снижали в семенах ярового рапса белок, но значительно повышали масличность: вариант Эколист Макро 12–4–7 на 3,42, Бионекс-Кеми — на 0,94, Бионекс-Кеми + Борогум — на 1,29, Эколист Макро 12–4–7 + Борогум на 3,42 % по сравнению с контролем (НСР<sub>05</sub> 0,8 %).

Повышение масличности связано с тем, что применяемые микроудобрения в своем составе содержали такие важные для рапса микроэлементы, как бор и сера.

Максимальный выход масла был получен от применения смеси Эколист Макро 12–4–7+ Борогум (769,4 кг/га), что на 24,7 % выше, чем на контроле. На варианте Бионекс-Кеми + Борогум была получена продукция с максимальным содержанием белка (322,6 кг/га).

В результате проведенного анализа химического состава основных компонентов золы (P, S, K, Mn, Fe, Mg, Ca, Zn, Mo) семян ярового рапса, установлено, что элементный состав семян практически не имел различий по вариантам исследования. Убывающий ряд содержания элементов в золе имел следующий вид: P  $\approx$  K > Mg  $\geq$  Ca > Mo > S > Zn > Mn > F (рис. 6).



**Рис. 5.** Урожайность и качество семян ярового рапса в зависимости от обработки растений микроудобрениями (среднее за 2018–2020 гг.): НСР<sub>05</sub> (урожайность) — 0,9 ц/га; НСР<sub>05</sub> (жир) — 0,8 %

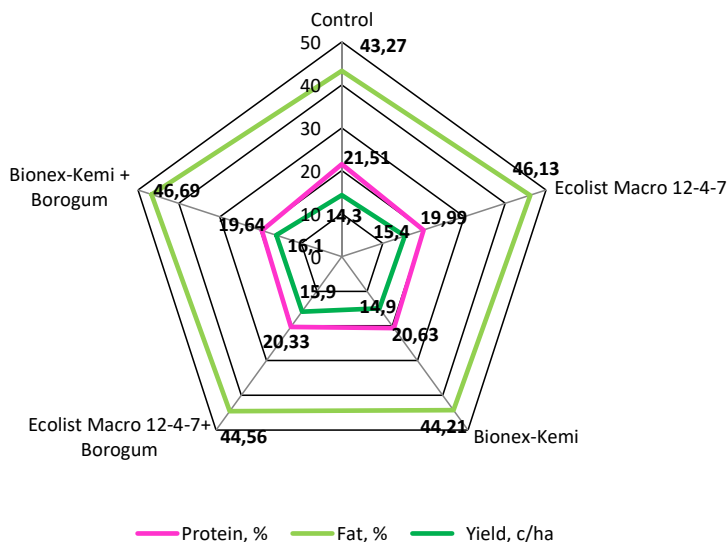


Fig. 5. Yield and quality of spring rapeseed seeds depending on the treatment of plants with micro fertilizers:  $LSD_{05}$  (yield) – 0.9 c/ha;  $LSD_{05}$  (fat) – 0.8 %

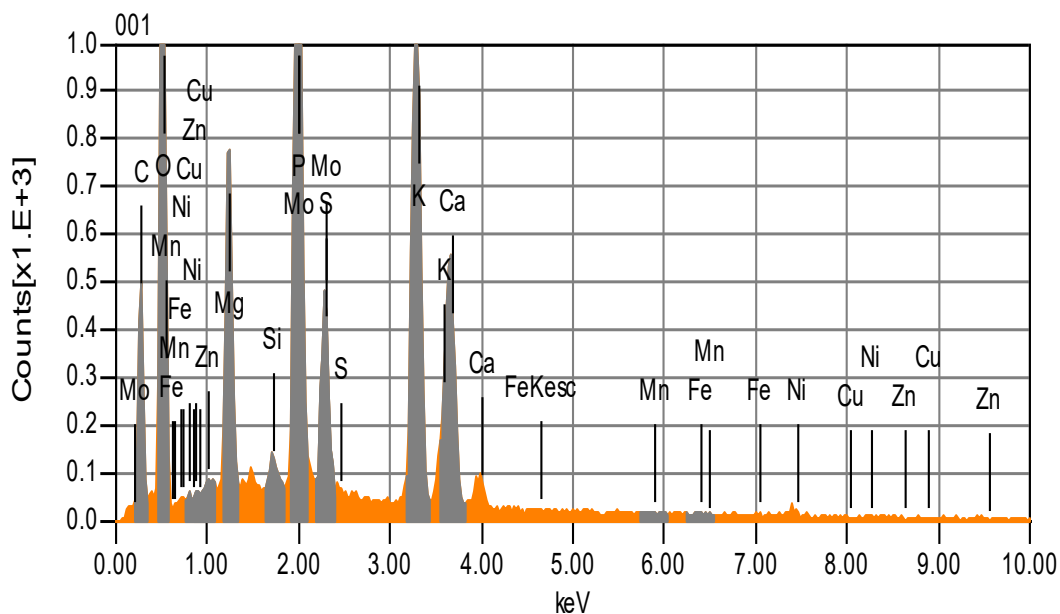


Рис. 6. Общий вид линий рентгеновского спектра, которые показывают присутствие элементов в области анализа

Fig. 6. General view of the X-ray spectrum lines that show the presence of elements in the analysis area

## Заключение

Применяемые в опыте препараты обеспечили активизацию ростовых процессов, более активное развитие надземной массы растений, что, в свою очередь, увеличило фотосинтетические показатели растений рапса, а также элементы структуры урожая. Установлено, что именно применение комплексов препаратов по вегетации Эколист Макро 12–4–7 (2 л/га) + Борогум (1 л/га) и Бионекс-Кеми (2 л/га) + Борогум (1 л/га) в посевах ярового рапса в условиях лесостепи Центрально-Черноземного региона способствовало усилению процессов роста и развития. Вследствие этого растения ярового рапса в зависимости от вариантов опыта формировали более развитые вегетативные и генеративные органы, что обеспечило существенное повышение урожайности от смеси микроудобрений Эколист Макро 12–4–7+ Борогум на 1,80 ц/га, смеси Бионекс-Кеми + Борогум на 1,62 ц/га при НСР<sub>05</sub> = 0,9 ц/га, по сравнению с контролем. Следует отметить, что все используемые в опыте удобрения способствовали увеличению содержания масла в семенах ярового рапса Эколист Макро 12–4–7 на 3,42 %, Бионекс-Кеми — на 0,94 %, Бионекс-Кеми + Борогум — на 1,29 %, Эколист Макро 12–4–7 + Борогум — на 3,42 % по сравнению с контролем (НСР<sub>05</sub> = 0,8 %).

## Библиографический список

1. *Виноградов Д.В.* Агроэкологическая оценка сортов яровых рапса и сурепицы в условиях южной части Нечерноземной зоны России // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 28—29.
2. *Виноградов Д.В.* Использование капустных культур // Пчеловодство. 2009. № 5. С. 23—24.
3. *Вафина Э.Ф., Мерзлякова А.О., Фатыхов И.Ш.* Фотосинтетическая деятельность растений рапса Галант при применении микроэлементов // Инновационному развитию АПК — научное обеспечение: сборник науч. статей междунар. науч.—практ. Конф., посвященной 80-летию Пермской государственной сельскохозяйственной академии имени академика Д.Н. Прянишникова. Пермь, 2016. С. 26—30.
4. *Виноградов Д.В., Поляков А.В., Вертелецкий И.А., Артемова Н.А.* Возможность расширения ассортимента масличных культур в южном Нечерноземье // Международный технико-экономический журнал. 2012. № 1. С. 118—123.
5. *Виноградов Д.В., Жулин А.В.* Методические рекомендации по возделыванию ярового рапса в Рязанской области / ГУ Рязанский НИПТИ АПК. Рязань. 2008. 40 с.
6. *Зубкова Т.В.* Формирование высокопродуктивных посевов ярового рапса в зависимости от основных агроприемов возделывания в условиях лесостепи ЦЧР: автореф. дис. ... канд. сельскохоз. наук. Орел: Орловский ГАУ, 2013. 21 с.
7. *Зубкова Т.В., Виноградов Д.В.* Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помета и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 46—54. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54
8. *Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д.* Эффективность некорневой обработки микроудобрениями при выращивании ярового рапса // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 1. doi: 10.51419/20211121

9. Макарова М.П., Виноградов Д.В. Влияние органоминеральных удобрений на основе ОСВ и цеолита на продуктивность агроценоза ярового рапса // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета им. П.А. Костычева. 2013. № 3 (19). С. 109—112.
10. Kocou A., Grenda A. The effect of titanite on photosynthesis, yield and nutrient uptake by rape plants // Adv Agric Sci Probl. 2004. № 502 (1). P. 135—140.
11. Wojcieszka-Vyskupajtyś U. Net photosynthesis under conditions of light and nutritional stress // Ecophysiological aspects of plant responses to abiotic agents stress. Cracow, 1996. P. 567—573.
12. Vinogradov D.V., Konkina V.S., Kostin Ya.V., Kryuchkov M.M., et al. Developing the regional system of oil crops production management // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9(5). P. 1276—1284.
13. Lešny J., Kuchar L., Panfil M., Vinogradov D.V., Dragańska E. Characteristic decrease in the value of rapeseed evatranspiration after its ripening // Agronomy. 2021. Vol. 11. № 12. P. 2523. doi: 10.3390/agronomy11122523
14. Motyleva S., Shchuchka R., Gulidova V., Mertvishcheva M. Structure and chemical characteristics of natural mineral deposit Terbunskaya (Lipetsk region, Russia) // AIP Conference Proceedings. 2015. Vol. 1669. doi: 10.1063/1.4919211
15. Wahnhoff M. Mechanische Unkrautbekämpfung im Raps — eine Alternative // Pflanzenschutz-Praxis. № 4. P. 34—36.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

## References

1. Vinogradov DV. The agroecological estimation of grades summer rapes in the southern part of the Nonchernozem zone of Russia. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2011; (1):28—29. (In Russ).
2. Vinogradov DV. Use of cabbage crops. *Pchelovodstvo*. 2009; (5):23—24. (In Russ).
3. Vafina EF, Merzlyakova AO, Fatykhov IS. Photosynthetic activity of Galant rapeseed plants after application of mineral fertilizers. In: *Innovative development of agriculture—scientific support: conference proceedings*. Perm; 2016. p.26—30. (In Russ).
4. Vinogradov DV, Polyakov AV, Verteletsky IA, Artemova NA. Oilseed range extension prospects in South black soil region. *International Technical and Economic Journal*. 2012; (1):118—123. (In Russ).
5. Vinogradov DV, Zhulin AV. *Metodicheskie rekomendatsii po vozde-lyvaniyu yarovogo rapsa v Ryazanskoj oblasti* [Methodological recommendations for the cultivation of spring rape in the Ryazan region]. Ryazan; 2008. (In Russ).
6. Zubkova TV. *Formirovanie vysokoproduktivnykh posevov yarovogo rapsa v zavisimosti ot osnovnykh agropriemov vozde-lyvaniya v usloviyakh leso-stepi TsChR* [Formation of highly productive spring rape crops depending on the main agricultural practices of cultivation in the conditions of the forest-steppe of the Central Asian Republic]. Orel: Orlovsky SAU publ.; 2013. (In Russ).
7. Zubkova TV, Vinogradov DV. Properties of organomineral fertilizer based on chicken manure and its application in the technology of spring rape cultivation for seeds. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; (1):46—54. (In Russ). doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54
8. Zubkova TV, Vinogradov DV, Gogmachadze GD. Efficiency of non-root treatment with microfertilizers in the cultivation of spring rapeseed. *AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal*. 2021; (1). (In Russ). doi: 10.51419/20211121

9. Makarova MP, Vinogradov DV. Influence of the basis organomineral fertilizers sewage sludge and zeolites on productivity spring rape. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2013; (3):109–112. (In Russ).
10. Kocon A, Grenda A. The effect of titanite on photosynthesis, yield and nutrient uptake by rape plants. *Adv Agric Sci Probl*. 2004; 502(1):135–140. (In Polish).
11. Wojcieszka-Vyskupajtyś U. Net photosynthesis under conditions of light and nutritional stress. In: *Ecophysiological aspects of plant responses to abiotic agents stress*. Cracow; 1996. p.567–573.
12. Vinogradov DV, Konkina VS, Kostin YV, Kryuchkov MM, Zakharova OA, Ushakov RN. Developing the regional system of oil crops production management. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(5):1276–1284.
13. Leśny J, Kuchar L, Panfil M, Vinogradov DV, Dragańska E. Characteristic decrease in the value of rapeseed evatranspiration after its ripening. *Agronomy*. 2021; 11(12):2523. doi: 10.3390/agronomy11122523
14. Motyleva S, Shchuchka R, Gulidova V, Mertvishcheva M. Structure and chemical characteristics of natural mineral deposit Terbunskaya (Lipetsk region, Russia). *AIP Conference Proceedings*. 2015; 1669:020073. doi: 10.1063/1.4919211
15. Wahnhoff M. Mechanische Unkrautbekämpfung im Raps — eine Alternative. *Pflanzenschutz-Praxis*. 1994; 4:34–36.
16. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment technique]. Moscow: Agropromizdat publ.; 1985. (In Russ).

**Об авторе:**

Зубкова Татьяна Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», Российская Федерация, 399770, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28; e-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru  
ORCID: 0000–0003–3525–488X







**About Author:**


Zubkova Tatyana Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department — Technology of storage and processing of agricultural products, Yelets State University named after I.A. Bunin, 28 Kommunarov st., Yelets, 399770, Russian Federation; e-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru  
ORCID: 0000–0003–3525–488X

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-20-30  
УДК 537.312.5:633.16

Научная статья / Research article

## Последствия однократного воздействия нетермальной аргоновой плазмы на разных этапах органогенеза для роста и развития ячменя

Д.И. Петрухина  , О.В. Тхорик , В.И. Шишко ,  
В.А. Харламов , П.Н. Цыгвинцев 

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии  
и агроэкологии, г. Обнинск, Российская Федерация  
 [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com)

**Аннотация.** Представлены результаты вегетационных экспериментов по действию низкотемпературной аргоновой плазмы на растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Владимир с целью изучения влияния на морфофизиологические показатели и урожайность. Воздействие плазмы проводилось однократно на трех этапах органогенеза растений ячменя: 3-й лист, кущение и выход в трубку. Длительность обработки составляла 15 и 30 мин. Растения выращивали до полной спелости. Было показано, что воздействие плазмой статистически значимо не изменяло большинство исследуемых показателей. Однако воздействие в течение 15 мин на растения ячменя в критический период развития (фаза 3 листа) приводило к увеличению массы корней растений на 77,8 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контрольными растениями. А после облучения в фазу кущения увеличивалось число колосков в колосе главного стебля на 18,5 % при обработке в течение 15 мин ( $p < 0,001$ ) и 11,17 % после 30 мин воздействия ( $p < 0,05$ ). Наблюдали увеличение числа продуктивных стеблей и число зерен с бокового стебля. В то же время воздействие в течение 30 мин в фазу 3 листа снижало высоту растений на 7 % ( $p < 0,05$ ). А воздействие в фазу кущения на 39 % ( $p < 0,01$ ) снижало массу корней растений ячменя относительно контрольных растений. Напротив, воздействие низкотемпературной плазмы на растения ячменя в фазу выхода в трубку было менее выражено по сравнению с воздействием на более ранних стадиях развития. Это можно объяснить меньшей чувствительностью данной стадии органогенеза. Полученные результаты влияния однократного воздействия плазмы на разных этапах органогенеза растения ячменя могут быть полезны с целью повышения урожайности ячменя.

**Ключевые слова:** ячмень, *Hordeum vulgare* L., нетермальная аргоновая плазма, морфо-физиология, урожайность

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Петрухина Д.И., Тхорик О.В., Шишко В.И., Харламов В.А., Цыгвинцев П.Н., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>



**Финансирование. Благодарности.** Работа выполнена в рамках Государственного задания № FGNE-2022–0003 Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии.

**Вклад авторов:** Петрухина Д.И. — анализ результатов и написание рукописи; Тхорик О.В. — обработка экспериментальных данных; Шишко В.И. и Харламов В.А. — проведение вегетационного эксперимента; Цыгвинцев П.Н. — планирование и руководство экспериментом.

**История статьи:** поступила в редакцию 2 февраля 2022 г., принята к публикации 25 февраля 2022 г.

**Для цитирования:** Петрухина Д.И., Тхорик О.В., Шишко В.И., Харламов В.А., Цыгвинцев П.Н. Последствия однократного воздействия нетермальной аргоновой плазмы на разных этапах органогенеза для роста и развития ячменя // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 20—30. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-20-30

## Effects for barley growth and development of single exposure to low-temperature argon plasma at different organogenesis stages

Daria I. Petrukhina  , Oksana V. Tkhорik , Valentin I. Shishko ,  
Vladimir A. Kharlamov , Pavel N. Tsygvintsev 

Russian Institute of Radiology and Agroecology, *Obninsk, Russian Federation*  
 daria.petrukhina@outlook.com

**Abstract.** The paper presents the vegetation experiments results on the low-temperature argon plasma effect on barley plants (*Hordeum vulgare* L.) of the Vladimir cultivar and its influence on morphophysiological parameters and yield. Plasma treatment was once at three organogenesis stages of barley plants: 3rd leaf, tillering and booting. Plasma exposure was 15 and 30 min. The barley plants were grown to full maturity. Analysis of barley yield structure did not reveal clear patterns in the change in most parameters resulted from the plasma treatment. However, 15 min plasma exposure on barley plants in the critical development stage (3rd leaf) increased by 77.8 % ( $p < 0.05$ ) the root weight of plants compared with control. After treatment at the tillering stage, the number of spikelets per main stem ear increased by 18.5 % ( $p < 0.001$ ) after 15 min plasma exposure, and by 11.17 % ( $p < 0.05$ ) after 30 min exposure. An increase in the number of productive stems and the number of grains per lateral stem ear was observed. At the same time, 30 min exposure in the 3rd leaf stage reduced by 7 % ( $p < 0.05$ ) the plant height. And the treatment in the tillering stage reduced by 39 % ( $p < 0.01$ ) the root weight of barley plants. The effect of low-temperature plasma on barley plants at the booting stage was less expressed to the plasma effect at earlier development stages. This can be explained by the lower sensitivity of this stage of organogenesis. The obtained effects of single exposure to low-temperature argon plasma at different organogenesis stages of barley plants can be useful to increase barley yields.

**Key words:** barley, *Hordeum vulgare* L., non-thermal argon plasma, morpho-physiology, yield

**Conflicts of interest.** The authors declared that they have no conflict of interest.

**Acknowledgments.** This work was carried out within the framework of the State Assignment of the Russian Institute of Radiology and Agroecology no. FGNE-2022–0003.

**Article history:** Received: 2 February 2022. Accepted: 25 February 2022

**For citation:** Petrukhina DI, Tkhorik OV, Shishko VI, Kharlamov VA, Tsygvintsev PN. Effects for barley growth and development of single exposure to low-temperature argon plasma at different organogenesis stages. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):20—30. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-20-30

## Введение

Согласно литературным данным, использование низкотемпературной (холодной) плазмы атмосферного давления в агропромышленном комплексе находится в стадии первоначального бурного развития, но перспективы здесь открываются весьма обширные [1, 2]. Во многих зарубежных исследованиях уже было продемонстрировано негативное воздействие низкотемпературной плазмы на бактерии [3, 4]. Одним из наиболее вероятных практических применений низкотемпературной плазмы в агротехнологиях является предпосевная обработка семенного материала с целью обеззараживания их поверхности от микроорганизмов, а также для стимулирования прорастания семян, роста и развития растений [5]. В литературе приведены данные исследований обработки низкотемпературной плазмой для дезинфекции поверхностей различных семян: семян ячменя [6], сои [7], томатов [8], огурца и перца [9]; зерен кукурузы [10], семян маша, или бобов мунг [11], семян базилика [12].

Кроме того, в литературе сообщается, что низкотемпературная плазма наиболее эффективна в борьбе с микробной обсемененностью поверхности семян по сравнению с обработкой электронным пучком. Оба метода ускоряли прорастание семян при кратковременной плазменной обработке (< 120 с) и всех применяемых дозах обработки электронным пучком (8...60 кГр). Но даже самая низкая доза обработки электронным пучком в 8 кГр в этом исследовании вызвала аномалии корней у проростков, что свидетельствует о пагубном воздействии на ткань семян [13]. Однако не исследованы последствия воздействия низкотемпературной плазмы атмосферного давления на сельскохозяйственные растения. Это представляется интересным для целей повышения урожая и качества продукции в хозяйствах. Формирование у растений ячменя ответных реакций на действие низкотемпературной плазмы в различные этапы органогенеза не было изучено. В период образования вегетативных органов, а также в генеративный период развития растений, влияние плазменного воздействия может быть различным.

**Цель исследования** — изучение влияния в различные этапы органогенеза однократного воздействия низкотемпературной аргоновой плазмы на рост, развитие и урожайность зерновых культур на примере ярового ячменя.

## Материалы и методы исследования

Объект исследования — ячмень (*Hordeum vulgare* L.) ярового сорта Владимир. Растения выращивали в условиях вегетационного эксперимента в теплице в сосудах, содержащих 4,5 кг воздушно-сухой дерново-подзолистой почвы. В каждом сосуде выращивалось по 10 растений. Обработку растений проводили в различные фазы

органогенеза: 3-й лист, кущение и выход в трубку. Этапы органогенеза определяли, ориентируясь на публикации Zadoks et al. и Tottman [14, 15].

В качестве источника низкотемпературной плазмы использовали описанную ранее установку [16, 17]. Общий вид экспериментальной установки приведен на рис. 1. В установке генерируется микроволновый разряд коаксиальной конфигурации в струе аргона при атмосферном давлении.



**Рис. 1.** Источник СВЧ плазмы с коническим концентратором

**Fig. 1.** Source of microwave plasma with a conical concentrator

Для обеспечения равномерной обработки растений, а также снижения температуры потока при сохранении концентрации ионизации/активации на внешнем конце наконечника устроен газовый концентратор (рис. 2), выполненный двух частях из нержавеющей стали толщиной 0,4 мм. Концентратор образует расширительную камеру в виде усеченного конуса. Первая часть длиной 160 мм, диаметр основания конуса составил 100 мм, а диаметр его верхнего сечения—соответственно 60 мм. Вторая часть концентратора длиной 390 мм имела диаметр верхнего сечения 100 мм и диаметр основания 230 мм. Нижний край концентратора находился на расстоянии 5 см от поверхности земли в сосуде. Расход аргона составлял 5 л/мин. Длительность обработки— 15 и 30 мин.

Контролем служили необработанные растения. Действие низкотемпературной плазмы оценивали в конце вегетации по морфофизиологическим показателям и структуре урожая. Растения выращивали до полной спелости. Достоверность различий вариантов опыта относительно контроля устанавливали по *t*-критерию Стьюдента. В таблицах представлены средние значения и ошибка средней  $X \pm m$ .



Рис. 2. Процесс обработки растений СВЧ плазмой  
Fig. 2. The process of treating plants with microwave plasma

## Результаты исследования и обсуждение

Анализ структуры урожая показал, что воздействие низкотемпературной плазмой на растения ячменя в критический период развития (фаза 3-го листа) не оказало статистически значимого негативного эффекта на большинство параметров (табл. 1). Только высота растений, обработанных плазмой, была ниже относительно контрольных на 7 % ( $p < 0,05$ ) после воздействия в течение 30 мин.

В то же время наблюдался значительный стимулирующий эффект на массу корней после 15 мин воздействия низкотемпературной плазмы (табл. 1). Масса корней растений, обработанных плазмой в течение 15 мин на 77,8 % ( $p < 0,05$ ), превышала этот показатель у контрольных растений. Стимулирующее воздействие на корни растения ячменя могло способствовать появлению дополнительных боковых стеблей в процессе органогенеза. В эксперименте также наблюдали стимулирующий эффект от воздействия плазмой в течение 15 мин на число зерен с бокового стебля и их массу.

**Морфофизиологические показатели и структура урожая ячменя сорта Владимир в фазе полной спелости обработки низкотемпературной плазмой в фазе развития 3-й лист**

**Morphophysiological parameters and yield structure of spring barley cv. Vladimir (full ripeness stage) after low-temperature plasma treatment in 3rd leaf stage**

Показатель / Parameter	Длительность обработки плазмой / Plasma treatment duration					
	Контроль/ Control		15 мин (1/2 дозы)/ 15 min (1/2 dose)		30 мин (max доза)/ 30 min (max dose)	
	X	±m	X	±m	X	±m
Высота растения, см Plant height, cm	56,50	1,03	53,88	1,13	52,50*	1,43
Длина колоса, см Ear length, cm	8,05	0,19	7,70	0,20	7,83	0,19
Общее число стеблей, шт. Total stem numbers	1,90	0,14	1,85	0,15	1,95	0,14
Число продуктивных стеблей с колосом, шт. Number of productive stems	1,80	0,14	1,70	0,15	1,60	0,13
Число колосков в колосе главного стебля, шт. Number of spikelets per main stem ear	21,05	0,45	20,40	0,49	20,75	0,63
Число зерен в колосе главного стебля, шт. Grain numbers per main stem ear	16,25	0,51	16,00	0,70	15,10	0,60
Масса зерен с колоса главного стебля, г Grain weight per main stem ear, g	0,88	0,03	0,84	0,03	0,81	0,03
Число зерен в колосе бокового стебля, шт. Grain numbers per lateral stem ear	8,45	1,74	9,50	2,03	7,80	1,83
Масса зерен с колоса бокового стебля, г Grain weight per lateral stem ear, g	0,24	0,06	0,34	0,08	0,28	0,07
Масса корня, г Root weight, g	0,30	0,04	0,52*	0,08	0,23	0,02

\*Различия с контролем достоверны при  $p < 0,05$ .

\*Differences with controls are significant at  $p < 0,05$ .

Облучение растений ячменя низкотемпературной плазмой в фазу кушение оказало стимулирующий эффект на некоторые показатели. Наблюдали статистически значимое увеличение числа колосков в колосе главного стебля на 18,5 %

при обработке в течение 15 мин ( $p < 0,001$ ) и 11,17 % после 30 мин воздействия ( $p < 0,05$ ) (табл. 2). Так же можно отметить увеличение числа зерен с бокового стебля и их массы.

Таблица 2/ Table 2

**Морфофизиологические показатели и структура урожая ячменя сорта Владимир в фазе полной спелости обработки низкотемпературной плазмой в фазе развития кущение**  
**Morphophysiological parameters and yield structure of spring barley cv. Vladimir (full ripeness stage) after low-temperature plasma treatment in tillering stage**

Показатель/ Parameter	Длительность обработки плазмой/ Plasma treatment duration					
	Контроль/ Control		15 мин (1/2 дозы)/ 15 min (1/2 dose)		30 мин (max доза)/ 30 min (max dose)	
	X	±m	X	±m	X	±m
Высота растения, см Plant height, cm	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
Длина колоса, см Ear length, cm	7,70	0,24	7,73	0,19	7,63	0,23
Общее число стеблей, шт. Total stem numbers	1,90	0,12	1,70	0,13	2,10	0,12
Число продуктивных стеблей с колосом, шт. Number of productive stems	1,60	0,15	1,65	0,13	1,90	0,14
Число колосков в колосе главного стебля, шт. Number of spikelets per main stem ear	19,70	0,51	23,35***	0,50	21,90*	0,54
Число зерен в колосе главного стебля, шт. Grain numbers per main stem ear	14,85	0,59	15,35	0,60	15,55	0,62
Масса зерен с колоса главного стебля, г Grain weight per main stem ear, g	0,80	0,04	0,84	0,03	0,82	0,03
Число зерен в колосе бокового стебля, шт. Grain numbers per lateral stem ear	7,00	1,76	9,35	2,16	10,65	1,92
Масса зерен с колоса бокового стебля, г Grain weight per lateral stem ear, g	0,24	0,07	0,31	0,08	0,35	0,07
Масса корня, г Root weight, g	0,47	0,00	0,44	0,08	0,29**	0,04

Различия с контролем достоверны при: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

Variables of significance: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

В то же время воздействие плазмой в течение 30 мин на 39 % ( $p < 0,01$ ) снижало массу корней растений ячменя относительно контрольных растений. В целом, также как и после воздействия низкотемпературной плазмой на растения ячменя



в фазу 3-го листа, воздействие в фазу кущения не оказало статистически значимого негативного эффекта на большинство параметров (см. табл. 2).

Напротив, воздействие низкотемпературной плазмы на растения ячменя в фазу выхода в трубку было менее выражено по сравнению с воздействием на более ранних стадиях развития. Это можно объяснить меньшей чувствительностью данной стадии органогенеза. Также наблюдалась тенденция к увеличению числа продуктивных стеблей и числа зерен с бокового стебля. Однако воздействие в фазу выхода в трубку не оказало статистически значимого негативного эффекта на исследуемые параметры (табл. 3).

Таблица 3/ Table 3

**Морфофизиологические показатели и структура урожая ячменя сорта Владимир в фазе полной спелости обработки низкотемпературной плазмой в фазе развития *выход в трубку***  
**Morphophysiological parameters and yield structure of spring barley cv. Vladimir (full ripeness stage) after low-temperature plasma treatment in *booting* stage**

Показатель/ Parameter	Длительность обработки плазмой/ Plasma treatment duration					
	Контроль/ Control		15 мин (1/2 дозы)/ 15 min (1/2 dose)		30 мин (max доза)/ 30 min (max dose)	
	X	±m	X	±m	X	±m
Высота растения, см Plant height, cm	54,75	0,90	56,15	1,19	56,53	0,77
Длина колоса, см Ear length, cm	7,75	0,20	7,70	0,18	7,83	0,24
Общее число стеблей, шт. Total stem numbers	1,75	0,12	1,90	0,16	1,75	0,12
Число продуктивных стеблей с колосом, шт. Number of productive stems	1,60	0,11	1,80	0,16	1,65	0,13
Число колосков в колосе главного стебля, шт. Number of spikelets per main stem ear	21,35	0,50	21,35	0,51	21,75	0,48
Число зерен в колосе главного стебля, шт. Grain numbers per main stem ear	16,25	0,59	15,25	0,46	15,50	0,55
Масса зерен с колоса главного стебля, г Grain weight per main stem ear, g	0,87	0,03	0,83	0,03	0,85	0,03
Число зерен в колосе бокового стебля, шт. Grain numbers per lateral stem ear	7,60	1,68	9,65	1,89	8,80	1,84
Масса зерен с колоса бокового стебля, г Grain weight per lateral stem ear, g	0,31	0,07	0,30	0,07	0,28	0,07
Масса корня, г Root weight, g	0,27	0,03	0,27	0,03	0,24	0,03

## Заключение

Таким образом, в ходе проведенных в условиях вегетационного эксперимента исследований установлено, что с увеличением времени обработки низкотемпературной плазмой наблюдаются негативные эффекты физиологического состояния растений. Воздействие в течение 30 мин в фазу 3-го листа снижало высоту растений на 7 % ( $p < 0,05$ ), а воздействие в фазу кущения снижало массу корней растений ячменя относительно контрольных растений на 39 % ( $p < 0,01$ ). Воздействие в фазу выхода в трубку не оказало статистически значимого негативного эффекта на исследуемые параметры. Таким образом, эффективность воздействия нетермальной плазмы зависела от фазы органогенеза ячменя. На ранних стадиях эффективность воздействия была выше. Воздействие в течение 15 мин на растения ячменя в критический период развития (фаза 3-го листа) приводило к увеличению массы корней растений на 77,8 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контрольными растениями. А после облучения в фазу кущения увеличивалось число колосков в колосе главного стебля на 18,5 % при обработке в течение 15 мин ( $p < 0,001$ ) и 11,17 % после 30 мин воздействия ( $p < 0,05$ ). Подобный стимулирующий эффект может быть полезен с целью повышения урожайности ячменя.

## References / Библиографический список

1. Attri P, Ishikawa K, Okumura T, Koga K, Shiratani M. Plasma agriculture from laboratory to farm: A review. *Processes*. 2020; 8(8):1002. doi: 10.3390/pr8081002
2. Ito M, Oh JS, Ohta T, Shiratani M, Hori M. Current status and future prospects of agricultural applications using atmospheric-pressure plasma technologies. *Plasma Processes and Polymers*. 2018; 15(2):1700073. doi: 10.1002/ppap.201700073
3. Niemira BA. Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2012; 3(1):125—142. doi: 10.1146/annurev-food-022811-101132
4. Guo J, Huang K, Wang J. Bactericidal effect of various non-thermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: A review. *Food Control*. 2015; 50:482—490. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.09.037
5. Mravlje J, Regvar M, Vogel-Mikuš K. Development of cold plasma technologies for surface decontamination of seed fungal pathogens: present status and perspectives. *Journal of Fungi*. 2021; 7(8):650. doi: 10.3390/jof7080650
6. Park Y, Oh KS, Oh J, Seok DC, Kim SB, Yoo SJ, et al. The biological effects of surface dielectric barrier discharge on seed germination and plant growth with barley. *Plasma Processes and Polymers*. 2018; 15(2):1600056. doi: 10.1002/ppap.201600056
7. Pizá MCP, Prevosto L, Zilli C, Cejas E, Kelly H, Balestrasse K. Effects of non-thermal plasmas on seed-borne Diaporthe/Phomopsis complex and germination parameters of soybean seeds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018; 49:82—91. doi: 10.1016/j.ifset.2018.07.009
8. Măgureanu M, Sîrbu R, Dobrin D, Gîdea M. Stimulation of the germination and early growth of tomato seeds by non-thermal plasma. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2018; 38(5):989—1001. doi: 10.1007/s11090-018-9916-0
9. Štěpánová V, Slavíček P, Kelar J, Prášil J, Smékal M, Stupavská M, et al. Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and pepper (*Capsicum annuum* L.) with effect on reduction of diseases and germination improvement. *Plasma Processes and Polymers*. 2017; 15(2):1700076. doi: 10.1002/ppap.201700076
10. Holubová L, Švubová R, Slováková L, Bokor B, Chobotová Kročková V, Renčko J, et al. Cold atmospheric pressure plasma treatment of maize grains—induction of growth, enzyme activities and heat shock proteins. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(16):8509. doi: 10.3390/ijms22168509



11. Darmanin M, Fröhling A, Bußler S, Durek J, Neugart S, Schreiner M, et al. Aqueous and gaseous plasma applications for the treatment of mung bean seeds. *Scientific Reports*. 2021; 11(1):19681. doi: 10.1038/s41598-021-97823-1
12. Abarghuei FM, Etemadi M, Ramezani A, Esehaghbeygi A, Alizargar J. An application of cold atmospheric plasma to enhance physiological and biochemical traits of basil. *Plants*. 2021; 10(10):2088. doi: 10.3390/plants10102088
13. Waskow A, Butscher D, Oberbossel G, Klöti D, Rudolf von Rohr P, Büttner-Mainik A, et al. Low-energy electron beam has severe impact on seedling development compared to cold atmospheric pressure plasma. *Scientific Reports*. 2021; 11(1):16373. doi: 10.1038/s41598-021-95767-0
14. Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*. 1974; 14(6):415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x
15. Tottman DR. The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of applied biology*. 1987; 110(2):441–454. doi: 10.1111/j.1744-7348.1987.tb03275.x
16. Tikhonov VN, Aleshin SN, Ivanov IA, Tikhonov AV. The low-cost microwave plasma sources for science and industry applications. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017; 927(1):012067. doi: 10.1088/1742-6596/927/1/012067
17. Ivanov IA, Tikhonov VN, Tikhonov AV. Microwave complex for obtaining low-temperature plasma at atmospheric pressure. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1393(1):012042. doi: 10.1088/1742-6596/1393/1/012042

#### Об авторах:

*Петрухина Дарья Игоревна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, 249032, Российская Федерация, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com)

ORCID 0000-0002-5790-9958

*Тхорик Оксана Владимировна* — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, 249032, Российская Федерация, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: [oxana.tkhorik@gmail.com](mailto:oxana.tkhorik@gmail.com)

ORCID 0000-0001-5213-2150

*Шишко Валентин Игоревич* — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, 249032, Российская Федерация, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: [valentine585@yandex.ru](mailto:valentine585@yandex.ru)

ORCID 0000-0002-0526-0579

*Харламов Владимир Александрович* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, 249032, Российская Федерация, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: [kharlamof@gmail.com](mailto:kharlamof@gmail.com)

ORCID 0000-0003-3479-1800

*Цыгвинцев Павел Николаевич* — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, 249032, Российская Федерация, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: [paul-gomel@mail.ru](mailto:paul-gomel@mail.ru)

ORCID 0000-0003-0214-7447

#### About authors:

*Petrukhina Daria Igorevna* — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109 km Kievskoe ave., Obninsk, Kaluga region, 249032, Russian Federation; e-mail: [daria.petrukhina@outlook.com](mailto:daria.petrukhina@outlook.com) ORCID 0000-0002-5790-9958

*Tkhorik Oksana Vladimirovna*—Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109 km Kievskoe ave., Obninsk, Kaluga region, 249032, Russian Federation; e-mail: oxana.tkhorik@gmail.com

ORCID 0000–0001–5213–2150

*Shishko Valentin Igorevich*—Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109 km Kievskoe ave., Obninsk, Kaluga region, 249032, Russian Federation; e-mail: valentine585@yandex.ru

ORCID 0000–0002–0526–0579

*Kharlamov Vladimir Aleksandrovich*—Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109 km Kievskoe ave., Obninsk, Kaluga region, 249032, Russian Federation; e-mail: kharlamof@gmail.com

ORCID 0000–0003–3479–1800

*Tsygvintsev Pavel Nikolayevich*—Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Russian Institute of Radiology and Agroecology, 109 km Kievskoe ave., Obninsk, Kaluga region, 249032, Russian Federation; e-mail: paul-gomel@mail.ru

ORCID 0000–0003–0214–7447




## Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-31-47

УДК 633.491:602.64

Научная статья / Research article

### Агробактериальная трансформация картофеля *Solanum tuberosum* L. генетическими конструкциями, содержащими растительный промотор *pro-SmAMP1*, выделенный из *Stellaria media* L.

М.Р. Халилуев<sup>1,2</sup> , П.Н. Харченко<sup>1</sup> , В.Н. Овчинникова<sup>1</sup>  <sup>1</sup>ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии,  
г. Москва, Российская Федерация<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,  
г. Москва, Российская Федерация  
 vera.ovchinnikova.1957@mail.ru

**Аннотация.** Эффективность генетической трансформации растений определяется выбором генетических конструкций и их регуляторных последовательностей, обуславливающих высокий и стабильный уровень экспрессии гетерологичных генов. Таким образом, актуальная задача растительной биотехнологии — использование высокоэффективных растительных промоторов. Выбор промотора определяет не только уровень экспрессии гена, но и эффективность генетической трансформации. Цель настоящего исследования — оценить взаимное влияние типа экспланта и 5′-делеционных вариантов растительного промотора *pro-SmAMP1* на эффективность агробактериальной трансформации картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Удача. Для анализа регенерационного потенциала сегментов стеблей и листовых эксплантов картофеля провели генетическую трансформацию посредством штамма *Agrobacterium tumefaciens* AGL0, несущего генетические конструкции, содержащие 5′-делеционные варианты промоторной части гена антимикробного пептида *pro-SmAMP1* *Stellaria media* L. Использовали четыре генетические конструкции на основе растительного бинарного вектора pCAMBIA1381Z, содержащие селективный ген *hptII*, а также репортерный ген *uidA*. Оба этих гена находились под контролем различных 5′-делеционных вариантов растительного промотора *pro-SmAMP1*, размер которых варьирует от -442 до -1196 п.н. (-442, -675, -732 и -1196 п.н.) относительно сайта

© Халилуев М.Р., Харченко П.Н., Овчинникова В.Н., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

инициации транскрипции. Кроме того, были использованы две конструкции на основе бинарного вектора pCAMBIA1302, содержащие различные делеционные варианты (-442 и -1196 п. н.) промотора *pro-SmAMP1*, контролирующей экспрессию маркерного гена *gfp*. Установлено, что эффективность агробактериальной трансформации зависела от типа используемой генетической конструкции, но не от типа экспланта. Наличие интеграции фрагмента промоторной области гена *pro-SmAMP1*, селективного гена *hptII*, а также отсутствие бактериального гена *Vir E* подтверждены с помощью молекулярно-генетического анализа (ПЦР). В зависимости от вида генетической конструкции эффективность агробактериальной трансформации варьировала от 2,0 до 7,2 %. Полученные результаты согласуются с ранее проведенными немногочисленными исследованиями, в которых отмечено, что выбор промотора не только определяет уровень экспрессии маркерных генов, но и оказывает существенное влияние на эффективность генетической трансформации.

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum* L., регенерационный потенциал, агробактериальная трансформация, 35SCaMV, промотор *pro-SmAMP1*, *Stellaria media* L.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование. Благодарности.** Исследование выполнено в рамках ГЗ № 0431-2022-0003 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Биотехнология» ФГБНУ ВНИИСБ, Москва.

**История статьи:** поступила в редакцию 2 июня 2021 г., принята к публикации 26 января 2022 г.

**Для цитирования:** Халилуев М.Р., Харченко П.Н., Овчинникова В.Н. Агробактериальная трансформация картофеля *Solanum tuberosum* L. генетическими конструкциями, содержащими растительный промотор *pro-SmAMP1*, выделенный из *Stellaria media* L. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 31—47. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-31-47


## **Agrobacterium-mediated transformation of potato *Solanum tuberosum* L. with constructs carrying the strong plant-derived promoter *pro-SmAMP1* from *Stellaria media* L.**

Marat R. Khaliluev<sup>1,2</sup> , Pyotr N. Kharchenko<sup>1</sup> ,

Vera N. Ovchinnikova<sup>1</sup>  

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

 vera.ovchinnikova.1957@mail.ru

**Abstract.** The effectiveness of plant genetic transformation is determined by the choice of genetic structures and their regulatory sequences that cause a high and stable expression level of heterologous genes. In this regard, the actual task of biotechnology is the use of highly effective plant promoters. The choice of promoter determines not only the level of the expression gene, but also the effectiveness of genetic transformation. The purpose of our study was to evaluate the influence of explant type and 5'-deletion variants of the plant strong *pro-SmAMP1* promoter, on the *Agrobacterium*-mediated transformation efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Udacha. To analyze the regenerative capacity of potato stem and leaf explants, AGL0 strain carrying constructs containing the 5'-deletion variants of the promoter fragment of gene encoding antimicrobial peptide from *Stellaria media* L. (*pro-SmAMP1*) was carried out. Four genetic constructs based on the plant expression vector pCAMBIA1381Z

were used in this work, containing the selectable gene *hptII* and reporter gene *uidA* under different 5'-deletion variants of the *pro-SmAMP1* promoter (-442, -675, -732 and -1196 bp relative to the transcription initiation site); as well as two binary vectors based on the expression vector pCAMBIA1302 with 5'-deletion *pro-SmAMP1* promoter variants (-442 and -1196 bp), controlling the expression of *gfp* reporter gene. It was found that the effectiveness of *Agrobacterium*-mediated transformation depended on the type of genetic construction used, but not on the type of explant being cultivated. The insertion of the promoter region *pro-SmAMP1* gene, *hptII*, as well as the absence of the bacterial *Vir E* gene was confirmed by PCR. Depending on the type of genetic construct, the transformation efficiency for the reporter gene varied from 2.0 to 7.2 %. The results are compared with previously conducted few studies, according to which the choice of promoter determines not only the expression level of marker genes, but also has a significant influence on the genetic transformation efficiency.

**Keywords:** *Solanum tuberosum* L., regenerative capacity, *Agrobacterium*-mediated transformation, 35SCaMV, promoter *pro-SmAMP1*, *Stellaria media* L.

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Acknowledgments.** The study was carried out within the framework of State Order No. 0431-2022-0003 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation using the scientific equipment of «Biotechnology» Center for Collective Use, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow.

**Article history:** Received: 2 June 2021. Accepted: 26 January 2022

**For citation:** Khaliluev MR, Kharchenko PN, Ovchinnikova VN. *Agrobacterium*-mediated transformation of potato *Solanum tuberosum* L. with constructs carrying the strong plant-derived promoter *pro-SmAMP1* from *Stellaria media* L. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):31—47. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-31-47

## Введение

Картофель *Solanum tuberosum* L., являясь одной из важнейших мировых продовольственных и технических культур, остро нуждается в создании сортов с комплексной устойчивостью к различным стрессовым воздействиям абиотической и биотической природы, а также в повышении продуктивности и улучшении качества товарной продукции. Наиболее эффективно этого можно достичь, используя в дополнение к традиционной селекции современные биотехнологические методы, в частности методы генетической трансформации растений. В настоящее время агробактериальная генетическая трансформация наиболее эффективна и широко используется для интеграции чужеродных генов в геном многих видов семейства Solanaceae, в т. ч. картофеля. Агробактериальная генетическая трансформация имеет важные преимущества перед прямыми методами введения чужеродной ДНК (баллистической трансформации и электропорации): относительную простоту метода и его экономичность, возможность интеграции сравнительно больших по размеру фрагментов чужеродной ДНК с небольшим числом копий инсерции трансгена в растительный геном и др. [1].

В исследованиях ряда авторов показано, что эффективность генетической трансформации картофеля, как и других важнейших сельскохозяйственных культур, зависит в равной степени от генотипа, типа экспланта [2, 3], штамма *Agrobacterium tumefaciens*, а также особенностей самой генетической конструкции, с помощью которой осуществляется этот процесс [4, 5]. Все это требует новых подходов

к совершенствованию методики трансформации и указывает на необходимость подбора факторов и условий, определяющих эффективность агробактериальной генетической трансформации.

Подбор генетической конструкции, обеспечивающей максимальный выход трансгенных растений, является важным этапом. Чаще всего при создании генетических конструкций для трансформации двудольных растений целевой репортерный и/или селективный гены находятся под контролем сильного регуляторного элемента — промотора 35S РНК вируса мозаики цветной капусты (*35SCaMV*) [6]. Он обеспечивает конститутивный и, как правило, высокий уровень экспрессии гетерологичных генов в растительном геноме, однако имеет ряд недостатков: возможный сайленсинг, транскрипционная инактивация, а также ограничения его использования для контроля экспрессии нескольких генов в одной генетической конструкции [7, 8]. В связи с этим поиск и последующее использование новых растительных промоторов при создании генетически модифицированных растений картофеля входит в число актуальных задач современной биотехнологии. В последние годы конститутивные, а также органо- и тканеспецифичные растительные промоторы находят все более широкое применение в различных прикладных и фундаментальных исследованиях в качестве эффективной альтернативы вирусным и бактериальным промоторам [9–13].

Ранее из звездчатки средней *Stellaria media* L. были изолированы две нуклеотидные последовательности промоторной области генов *pro-SmAMP1* и *pro-SmAMP2*, кодирующие антимикробные пептиды (АМП). Показано, что ряд делеционных вариантов этих промоторов обеспечивают высокий уровень экспрессии целевых генов в различных растениях. Так, например, в трансгенных растениях картофеля полный вариант промотора *pro-SmAMP2* размером 2120 п.н. обеспечивал высокий уровень экспрессии гена антимикробного пептида *pro-SmAMP2* [14]. При сравнительной оценке уровня экспрессии репортерного гена *uidA*, находящегося под контролем 5'-делеционных вариантов промоторов *pro-SmAMP1* и *pro-SmAMP2* в листьях гомозиготных линий табака поколения T2, продемонстрировано значительное превосходство обоих растительных промоторов по сравнению с *35SCaMV* [15, 16]. Промоторы генов АМП *pro-SmAMP1* и *pro-SmAMP2* обеспечивают высокий уровень как транзientной, так и стабильной экспрессии гетерологичных генов в различных растениях. При этом степень их гомологии составляет 64 % [17]. Это делает их удобным и перспективным инструментарием для достижения высокой экспрессии чужеродных генов в геноме различных сельскохозяйственных растений.

В последние десятилетия все большее внимание исследователей направлено на поиск и подбор промоторов для эффективной экспрессии маркерного и целевого генов. При этом в современной литературе приводятся крайне ограниченные экспериментальные данные, доказывающие, что выбор промотора не только определяет уровень экспрессии репортерного или селективного генов, но и оказывает существенное влияние на эффективность генетической трансформации. Так, в исследовании Prakash с соавторами [7] эффективность метода биолиственной трансформации кукурузы была существенно выше

в том случае, когда селективный ген *nptII*, позволяющий осуществлять отбор трансформированной ткани и регенерантов с помощью аминогликозидных антибиотиков (канамицина, паромомицина, неомицина и генетицина), находился под контролем конститутивного промотора гена актина-1 риса (*OsAct1*) по сравнению с *35SCaMV*. Схожие результаты были отмечены и при агробактериальной генетической трансформации. Значения частоты трансформации инбредной линии кукурузы В 104 были достоверно выше, когда селективный ген *aad-1*, обуславливающий устойчивость к гербицидам (2,4-дихлорфеноксисукусной кислоте и арилоксифеноксипропионату), находился под контролем растительных промоторов генов убиквитина-1 кукурузы *ZmUbi1* и *OsAct1* (43,8 и 41,4 % соответственно) по сравнению с вирусными. При этом эффективность трансформации при использовании промотора палочковидного вируса сахарного тростника (*SCBV*) и *35SCaMV* не превышала 5 и 25 % соответственно [8]. Представленные выше две независимые группы исследователей сделали вывод, что выбор промотора для селективных или репортерных генов является важным при разработке высокоэффективных протоколов генетической трансформации, поскольку от него зависит не только число полученных трансгенных растений, но и копияность трансгена [7, 8].

В настоящей работе мы изучили регенерационную активность и компетентность к *Agrobacterium*-опосредованной трансформации различных типов эксплантов (сегментов стеблей и листьев) картофеля сорта Удача при применении генетических конструкций, содержащих репортерные гены, кодирующие зеленый флуоресцентный белок (*gfp*) и  $\beta$ -глюкуронидазу (*uidA*), находящиеся под контролем различных 5'-делеционных вариантов промотора *pro-SmAMP1* из *S. media*.

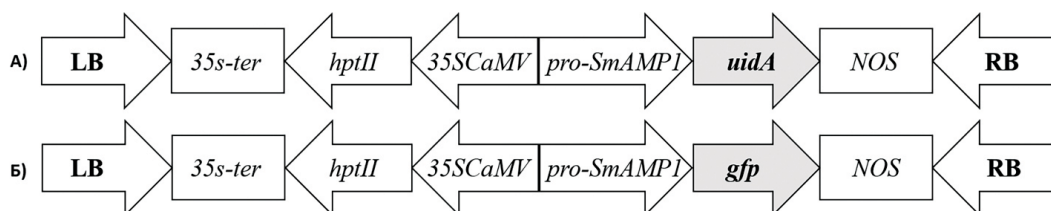
**Цель исследования** — оценка взаимного влияния типа экспланта картофеля сорта Удача и 5'-делеционных вариантов растительного промотора *pro-SmAMP1* на эффективность агробактериальной трансформации.

## Материалы и методы исследования

Для проведения агробактериальной трансформации в качестве эксплантов использовали листья и сегменты стебля, изолированные от 4–5-недельных растений картофеля сорта Удача. Донорные растения культивировали *in vitro* на модифицированной питательной среде, составленной по прописи Мурасиге — Скуга (МС), содержащей минеральные компоненты по МС [18], а также витамины: С (аскорбиновая кислота) — 1 мг/л, В1 (тиамин) — 1 мг/л, никотиновую кислоту — 1 мг/л, В6 (пиридоксин) — 1 мг/л. Кроме того, в состав питательной среды входили 0,1 мг/л  $\beta$ -индолилмасляной кислоты (ИМК), 2 % сахарозы и 0,7 % агара. Культивирование проводили в климатической камере WLR-351H (Sanyo, Япония) в следующих факторостатных условиях: 16/8 (день/ночь) фотопериод при освещенности  $50 \mu\text{Mm}^{-1}\text{s}^{-1}$  и температуре  $25/23 \pm 2$  °C (день/ночь). Прекультивацию эксплантов проводили в течение 7 сут. на среде МС с добавлением 0,2 мг/л  $\alpha$ -нафталинуксусной кислоты (НУК) и 3 мг/л 6-бензиламинопурина (6-БАП) в условиях, аналогичных для донорных растений.



В исследовании применяли четыре варианта генетических конструкций, сконструированных на основе генетической конструкции pCambia1381Z в качестве растительного экспрессионного вектора, в которых маркерный ген *uidA* находился под контролем различных 5'-делеционных вариантов *pro-SmAMP1* промотора, размер которых составлял -442, -675, -732 и -1196 п.н. относительно сайта инициации транскрипции соответственно [15]. Кроме того, в исследовании были использованы две векторные конструкции на основе вектора pCambia1302, которые содержат репортерный ген *gfp*, находящийся под контролем различных 5'-делеционных вариантов промотора *pro-SmAMP1* (-442 и -1196 п.н.). В состав Т-ДНК обеих генетических конструкций входит также селективный ген гигромицинофосфотрансферазы (*hptII*), обеспечивающий устойчивость трансгенных регенерантов к антибиотику гигромицину В (рис. 1). Генетические конструкции были использованы для трансформации компетентных клеток *A. tumefaciens* штамма AGL0 методом электропорации [19].



**Рис. 1.** Схематическое изображение Т-ДНК векторных конструкций pCambia1381Z (А) и pCambia1302 (Б), использованных в опытах по агробактериальной трансформации картофеля сорта Удача: *LB*, *RB* – соответственно левая и правая фланкирующие последовательности Т-ДНК-области; *35SCaMV*, *35S-ter* – промотор и терминатор 35S РНК вируса мозаики цветной капусты соответственно; *hptII* – ген, кодирующий гигромицинфосфотрансферазу у *Escherichia coli*; *pro-SmAMP1* – 5'-делеционные варианты промотора *pro-SmAMP1*, выделенный из *S. media*; *uidA* – маркерный ген, кодирующий β-глюкуронидазу, содержащий модифицированный интрон гена каталазы клещевины; *gfp* – маркерный ген, кодирующий зеленый флуоресцентный белок; *NOS* – терминатор гена нопалинсинтазы

**Fig. 1.** Schematic representation of T-DNA genetic constructs derived from the plant expression vectors pCambia1381Z (A) and pCambia1302 (B) used in experiments on *Agrobacterium*-mediated transformation: *LB*, *RB* – left and right flanking sequences of T-DNA, respectively; *35SCaMV* and *35S-ter* – promoter and terminator of 35S RNA of cauliflower mosaic virus, respectively; *hptII* – gene encoding hygromycin phosphotransferase in *Escherichia coli*; *pro-SmAMP1* – 5-deletion variants of the *pro-SmAMP1* promoter from *S. media*; *uidA* – β-glucuronidase reporter gene containing a modified intron of the castor catalase gene; *gfp* – gene encoding a green fluorescent protein; *NOS* – terminator of the nopalinsynthase gene

Генетическую трансформацию стеблевых и листовых эксплантов проводили по ранее разработанной методике [20]. Суспензию *A. tumefaciens* получали культивированием на жидкой среде LB без добавления антибиотиков на термостатируемом шейкере-инкубаторе с круговым вращением (частота



вращения — 200 об/мин) при температуре 24 °С. Полученную бактериальную суспензию, концентрация которой составляла  $\sim 10^8$  бактериальных клеток/мл, разбавляли жидкой средой МС в соотношении 1:10. Разбавленную агробактериальную суспензию объемом 1 мл равномерно распределяли в чашках Петри по поверхности культуральной среды МС, содержащей 0,2 мг/л НУК, 3,0 мг/л 6-БАП и 2,0 мг/л гибберелловой кислоты, и помещали прекультивированные экспланты. Данный состав регуляторов роста был использован на протяжении всего эксперимента. Сокультивирование эксплантов с *A. tumefaciens* проводили в течение 3 сут. в темноте при температуре 24 °С. Элиминацию *A. tumefaciens* осуществляли на питательной среде с добавлением 300 мг/л антибиотика тиментина (PhytoTechnology Laboratories, США). Через две недели к тиментину добавляли селективный антибиотик гигромицин В (PhytoTechnology Laboratories), постепенно увеличивая его концентрацию в среде. Первые 4 недели экспланты культивировали при 15 мг/л, следующие 4 недели — при 20 мг/л, заключительные 4 недели — при 25 мг/л, постепенно снижая концентрацию тиментина. Учет регенерации побегов на селективной среде проводили через каждые 4 недели культивирования. Устойчивые к 25 мг/л гигромицина В побеги отделяли от эксплантов и помещали на среду для корнеобразования: среда МС с добавлением 0,1 мг/л ИМК и 25 мг/л гигромицина В. Укорененные растения подвергали молекулярно-генетическому анализу.

Опыты проводили в 4-кратной повторности.

Препараты тотальной ДНК получали с использованием коммерческого набора реагентов «ДНК-ЭКСТРАН-3» («Синтол», Россия) согласно инструкции фирмы-производителя. Выделенную геномную ДНК использовали для постановки ПЦР с использованием различных комбинаций специфических праймеров (табл. 1).

Таблица 1

**Нуклеотидная последовательность праймеров, используемых для амплификации последовательностей маркерных и селективных генов *hptII*, *uidA* и *virE***

Ген	Нуклеотидная последовательность праймера (5'→3')	Размер ампликона, п.н.
<i>Vir E</i>	F-CGAATACATTCTCGTGCCTCAAACG	550
	R-TTTCGAGTCATGCATAATGCCTGAC	
<i>hptII</i>	F-TCTGATAGAGTTGGTCAAGACC	415
	R-CAAGGAATCGGTCAATACACTAC	
<i>pro-SmAMP1</i>	F-ACGGAATCCAATAACTTGTCTAGATTTTCAATAAG	481
	R-AGCCCATGGTTTCACTTGATTTTTTGTGACTAGC	

Примечание. п.н. — пар нуклеотидов; F, R — прямой и обратный праймеры соответственно.

The nucleotide sequence of primers used in PCR to amplify the *hptII*, *uidA*, and *virE* gene sequences, and the expected amplicon size

Gene	Gene Nucleotide sequence of the primer (5'→3')	Amplicon size, bp
<i>Vir E</i>	F-CGAATACATTCTCGTGCGTCAAACG	550
	R-TTTCGAGTCATGCATAATGCCTGAC	
<i>hptII</i>	F-TCTGATAGAGTTGGTCAAGACC	415
	R-CAAGGAATCGGTCAATACACTAC	
<i>pro-SmAMP1</i>	F-ACGGAATTCCAATAACTTGTCTAGATTTTCAATAAG	481
	R-AGCCCATGGTTTCACTTGATTTTTTGTGACTAGC	

Note. bp – base pairs; F, R – forward and reverse primers, respectively.

Реакционная смесь для ПЦР, объемом 20 мкл, была использована для ПЦР в амплификаторе MJ Mini Personal Thermal Cycler (Bio-Rad, США) в соответствии с профилем амплификации: 94 °C в течение 5 мин (общая денатурация); 35 повторяющихся циклов, состоящих из денатурации (94 °C — 30 с), отжига праймеров (60 °C в течение 30 с) и элонгации (72 °C в течение 40 с); а также финальной элонгации при 72 °C в течение 5 мин.

Электрофоретическое разделение продуктов амплификации осуществляли в 1 %-агарозном геле, приготовленном на 1x TAE-буфере с добавлением этидиум бромид (Хеликон, Россия) с использованием камеры Hoeffer, США. Размер ампликона определяли с помощью маркера молекулярного веса Gene Ruber 1 kb Plus DNA Ladder (Fermentas, США). Отрицательным и положительным контролем при проведении ПЦР служили препараты тотальной ДНК, полученной из контрольных растений картофеля сорта Удача и плазмидная ДНК, соответственно. Визуализацию ампликонов осуществляли в проходящем УФ-свете трансиллюминатора УВТ-1 («Биоком», Россия).

Статистическую обработку проводили, используя пакет Microsoft Excel 2007.

## Результаты исследования и обсуждение

Органогенез картофеля *in vitro*, как и других видов растений, зависит от генотипа донорного растения и типа экспланта [2, 3], и в каждом случае имеются свои собственные требования в отношении состава и концентраций регуляторов роста растений. Наиболее широко исследования по интеграции чужеродных генов в геном картофеля проводят на эксплантах листьев [21–23] и сегментах стеблей [2, 21, 24–26]. Данный факт лег в основу использования этих эксплантов в настоящем исследовании. Ранее было показано, что применение листовых эксплантов картофеля обеспечивает наибольшую эффективность агробактериальной трансформации [20]. В то же время Beaujean с соавторами [25] в своих экспериментах отдали предпочтение сегментам стеблей по сравнению с листьями в связи с их меньшей восприимчивостью к травматическим реакциям во время процедуры агробактериальной трансформации. Успешную генетическую трансформацию

картофеля с использованием в качестве эксплантов сегментов стеблей проводили также Ahmad с соавторами [26], изучая различные факторы, влияющие на эффективность агробактериальной трансформации картофеля.

Результаты, полученные в наших исследованиях, позволили оценить частоту регенерации двух наиболее часто применяемых типов эксплантов картофеля сорта Удача на регенерационной среде с различными концентрациями селективного антибиотика гигромицина В (15, 20 и 25 мг/л) (табл. 2). Установлено отсутствие достоверных различий между различными типами эксплантов по частоте регенерации побегов на разных этапах культивирования. В то же время были выявлены значительные различия по данному показателю при использовании различных вариантов генетических конструкций. Данный факт был установлен уже на начальном этапе культивирования, когда концентрация селективного агента в составе питательной среды составляла 15 мг/л. Наибольшая частота регенерации побегов из стеблевых эксплантов была отмечена при использовании генетической конструкции 1196 *uidA* (18,4 %), тогда как из листовых эксплантов — 1196 *uidA* и 442 *uidA* (18,2 и 18,8 % соответственно). С увеличением концентрации гигромицина В и числа пассажей данная тенденция сохранилась. Наименьшая частота регенерации побегов из обоих типов эксплантов на всех этапах культивирования отмечена в варианте с генетической конструкцией 732 *uidA*.

Увеличение концентрации гигромицина В до 20 и 25 мг/л привело к достоверному сокращению частоты регенерации побегов. Данный факт обусловлен неустойчивостью части регенерантов к высокой концентрации селективного агента. Полученные результаты свидетельствуют, что для отбора гигромицин-устойчивых побегов картофеля необходимо проводить более длительную селекцию на питательных средах с летальными для нетрансформированных побегов концентрациями гигромицина В. Подавляющее количество регенерантов, устойчивых к концентрации 20 мг/л гигромицина В, оставались устойчивыми и к большей концентрации селективного фактора (25 мг/л). Достоверные различия по частоте регенерации побегов после 12 недель культивирования эксплантов на селективной среде установлены между генетическими конструкциями 1196 *uidA* и 732 *uidA*, а также 1196 *uidA* и 657 *uidA*. В остальных случаях различия между вариантами были незначимы (табл. 2).

Таблица 2

**Зависимость регенерации побегов картофеля от типа экспланта и концентрации селективного антибиотика после агробактериальной трансформации различными генетическими конструкциями**

Вариант генетической конструкции	Эксплант	Регенерация побегов,%, за время культивирования, недели, при концентрации гигромицина В, мг/л		
		4 недели при 15 мг/л	4 недели при 15 мг/л и 4 недели при 20 мг/л	4 недели при 15 мг/л + 4 недели при 20 мг/л + 4 недели при 25 мг/л
1196 <i>uidA</i>	Стебель	18,4±3,6	8,4±2,1	8,4±2,3
	Лист	18,2±4,1	7,8±2,2	7,4±2,1

Вариант генетической конструкции	Эксплант	Регенерация побегов,%, за время культивирования, недели, при концентрации гигромицина В, мг/л		
		4 недели при 15 мг/л	4 недели при 15 мг/л и 4 недели при 20 мг/л	4 недели при 15 мг/л + 4 недели при 20 мг/л +4 недели при 25 мг/л
732 <i>uidA</i>	Стебель	11,5±2,9	2,1±0,7	2,1±0,7
	Лист	9,1±2,1	1,8±0,6	1,8±0,6
657 <i>uidA</i>	Стебель	14,1±3,0	3,6±1,5	3,0±1,3
	Лист	12,8±3,1	3,0±1,0	3,0±1,0
442 <i>uidA</i>	Стебель	15,2±3,1	4,0±1,7	3,8±1,6
	Лист	18,8±4,3	5,3±2,1	4,9±2,0
1196 <i>gfp</i>	Стебель	14,0±3,4	5,1±1,8	4,9±1,8
	Лист	14,3±2,9	4,8±1,5	4,8±1,5
442 <i>gfp</i>	Стебель	13,0±3,1	5,0±2,0	4,7±1,9
	Лист	11,9±3,2	4,1±1,5	4,1±1,5

Примечание. В таблице приведены средние значения и ошибка средней.

Table 2

### Dependence of potato shoot regeneration on explant type and selective antibiotic concentration after *Agrobacterium*-mediated transformation by various genetic constructs

Variant of genetic design	Explant	Shoot regeneration,%, cultivation time, weeks, concentration of hygromycin B, mg/l		
		4 weeks, 15 mg/l	4 weeks, 15 mg/l + 4 weeks, 20 mg/l	4 weeks, 15 mg/l + 4 weeks, 20 mg/l + 4 weeks, 25 mg/l
1196 <i>uidA</i>	stem	18,4±3,6	8,4±2,1	8,4±2,3
	leaf	18,2±4,1	7,8±2,2	7,4±2,1
732 <i>uidA</i>	stem	11,5±2,9	2,1±0,7	2,1±0,7
	leaf	9,1±2,1	1,8±0,6	1,8±0,6
657 <i>uidA</i>	stem	14,1±3,0	3,6±1,5	3,0±1,3
	leaf	12,8±3,1	3,0±1,0	3,0±1,0
442 <i>uidA</i>	stem	15,2±3,1	4,0±1,7	3,8±1,6
	leaf	18,8±4,3	5,3±2,1	4,9±2,0
1196 <i>gfp</i>	stem	14,0±3,4	5,1±1,8	4,9±1,8
	leaf	14,3±2,9	4,8±1,5	4,8±1,5
442 <i>gfp</i>	stem	13,0±3,1	5,0±2,0	4,7±1,9
	leaf	11,9±3,2	4,1±1,5	4,1±1,5

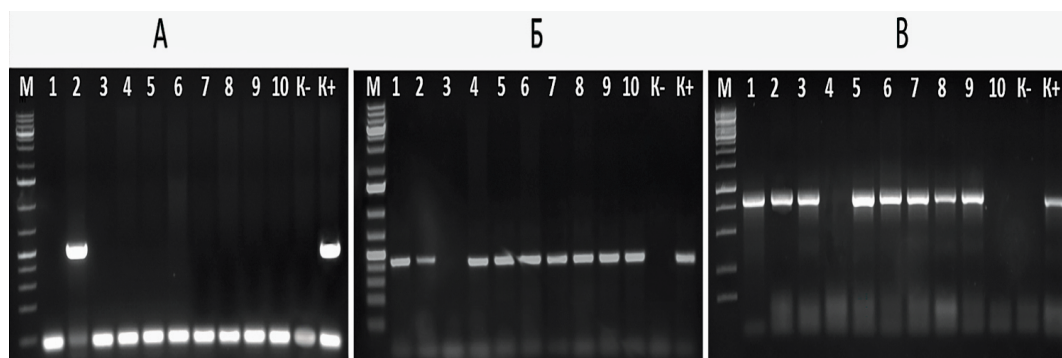
Note. The table shows the average values and standard error.

Существенных различий в эффективности регенерации разных видов эксплантов (сегментов стеблей и листовых высечек) не отмечено при всех вариантах генетических конструкций.

Следует отметить, что появление первых регенерантов из сегментов стебля наблюдали спустя 10 сут. культивирования после трансформации, тогда как из листовых эксплантов — несколько позже, через 15 сут. При дальнейшем культивировании среднее количество регенерировавших побегов на один стеблевой и листовой эксплант достигало 3,5 и 1,6 шт. соответственно.

Все отобранные на высоких концентрациях гигромицина В регенеранты имели нормальное развитие. Растений-альбиносов не отмечено ни в одном из вариантов. Регенеранты, прошедшие отбор и устойчивые к 25 мг/л гигромицина В, были пересажены на культуральную среду МС для индукции ризогенеза, содержащую 0,1 мг/л ИМК и 25 мг/л гигромицина В. Укоренение всех растений-регенерантов на селективной среде было отмечено через 2 недели после их перенесения на среду для корнеобразования.

Впоследствии из листьев укорененных гигромицин-устойчивых линий картофеля была экстрагирована ДНК для проведения ПЦР-анализа. Для подтверждения трансгенного статуса методом ПЦР были проанализированы 64 независимые гигромицин-устойчивые линии картофеля, регенерированные из сегментов стебля и настоящих листьев (рис. 2).



**Рис. 2.** Электрофореграммы продуктов амплификации фрагментов генов *VirE* (а), *pro-SmAMP1* (б) и *hptII* (в): М — молекулярный маркер Gene Ruler 1kb DNA Ladder; 1...10 — независимые гигромицин-устойчивые регенеранты; К- — отрицательный контроль (нетрансформированное растение картофеля); К+ — положительный контроль (плазмидная ДНК)

**Fig. 2.** Electrophoregrams of the amplification products for *VirE* (a), *pro-SmAMP1* (б), and *hptII* (в) genes by PCR: M — molecular weight marker (Gene Ruler 1kb DNA Ladder); 1...10 — independent hygromycin-resistant regenerants; K- — negative control (untransformed potato plant); K+ — positive control (plasmid DNA)

Все отселектированные в условиях *in vitro* регенеранты были проверены на отсутствие контаминации агробактерией. Амплификация последовательности гена *Vir E* отмечена у одного из 64 растений (см. рис. 2, а). Наличие целевого

фрагмента, соответствующего размеру амплифицированного участка для 5'-делеционных вариантов промотора *pro-SmAMP1*, было установлено во всех случаях, кроме одного растения-регенеранта (см. рис. 2, б). Применение специфичных праймеров на последовательность фрагмента селективного гена *hptII* позволило выявить ампликон ожидаемого размера, соответствующий положительному контролю, только у части растений-регенерантов (см. рис. 2, в). Это можно объяснить inserцией не всей области Т-ДНК, а только ее части.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в зависимости от вида генетической конструкции эффективность генетической трансформации, оцениваемой по наличию селективного и репортерного генов, варьировала в пределах 2,0...6,6 % и 2,0...7,2 % соответственно (табл. 3). При этом минимальная и максимальная эффективность трансформации была отмечена в случае генетических конструкций 657 *uidA* и 1196 *uidA* соответственно. Наблюдали повышение частоты интеграции как селективного, так и репортерного генов при использовании генетических конструкций с увеличением размера 5'-делеционных вариантов промотора *pro-SmAMP1* от 675 до 1196 п. н. (за исключением 442 п. н.).

Таблица 3

**Эффективность *Agrobacterium*-опосредованной трансформации картофеля сорта Удача при использовании генетических конструкций, содержащих различные 5'-делеционные варианты промотора *pro-SmAMP1***

Вариант генетической конструкции	Количество эксплантов*, шт.		Эффективность трансформации, %	
	Общее	Устойчивых к селективному антибиотику	Селективный ген	Репортерный ген
1196 <i>uidA</i>	166	12	6,6	7,2
732 <i>uidA</i>	187	8	3,7	4,3
657 <i>uidA</i>	253	5	2,0	2,0
442 <i>uidA</i>	167	5	3,0	3,0
1196 <i>gfp</i>	185	9	4,9	4,9
442 <i>gfp</i>	183	8	4,4	4,4

Примечание. \* – суммарное количество листовых и стеблевых эксплантов.

Table 3

**Efficiency of *Agrobacterium*-mediated transformation of potato cv. Udacha using genetic constructs containing different 5'-deletion variants of *pro-SmAMP1* promoter**

Genetic construct design	Explant number*		Transformation efficiency, %	
	Total	Resistant to selective antibiotic	Selective gene	Reporter gene
1196 <i>uidA</i>	166	12	6,6	7,2
732 <i>uidA</i>	187	8	3,7	4,3
657 <i>uidA</i>	253	5	2,0	2,0
442 <i>uidA</i>	167	5	3,0	3,0
1196 <i>gfp</i>	185	9	4,9	4,9
442 <i>gfp</i>	183	8	4,4	4,4

Note: \* – total number of leaf and stem explants.

Выживаемость растений-регенерантов, не содержащих в геноме селективный ген *hptII*, связана с тем, что в процессе продолжительного негативного отбора в условиях *in vitro* они приспособились к нахождению на среде с селективным антибиотиком (так называемые «ложные трансформанты» или «escapes»). Схожие результаты были ранее отмечены при проведении агробактериальной трансформации сои генетической конструкцией pCAMBIA1381Z-pro-SmAMP1-771, когда в качестве эксплантов использовали сегменты стебля. Так, только 50 % регенерантов, устойчивых к селективному антибиотику гигромицину В, содержали в геноме вставку гена *hptII* [27]. Высказываются предположения, что появление «ложных трансформантов» при проведении генетической трансформации векторными конструкциями, в которых селективный ген находится под контролем сильного промотора, может быть обусловлено перераспределением внутри растительной ткани фермента, определяющего устойчивость к селективному агенту, от трансформированных клеток к нетрансформированным [7]. Тем не менее, механизмы возникновения «ложных трансформантов» до конца не известны.

## Заключение

В результате серии экспериментов по агробактериальной генетической трансформации картофеля сорта Удача было установлено, что регенерация побегов и, соответственно, эффективность генетической трансформации не зависела от типа культивируемой растительной ткани (сегментов стеблей и листовых эксплантов). Напротив, регенерация побегов картофеля на селективной питательной среде в различные периоды культивирования, а также выход трансгенных растений зависели от генетической конструкции, используемой для трансформации. Так, при применении генетических конструкций на основе растительных экспрессионных бинарных векторов (pCAMBIA1381Z и pCAMBIA1302), в которых гены *uidA* или *gfp* соответственно находились под контролем различных 5'-делеционных вариантов промотора *pro-SmAMP1* из *S. media*, эффективность агробактериальной трансформации, оцениваемой по наличию репортерного гена, варьировала от 2,0 до 7,2 %. Полученные результаты согласуются с ранее проведенными немногочисленными исследованиями, в которых отмечено, что выбор промотора определяет не только уровень экспрессии маркерных генов, но и оказывает существенное влияние на эффективность генетической трансформации. Различные 5'-делеционные варианты растительного промотора *pro-SmAMP1* могут служить эффективной альтернативой вирусным промоторам при проведении экспериментов как фундаментального, так и прикладного характера.

## Библиографический список

1. Пермякова Н.В., Шумный В.К., Дейнеко Е.В. Агробактериальная трансформация растений: перенос фрагментов векторной ДНК в растительный геном // Генетика. 2009. Т. 45. № 3. С. 305—317.



2. Gustafson V., Mallubhotla S., MacDonnell D., Sanyal-Bagchi M., Chakravarty D., Wang-Pruski G., Rotwell C., Audy p., Koever D., Siahbazi M., Flinn b., Regan S. Transformation and plant regeneration from leaf explants of *Solanum tuberosum* L. cv. «Shepody» // *Plant Cell, Tiss. and Organ Cult.* 2006. Vol. 85. № 3. P. 361—366. doi: 10.1007/s11240-006-9085-3
3. Vinterhaiter D., Zdraković-Korać, Mitić N., Dragičević I., Cingel A., Raspor M., Ninković S. Protocols for Agrobacterium-mediated transformation of potato // *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology.* Global Science Books. 2008. Vol. 2. № 1. P. 1—15.
4. Jin S., Komari T., Gordon M.P., Nester E.W. Genes responsible for the supervirulence phenotype of *Agrobacterium tumefaciens* A281 // *J. Bacteriol.* 1987. Vol. 169. № 10. P. 4417—4425. doi: 10.1128/jb.169.10.4417-4425.1987
5. Horsch R.B., Klee H.J., Stachel S., Winans S.C., Nester E.W., Rogers S.G., Fraley R.T. Analysis of *Agrobacterium tumefaciens* virulence mutants in leaf discs // *Proceed. Nat. Acad. Sci.* 1986. Vol. 83. № 8. P. 2571—2575. doi: 10.1073/pnas.83.8.2571
6. Shah S.H., Jan S.A., Ahmad N., Khan S.U., Kumar T., Iqbal A., Nasir F., Noman M., Ali U., Ali U.A. Use of different promoters in transgenic plant development: current challenges and future perspectives // *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 2015. Vol. 15. № 4. P. 664—675. doi: 10.5829/idosi.ajeas.2015.15.4.12591
7. Prakash N.S., Prasad V., Chidambaram T.P., Cherian S., Jayaprakash T., Dasgupta S., Wang Q., Mann M.T., Spencer T.M., Boddupalli R.S. Effect of promoter driving selectable marker on corn transformation // *Transgenic Research.* 2008. Vol. 17. № 4. P. 695—704.
8. Beringer J., Chen W., Garton R., Sardefai N., Wang p.-H., Zhou N., Gupta M., Wu H. Comparison of the impact of viral and plant-derived promoters regulating selectable marker gene on maize transformation and transgene expression // *Plant Cell Rep.* 2017. Vol. 36. № 4. P. 519—528. doi: 10.1007/s00299-017-2099-y
9. Grunennvaldt R.L., Degenhardt-Goldbach J., Gerhardt I.R., Quoirin M. Promoters Used in Genetic Transformation of Plants // *Res. J. Biol. Sci.* 2015. Vol. 10. № 1—2. P. 1—9.
10. Saranya M., Kanchana M. Promoter diversity in plants—a review // *Int. J. Appl. Adv. Sci. Res.* 2016. Vol. 1. № 1. P. 209—217.
11. Jiang P., Zhang K., Ding Z., He Q., Li W., Zhu S., Cheng W., Zhang R., Li K. Characterization of a strong and constitutive promoter from the Arabidopsis serine carboxypeptidase-like gene AtSCPL30 as a potential tool for crop transgenic breeding // *BMC Biotechnol.* 2018. Vol. 18. № 1. P. 59. doi: 10.1186/s12896-018-0470-x
12. Smirnova O.G., Ibragimova S.S., Kochetov A.V. Simple database to select promoters for plant transgenesis // *Transgenic Res.* 2012. Vol. 21. № 2. P. 429—437. doi: 10.1007/s11248-011-9538-2
13. Smirnova O.G., Kochetov A.V. Choice of the Promoter for Tissue and Developmental Stage-Specific Gene Expression // *Methods. Mol Biol.* 2020. Vol. 2124. P. 69—106. doi: 10.1007/978-1-0716-0356-7\_4
14. Ветчинкина Е.М., Комахина В.В., Высоцкий Д.А., Зайцев Д.В., Смирнов А.Н., Бабаков А.В., Комахин Р.А. Экспрессия растительного гена антимикробных пептидов *pro-SmAMP2* повышает устойчивость трансгенных растений картофеля к возбудителям альтернариоза и фузариоза // *Генетика.* 2016. Т. 52. № 9. С. 1055—1068. doi: 10.7868/S0016675816080142
15. Высоцкий Д.А., Стрельникова С.Р., Ефремова Л.Н., Ветчинкина Е.М., Бабаков А.В., Комахин Р.А. Структурно-функциональный анализ нового растительного промотора *pro-SmAMP1* из *Stellaria media* // *Физиология растений.* 2016. Т. 63. № 5. С. 705—715. doi: 10.7868/S0015330316050183
16. Komakhin R.A., Vysotskii D.A., Shukurov R.R., Voblikova V.D., Komakhina V.V., Strelnikova S.R., Vetchinkina E.M., Babakov A.V. Novel strong promoter of antimicrobial peptides gene *pro-SmAMP2* from chickweed (*Stellaria media*) // *BMC Biotechnology.* 2016. Vol. 16. № 1. P. 43. doi: 10.1186/s12896-016-0273-x
17. Маджарова Н.В., Казакова К.А., Стрельникова С.Р., Снычева О.А., Ветчинкина Е.М., Ефремова Л.Н., Высоцкий Д.А., Бабаков А.В., Комахин Р.А. Промоторы *pro-SmAMP1* и *pro-SmAMP2* из дикорастущего растения *Stellaria media* для биотехнологии двудольных растений // *Физиология растений.* 2018. Т. 65. № 5. С. 388—400. doi: 10.1134/S0015330318050202
18. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // *Phys. Plantar.* 1962. Vol. 15. P. 473—497. doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
19. Weigel D., Glazebrook J. Transformation of *Agrobacterium* using electroporation // *CSH protocols.* 2006. Vol. 7. P. 1—17. doi: 10.1101/pdb.prot4665
20. Данилова С.А., Кузнецов В.В., Долгих Ю.И. Новый эффективный метод генетической трансформации кукурузы с использованием агробактериального газона // *Физиология растений.* 2009. Т. 56. № 2. С. 285—290.



21. Khatun A., Hasan M.M., Bachchu M.A.A., Moniruzzaman M., Nasiruddin R.M. Agrobacterium-mediated genetic transformation of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. Cardinal and Heera // *The Agriculturists*. 2012. Vol. 10. № 1. P. 81—86. doi: 10.3329/agric.v10i1.11068
22. Yadav N.R., Stiklen M.B. Direct and efficient plant regeneration from leaf explants of *Solanum tuberosum* L. cv. Bintje // *Plant Cell Rep.* 1995. Vol. 14. № 10. P. 645—647. doi: 10.1007/BF00232730
23. Trujillo C., Rodrigez-Arango E., Jaramillo S., Hoyos R., Orduz S., Arango R. One-step transformation of two Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena*) // *Plant Cell Rep.* 2001. Vol. 20. № 7. P. 637—641. doi: 10.1007/s002990100381
24. Kamrani M., Ebadi A., Shiri M. Effect of explant, genotype and plant growth regulators on regeneration and Agrobacterium-mediated transformation of potato // *J. Agronomy*. 2015. Vol. 14. № 4. P. 227—233. doi: 10.3923/ja.2015.227.233
25. Beaujean A., Sangwan R.S., Lecardonnel A., Sangwan-Norreel B.S. Agrobacterium-mediated transformation of three economically important potato cultivars using sliced internodal explants: an efficient protocol of transformation // *J. Exper. Bot.* 1998. Vol. 49. № 326. P. 1589—1595. doi: 10.1093/jexbot/49.326.1589
26. Ahmad M.Z., Hussain I., Muhammad A., Shaikat Ali, Ghulam, Muhammad Ali, Sohaib Roomi, Muhammad Amir Zia, Amir Ijaz. Factors affecting Agrobacterium-mediated transformation of rice chitinase gene on *Solanum tuberosum* L // *African J. of Biotechnol.* 2012. Vol. 11. № 41. P. 9716—9723. doi: 10.5897/AJB11.1961
27. Варламова Н.В., Родионова М.А., Ефремова Л.Н., Харченко П.Н., Высоккий Д.А., Халилуев М.Р. Индукция непрямого органогенеза побегов сои *Glucine max* (L.) Merr. из сегментов стебля для применения в качестве эксплантов при агробактериальной трансформации // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 3. С. 521—530. doi: 10.15389/agrobiology.2018.3.521rus

## References

1. Permyakova NV, Shumnyi VK, Deineko EV. Agrobacterium-mediated transformation of plants: Transfer of vector DNA fragments in the plant genome. *Russian Journal of Genetics*. 2009; 45(3):266—275. doi: 10.1134/S 1022795409030028
2. Gustafson V, Mallubhotla S, MacDonnell D, Sanyal-Bagchi M, Chakravarty D, Wang-Pruski G, et al. Transformation and plant regeneration from leaf explants of *Solanum tuberosum* L. cv. ‘Shepody’. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2006; 85(3):361—366. doi: 10.1007/s11240—006—9085—3
3. Vinterhaiter D, Zdraković-Korać, Mitić N, Dragičević I, Cingel A, Raspor M, et al. Protocols for Agrobacterium-mediated transformation of potato. In: *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology. Global Science Books*. 2008. p.1—15.
4. Jin SG, Komari T, Gordon MP, Nester EW. Genes responsible for the supervirulence phenotype of *Agrobacterium tumefaciens* A281. *J Bacteriol.* 1987; 169(10):4417—4425. doi: 10.1128/jb.169.10.4417—4425.1987
5. Horsch RB, Klee HJ, Stachel S, Winans SC, Nester EW, Rogers SG, et al. Analysis of *Agrobacterium tumefaciens* virulence mutants in leaf discs. *Proceed Nat Acad Sci.* 1986; 83(3):2571—2575. doi: 10.1073/pnas.83.8.2571
6. Shah SH, Jan SA, Ahmad N, Khan SU, Kumar T, Iqbal A, et al. Use of different promoters in transgenic plant development: current challenges and future perspectives. *Am Eurasian J Agric Environ Sci.* 2015; 15(4):664—675. doi: 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.4.12591
7. Prakach NS, Prasad V, Chidambaram TP, Cherian S, Jayaprakash T, Dasgupta S, et al. Effect of promoter driving selectable marker on corn transformation. *Transgenic Research.* 2008; 17(4):695—704. doi: 10.1007/s11248—007—9149—0
8. Beringer J, Chen W, Garton R, Sardefai N, Wang PH, Zhou N, et al. Comparison of the impact of viral and plant-derived promoters regulating selectable marker gene on maize transformation and transgene expression. *Plant Cell Rep.* 2017; 36(4):519—528. doi: 10.1007/s00299—017—2099-y
9. Grunennvaldt RL, Degenhardt-Goldbach J, Gerhardt IR, Quoirin M. Promoters used in genetic transformation of plants. *Res J Biol Sci.* 2015; 10(1—2):1—9.
10. Saranya M, Kanchana M. Promoter diversity in plants — a review. *Int J Appl Adv Sci Res.* 2016; 1(1):209—217.
11. Jiang P, Zhang K, Ding Z, He Q, Li W, Zhu S, et al. Characterization of a strong and constitutive promoter from the *Arabidopsis* serine carboxypeptidase-like gene AtSCPL30 as a potential tool for crop transgenic breeding. *BMC Biotechnol.* 2018; 18(1):59. doi: 10.1186/s12896—018—0470-x
12. Smirnova OG, Ibragimova SS, Kochetov AV. Simple database to select promoters for plant transgenesis. *Transgenic Res.* 2012; 21(2):429—437. doi: 10.1007/s11248—011—9538—2

13. Smirnova OG, Kochetov AV. Choice of the promoter for tissue and developmental stage-specific gene expression. In: Rustgi S, Luo H. (eds.) *Biolistic DNA Delivery in Plants. Methods in Molecular Biology*, vol 2124. Humana, New York; 2020. p.69–106. doi: 10.1007/978-1-0716-0356-7\_4
14. Vetchinkina EM, Komakhina VV, Vysotskii DA, Babakov AV, Komakhin RA, Zaitsev DV, et al. Expression of plant antimicrobial peptide pro-SmAMP2 gene increases resistance of transgenic potato plants to *Alternaria* and *Fusarium* pathogens. *Russian Journal of Genetics*. 2016; 52(9):939–951. doi: 10.1134/S1022795416080147
15. Vysotskii DA, Strelnikova SR, Efremova LN, Vetchinkina EM, Babakov AV, Komakhin RA. Structural and functional analysis of new plant promoter pro-SmAMP1 from *Stellaria media*. *Russian J Plant Physiol*. 2016; 63(5):663–672. doi: 10.1134/S1021443716050174
16. Komakhin RA, Vysotskii DA, Shukurov RR, Voblikova VD, Komakhina VV, Strelnikova SR, et al. Novel strong promoter of antimicrobial peptides gene pro-SmAMP2 from chickweed (*Stellaria media*). *BMC Biotechnology*. 2016; 16(1):43. doi: 10.1186/s12896-016-0273-x
17. Madzharova NV, Kazakova KA, Strelnikova SR, Snycheva OA, Vetchinkina EM, Efremova LN, et al. Promoters pro-SmAMP1 and pro-SmAMP2 from Wild Plant *Stellaria media* for the Biotechnology of Dicotyledons. *Russian J Plant Physiol*. 2018; 65(5):750–761. doi: 10.1134/S1021443718040040
18. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Phys Plantar*. 1962; 15:473–497.
19. Weigel D, Glazebrook J. Transformation of *Agrobacterium* using electroporation. *CSH protocols*. 2006; 7:1–17. doi: 10.1101/pdb.prot4665
20. Danilova SA, Kuznetsov VV, Dolgikh YI. A novel efficient method for maize genetic transformation: usage of agrobacterial monolayer. *Russian J Plant Physiol*. 2009; 56(2):258–263. doi: 10.1134/S1021443709020150
21. Khatun A, Hasan MM, Bachchu MAA, Moniruzzaman M, Nasiruddin RM. *Agrobacterium*-mediated genetic transformation of potato (*Solanum tuberosum* L.) var. Cardinal and Heera. *The Agriculturists*. 2012; 10(1):81–86. doi: 10.3329/AGRIC.V10I1.11068
22. Yadav NR, Stiklen MB. Direct and efficient plant regeneration from leaf explants of *Solanum tuberosum* L. cv. Bintje. *Plant Cell Rep*. 1995; 14(10):645–647. doi: 10.1007/BF00232730
23. Trujillo C, Rodrigez-Arango E, Jaramillo S, Hoyos R, Orduz S, Arango R. One-step transformation of two Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena*). *Plant Cell Rep*. 2001; 20(7):637–641. doi: 10.1007/s002990100381
24. Kamrani M, Ebadi A, Shiri M. Effect of explant, genotype and plant growth regulators on regeneration and *Agrobacterium*-mediated transformation of potato. *J Agronomy*. 2015; 14(4):227–233. doi: 10.3923/ja.2015.227.233
25. Beaujean A, Sangwan RS, Lecardonnell A, Sangwan-Norreel BS. *Agrobacterium*-mediated transformation of three economically important potato cultivars using sliced internodal explants: an efficient protocol of transformation. *J Exper Bot*. 1998; 49(326):1589–1595. doi: 10.1093/jxb/49.326.1589
26. Ahmad MZ, Hussain I, Muhammad A, Ali S, Ali GM, Roomi S, et al. Factors affecting *Agrobacterium*-mediated transformation of rice chitinase gene in *Solanum tuberosum* L. *African J of Biotechnol*. 2012; 11(41):9716–9723. doi: 10.5897/AJB11.1961
27. Varlamova NV, Rodionova MA, Efremova LN, Kharchenko PN, Vysotskii DA, Khaliluev MR. Indirect shoot organogenesis of soybean *Glycine max* (L.) Merr. from stem segments and use of the explants for *Agrobacterium*-mediated transformation. *Agricultural Biology*. 2018; 53(3):521–530. doi: 10.15389/agrobiology.2018.3.521rus

#### Об авторах:

Халилуев Марат Рушанович — кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией клеточной инженерии растений, ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии, 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; доцент кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: marat131084@rambler.ru  
ORCID0000-0001-7371-8900

*Харченко Петр Николаевич* — доктор биологических наук, академик РАН; научный руководитель, ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии, 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: kharchenko@iab.ac.ru  
ORCID 0000–0001–5074–0531

*Овчинникова Вера Николаевна* — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной инженерии растений, ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии, 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: vera.ovchinnikova.1957@mail.ru  
ORCID 0000–0003–0839–2048

#### **About authors:**

*Khaliluev Marat Rushanovich* — Candidate of biological sciences, Assistant professor, head of Plant cell engineering laboratory, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; Assistant professor, Biotechnology Department, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: marat131084@rambler.ru  
ORCID 0000–0001–7371–8900

*Kharchenko Pyotr Nikolaevich* — Academician of the Russian Academy of Sciences; Scientific Director, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: kharchenko@iab.ac.ru  
ORCID 0000–0001–5074–0531

*Ovchinnikova Vera Nikolaevna* — Candidate of biological sciences, Senior researcher, Plant cell engineering Laboratory, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: vera.ovchinnikova.1957@mail.ru  
ORCID 0000–0003–0839–2048



## Защита Растений Plant protection

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-48-61  
УДК 57.065

Research article / Научная статья

### Molecular Analysis of Parasitoid Flies Tachinidae

Elhashash Arafa 

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation  
Plant Protection Research Institute, Agricultural Research center, Giza, Egypt  
✉ [Arafa.elhashash@yahoo.com](mailto:Arafa.elhashash@yahoo.com)

**Abstract.** The parasitoids from Tachinidae family have important role in biological control; nevertheless, the phylogenetic relationships of supra genera groups are poorly studied. Here, we present phylogenetic analyses of the family based on molecular data. 73 species of parasitoid flies belonging to 30 tachinid genera, including the four currently recognized subfamilies (Dexiinae, Exoristinae, Phasiinae, Tachininae) and 20 tribes were analyzed in the molecular study. The Tachinidae are reconstructed as a monophyletic assemblage based on morphological data and with four nonhomoplasious apomorphies (synapomorphies). Monophyly is well supported by a bootstrap value. Our morphological analysis generally supports the subfamily grouping Dexiinae + Phasiinae, while Tachininae + Exoristinae is not supported as one group, and with only the Exoristinae and the Phasiinae reconstructed as monophyletic assemblages. The Dexiinae, which were previously considered a well-established monophyletic assemblage (except for few studies), are reconstructed as polyparaphyletic with respect to the Phasiinae. The Tachininae are reconstructed as a paraphyletic grade, while monophyly of Exoristinae was recovered except genus *Admontia* Brauer & Bergenstamm, which arose within subfamily Tachininae. In contrast to molecular analysis, all subfamilies are polyparaphyletic groups in which they interact with each other, with the exception of Phasiinae, which includes most of its taxa in a monophyletic group.

**Keywords:** Analysis, Molecular, Morphology, Tachinidae

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interests.

**Acknowledgement.** The researcher (Arafa Elhashash) is funded by a fellowship under a joint (executive) program between the Arab Republic of Egypt and the Russian Federation.

**Author's contribution.** The author of this research paper has directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. The author has read and approved the final version submitted.

---

© Arafa Elhashash, 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Article history:** Received: 26 December 2021. Accepted: 21 February 2022

**For citation:** Arafa Elhashash. Molecular Analysis of Parasitoid Flies Tachinidae. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):48—61. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-48-61

## Introduction

Tachinidae are characterized as among the most diverse families of Diptera in characters, colors and behavior, in addition to the hosts. This family counts about 10 000 species [1] and is composed of four subfamilies (Phasiinae, Dexiinae, Tachininae and Exoristinae) including nearly 60 tribes [2, 3]. At least 15 orders of Arthropoda are hosts by all known tachinid species that considered as internal parasitoids of insects or other arthropods [1]. However, the most of tachinid species parasitize holometabolous insect larvae (Lepidoptera, Coleoptera, and Hymenoptera) or adult beetles, as well as true bugs [1, 2]. As enemies of these primarily phytophagous groups, tachinids play important role in biological control.

## Materials and methods

Tachinids were obtained by hand collecting and malaise trap from Russia and Egypt, and one species from Panama. Tachinidae were sampled to provide representative specimens (A total of 120 specimens were analyzed) of the four subfamilies (Dexiinae, Exoristinae, Phasiinae, Tachininae), and 30 genera of 20 tribes, and out-group based on previous works we selected the studied taxa [2, 4–7].

We collected nearly all the sequences of COI gene (mDNA) for tachinid species that opposite the genera which we brought from Russia and Egypt. They were composed of 73 nucleotide sequences collected from NCBI with Accession numbers (table 1). We used COI gene in this study to compare its ability as a traditional marker for solving the cladistic relationships within the radiative family Tachinidae with the recent studies that used new markers, which revealed more of these relationships for this family. COI gene was used only once but very few species of Tachinidae family were used for phylogeny. Alignment Sequences and analysis were performed by MEGAX program [8].

Table 1

### Nucleotide sequences that collected from NCBI<sup>1</sup> and analyzed in this study

Species	Accession number	Number of base pairs	Link (URL)
<i>Estheria petiolata</i>	KX844428	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844428.1/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844428.1/</a>
<i>Rondania nr. dimidiata</i>	KX843735	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843735">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843735</a>

<sup>1</sup> Nucleotide. Search database. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417303>

Continuation of the table 1

Species	Accession number	Number of base pairs	Link (URL)
<i>Athrycia cinerea</i>	KR 395891	585 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR395891">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR395891</a>
<i>Thelaira nigripes</i>	KX844342	622 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844342">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844342</a>
<i>Thelaira americana</i>	HM417100	654 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417100">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417100</a>
<i>Thelaira solivaga</i>	KX844207	620 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844207">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844207</a>
<i>Voria erasmocoronadoi</i>	MF325369	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MF325369">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MF325369</a>
<i>Voria sp.</i>	KR 386101	579 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR386101">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR386101</a>
<i>Admontia degeerioides</i>	JN 302070	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN302070">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN302070</a>
<i>Admontia grandicornis</i>	KR 621021	555 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR621021">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR621021</a>
<i>Bactromyia aurulenta</i>	MG475545	516 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MG475545">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MG475545</a>
<i>Prooppia crassiseta</i>	HQ581756	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ581756">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ581756</a>
<i>Drino sp.</i>	HM882180	521 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM882180">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM882180</a>
<i>Elodia ambulatoria</i>	KX844551	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844551">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844551</a>
<i>Cylindromyia bicolor</i>	MN 868900	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868900">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868900</a>
<i>Cylindromyia rufipes</i>	MN 868879	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868879">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868879</a>
<i>Cylindromyia intermedia</i>	MK660720	312 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MK660720">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MK660720</a>
<i>Cylindromyia fumipennis</i>	HQ945071	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ945071">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ945071</a>
<i>Gymnosoma nudifrons</i>	KP044778	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KP044778">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KP044778</a>
<i>Ectophasia crassipennis</i>	MN 868783	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868783">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868783</a>
<i>Phasia aurulans</i>	JN 310367	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN310367">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN310367</a>
<i>Phasia mesnili</i>	KX844068	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844068">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844068</a>
<i>Phasia pusilla</i>	MN 868790	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868790">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN868790</a>
<i>Phasia punctigera</i>	HM417303	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417303">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417303</a>
<i>Phasia aurulans</i>	KM571524	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KM571524">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KM571524</a>
<i>Phasia obesa</i>	JN 310368	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN310368">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN310368</a>
<i>Leucostoma sp.</i>	KP047351	593 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KP047351">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KP047351</a>

Continuation of the table 1

Species	Accession number	Number of base pairs	Link (URL)
<i>Leucostoma simplex</i>	KX843880	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843880">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843880</a>
<i>Leucostoma tetraptera</i>	KX843764	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843880">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843880</a>
<i>Leucostoma gravipes</i>	KR 520627	629 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 520627">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 520627</a>
<i>Leucostoma meridianum</i>	KX843930	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843930">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843930</a>
<i>Macquartia nudigena</i>	KX844477	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844477">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844477</a>
<i>Macquartia dispar</i>	JN 298651	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN 298651">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN 298651</a>
<i>Macquartia tessellum</i>	KY 846615	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KY 846615">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KY 846615</a>
<i>Macquartia viridana</i>	KX844333	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844333">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844333</a>
<i>Mintho rufiventris</i>	KX843818	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843818">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843818</a>
<i>Nemoraea pellucida</i>	KX844529	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844529">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844529</a>
<i>Peribaea setinervis</i>	KY 421538	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KY 421538">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KY 421538</a>
<i>Peribaea hertingi</i>	KX844508	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844508">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844508</a>
<i>Peribaea setinervis</i>	KX844049	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844049">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844049</a>
<i>Peribaea tibialis</i>	KX843900	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843900">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843900</a>
<i>Siphona grandistylum</i>	KX844528	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844528.1/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844528.1/</a>
<i>Siphona hokkaidensis</i>	HM431957	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM431957">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM431957</a>
<i>Siphona sonorensis</i>	JF871072	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JF871072">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JF871072</a>
<i>Siphona plusiae</i>	HM417418	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417418">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM417418</a>
<i>Actia nr. cinerea</i>	JF271139	657 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JF271139">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JF271139</a>
<i>Actia interrupta</i>	KR 395397	588 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 395397">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 395397</a>
<i>Actia diffidens</i>	KR 394266	549 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 394266">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 394266</a>
<i>Loewia sp.</i>	KR 393520	562 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 393520">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 393520</a>
<i>Loewia foeda</i>	KR 667561	589 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 667561">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KR 667561</a>
<i>Loewia erecta</i>	KX844484	630 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844484">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844484</a>
<i>Loewia brevifrons</i>	KX844315	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844315">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844315</a>



Ending of the table 1

Species	Accession number	Number of base pairs	Link (URL)
<i>Loewia adjuncta</i>	KX843701	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843701">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843701</a>
<i>Synactia parvula</i>	KX844364	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844364">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844364</a>
<i>Bithia modesta</i>	MG968012	532 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MG968012">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MG968012</a>
<i>Bithia acanthophora</i>	KX844149	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844149">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844149</a>
<i>Bithia spreta</i>	KX843739	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843739">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843739</a>
<i>Strongygaster celer</i>	KP046934	635 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KP046934">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KP046934</a>
<i>Strongygaster sp.</i>	JF867537	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JF867537">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JF867537</a>
<i>Strongygaster triangulifera</i>	HM412619	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM412619">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HM412619</a>
<i>Nowickia alpina</i>	KX843975	590 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843975">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX843975</a>
<i>Nowickia ferox</i>	KX844164	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844164">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844164</a>
<i>Nowickia marklini</i>	MF836056	588 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MF836056">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MF836056</a>
<i>Nowickia sp.</i>	KM571428	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KM571428">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KM571428</a>
<i>Dexiosoma caninum</i>	JN 310385	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN 310385">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/JN 310385</a>
<i>Microphthalma obsoleta</i>	HQ945084	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ945084">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ945084</a>
<i>Microphthalma disjuncta</i>	HQ583135	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ583135">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ583135</a>
<i>Microphthalma europaea</i>	KX844102	658 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844102">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KX844102</a>
<i>Calliphora vomitoria (outgroup)</i>	AY 536643	414 bp	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/AY 536643">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/AY 536643</a>

## Results

This analysis includes 73 nucleotide sequences. 683 positions were the total of the final dataset. Phylogenetic trees were obtained by different methods (Maximum Likelihood «ML» and Neighbor Joining «NJ»).

The both analyses (ML and NJ) using COI gene showed that all subfamilies were polyparaphyletic except Phasiinae; most tribes used in this study (three from four tribes) were monophyletic; *Cylindromyiini* tribe and *Gymnosoma nudifrons* species were outside of the phasiin clade. Unlike all previous phylogenetic studies, we found that the Phasiinae were grouped as sisters to the Tachininae (in part). And all other subfamilies relationships contained diversity.

According to the ML analysis, dividing Tachinidae into two big clades was observed:



The first clade includes Tachininae (Siphonini + Nemoraeni + Macquartini + Tachinini) and Phasiinae (Phasiini + Gymnosomatini + (Leucostomatini + *Proopia crassiseta* (Aldrich & Webber, 1924))).

The second clade includes the subfamilies (remaining Tachininae, Dexiinae and Exoristinae) in addition to genus *Cylindromyia* Meigen, 1803 and species *Gymnosoma nudifrons*.

The first clade is divided into two groups:

1) Siphonini ((*Peribaea* Robineau-Desvoidy, 1863 + *Goniocera* Brauer & Bergenstamm, 1891) + *Siphona* Meigen, 1803);

2) Siphonini ((*Peribaea* + *Goniocera*) + *Siphona*) are monophyletic group except *Actia cinerea* (Macquart, 1834) and *Peribaea tibialis* (Robineau-Desvoidy, 1851), where the first is clustered with Exoristinae genera (BACTROMYIA Brauer & Bergenstamm, 1891 and *Admontia* Brauer & Bergenstamm, 1889) and Dexiinae, while the second is placed as a sister to *Nemoraea pellucida* (Meigen, 1824).

Phasiinae is divided into two groups:

The first genus composed of *Leucostoma* (Leucostomatini) + the exoristin species *Proopia crassiseta* (Erycini) that is originated within *Phasiinae*.

The second includes *Ectophasia crassipennis* (Fabricius, 1794) (Gymnosomatini) + genus *Phasia* Latreille, 1804 (Phasini).

Phasiinae are represented here by 5 genera (4 tribes), 3 tribes (Phasiini, Leucostomatini and Gymnosomatini by genus *Ectophasia* Townsend, 1912) clustered as monophyletic group. While the *Cylindromyia* (Cylindromyiini) is placed as a sister with (*Synactia* Villeneuve, 1915 and *Loewia* Egger, 1856) and *Gymnosoma* Meigen, 1803 is sister with Exoristinae (*Admontia* Brauer & Bergenstamm, 1889 and *Elodia* Robineau-Desvoidy, 1863). Genus *Phasia* (Phasini), *Leucostoma* Meigen, 1803 (Leucostomatini) and *Cylindromyia* (Cylindromyiini) are recovered (reconstructed) as monophyletic groups.

Tachininae (part) include:

1) Group genus *Nemoraea* (Nemoraeni) + Siphonin species *Peribaea tibialis*.

2) Group *Nowickia* Wachtl, 1894 (Tachinini) + *Macquartia* Robineau-Desvoidy, 1830 (Macquartini).

The genera *Macquartia* and *Nowickia* are weakly supported as sisters (29 %) and this cluster is placed as a sister to (*Nemoraea pellucida* + *Peribaea tibialis*).

The second variable clade splits into two groups.

The first group includes two assemblages:

*Strongygaster* Macquart, 1834 (Strongegasterini) + ((*Gymnosoma nudifrons* (Phasiinae) + *Admontia blanda* (Fallén, 1820)) + *Admontia egeerioides* (Coquillett, 1895)) + *Elodia ambulatoria* (Meigen, 1824)) the latter three Exoristinae.

Tachininae (part) (*Mintho* Robineau-Desvoidy, 1830 (Minthoini)) + (*Bithia* Robineau-Desvoidy, 1863 (Leskini)), where *Estheria petiolata* (Bonsdorff, 1866) (Dexiinae) and *Voria erasmocoronadoi* Fleming & Wood, 2017 (Dexiinae) are sisters to *Bithia*.

*Gymnosoma nudifrons* (Phasiinae) (this species is a sister with *Admontia blanda*) is originated within the exoristin two genera *Admontia* and *Elodia* and both (*Gymnosoma*

*nudifrons*, *Admontia* and *Elodia*) are clustered as a sister group to *Strongegaster* (Strongegasterini) that is placed in unstable subfamily, where morphologically in our study was a sister with Phasiinae as in Cerreti 2014. While that in [3] was positioned within Tachininae.

The Tachininae genus *Mintho rufiventris* (Fallén, 1817) is a sister with the cluster [*Voria erasmocoronadoi* (Voriini) + (*Estheria petiolata* (Dexiini) + *Bithia*)].

The second group is composed of:

A- [*Cylindromyia* (Phasiinae) + (*Loewia* (Loewini) + *Synactia* (Ernestini))] latter two belong to Tachininae) and cluster is a sister to the next assemblage.

B- The two species of *Thelaira* Robineau-Desvoidy, 1830 (voriini, Dexiinae) as a sister to the following two clades:

First: *Thelaira americana* Brooks, 1945 sister to [(*Voria* sp. + *Athrycia cinerea* (Coquillett, 1895)) (voriini, Dexiinae) + [(*Bactromyia aurulenta* (Meigen, 1824) + *Admontia grandiconis* (Zetterstedt, 1849) (the two Exoristinae)) + (*Nowickia marklini* Zetterstedt, 1838 + *Actia cinerea*)]].

Second: [*Microphthalma europaea* Egger, 1860 + (*Microphthalma* Macquart, 1844 (remaining species) + *Dexiosoma*)] this clade belongs to tribe Megaprosopini (Tachininae).

*Cylindromyia* (Cylindromyini) is a sister with the two genera *Loewia* and *Synactia* belonging to subfamily Tachininae. And, this assemblage is a sister to Dexiinae, Exoristinae and Tachininae taxa.

Voriini tribe taxa, *Thelaira Americana* sister to (*Voria* sp. + *Athrycia cineria*) are clustered in one group with the two Exoristinae species (*Bactromyia aurulenta* + *Admontia grandiconis*) and (*Bactromyia aurulenta* (Eryciini) + *Admontia grandiconis* (Blondellini)) and Tachininae species (*Nowickia marklini* (Tachinini) + *Actia cinerea* (Siphonini)).

In spite of Voriini was clustered in one clade (first clade), it is not monophyletic group (graduated), where *Thelaira solivaga* (Harris, 1780) and *Thelaira nigripes* (Fabricius, 1794) are sisters with remaining voriini, Exoristinae and Tachininae taxa and *Voria erasmocoronadoi* are placed in another clade.

The tribe Megaprosopini is moderately supported (72 %) as monophyletic and represented here by two genera *Microphthalma* and *Dexiosoma* Rondani, 1856, where *Microphthalma europea* is a sister with *Microphthalma* (remaining species) + *Dexiosoma caninum* (Fabricius, 1781), where *Microphthalma* is not clustered as monophyletic group.

NJ analysis method showed that the cluster [Siphonini + (*Mintho rufiventris* + (*Admontia* + *Gymnosoma nudifrons*))] is a sister to all rest of Tachinidae. *Strongygaster* + (*Thelaria* and *Elodia*) are grouped as a sister with Phasiinae and both are clustered as a sister group with the variable clade [Tachininae (Ermitini, Loewiini, Megaprosopini, *Actia cinerea* and *Nowickia marklini*)], [Exoristinae (*Bactromyia aurulenta* and *Admontia grandiconis*)], [Dexiinae (*Athrycia cinerea*, *Thelaira americana* and *Voria* sp.)] and [genus *Cylindromyia*]. This big group is placed as a sister with the remaining Tachininae where the two Dexiinae species (*Estheria petiolata* and *Voria erasmocoronadoi*) are originated within it.

## Discussion

It has long been proposed that the Tachinidae are a monophyletic clade depending on larval and adult characters [2, 9] and the current molecular studies nearly entirely reported this view [3, 5, 10, 15]. However, the works so far contain few outgroup taxa [4], unable to solve this issue.

The big split of subfamilies in recent studies grouping Phasiinae + Dexiinae and Exoristinae + Tachininae was strongly supported whether using morphological data in [2] or molecular by [3, 10, 15]. This hypothesis, first proposed by [10], reports other one differs from previous that clustered subfamilies containing (Phasiinae + Exoristinae) and (Dexiinae + Tachininae, [11]).

Our (molecular) dendrograms (figs. 2 and 3 show that all the subfamilies are polyparaphyletic except Phasiinae that is grouped as monophyletic group and confirmed by [2] and molecular by [1, 3, 10], exclusive placement of *Cylindromyia* (Fig. 2) is positioned as a sister to Tachininae taxa, weakly supported (17 % ML; 20 % NJ) and agrees with [10] in outside of this genus from Phasiinae. It is reported in [10] that the suggestion that *Cylindromyini* may not be included in Phasiinae, or that the subfamily itself may not be monophyletic group is novel. However, using greater taxon sampling in [2, 3, 15] revealed the monophyly of Phasiinae with *Cylindromyini*.

A potential solution would be to split the subfamily Phasiinae along these statistical lines and create a monophyletic Phasiinae and a new monophyletic subfamily *Cylindromyinae*. However, *Cylindromyini* shares many traits with Dexiinae and several dexiines have historically been placed in *Cylindromyini* (notably *Epigrimyia* Townsend, 1891 and *Beskia* Brauer & Bergenstamm, 1889). Before *Cylindromyini* can be elevated to subfamily status, the status of Dexiinae and its relationship to Phasiinae needs to be solidified [15].

We placed the enigmatic genus *Strongygaster* (clustered with *Thelaria* and *Elodia*) with very weak confidence as a sister to Phasiinae (NJ analysis) and originated within Tachininae and Exoristinae (ML analysis), where it had been previously placed by [13] and others [3, 15].

However, some authors [3, 14], reported *Strongygastrini* to be joined with Tachininae, *Strongygaster* is apparently similar to *Phasia* and some other phasiines, with large compound eyes and few bristles, but the biology does not couple with Phasiinae, and phallic reduction increases the confusion relationships. The morphological and molecular phylogenetic analyses [2, 15] respectively, has also been supported the position of *Strongygaster* within Phasiinae that correspond with our morphological study (fig. 1).

Relationships among the Dexiinae are among the most poorly supported in our analyses. In analyses of less informative COI gene, the few included dexiine taxa in ML are grouped in a cluster as sisters to each other and with other Tachininae and Exoristinae taxa, but not in monophyletic clade. In addition, *Estheria petiolata* and *Voria erasmocoronadoi* are clustered as sisters out of this clade. While in NJ they are widely dispersed across the tree and in both cases the relationships among them (Dexiinae taxa) are unclear. This result about Dexiinae relationships also was observed by [8] using the same marker COI but a very few Tachinidae taxa were used. However, in [3] the Dexiinae comprised a well-supported monophyletic Dexiinae, relationships among tribes within the subfamily exhibited more uncertainty.

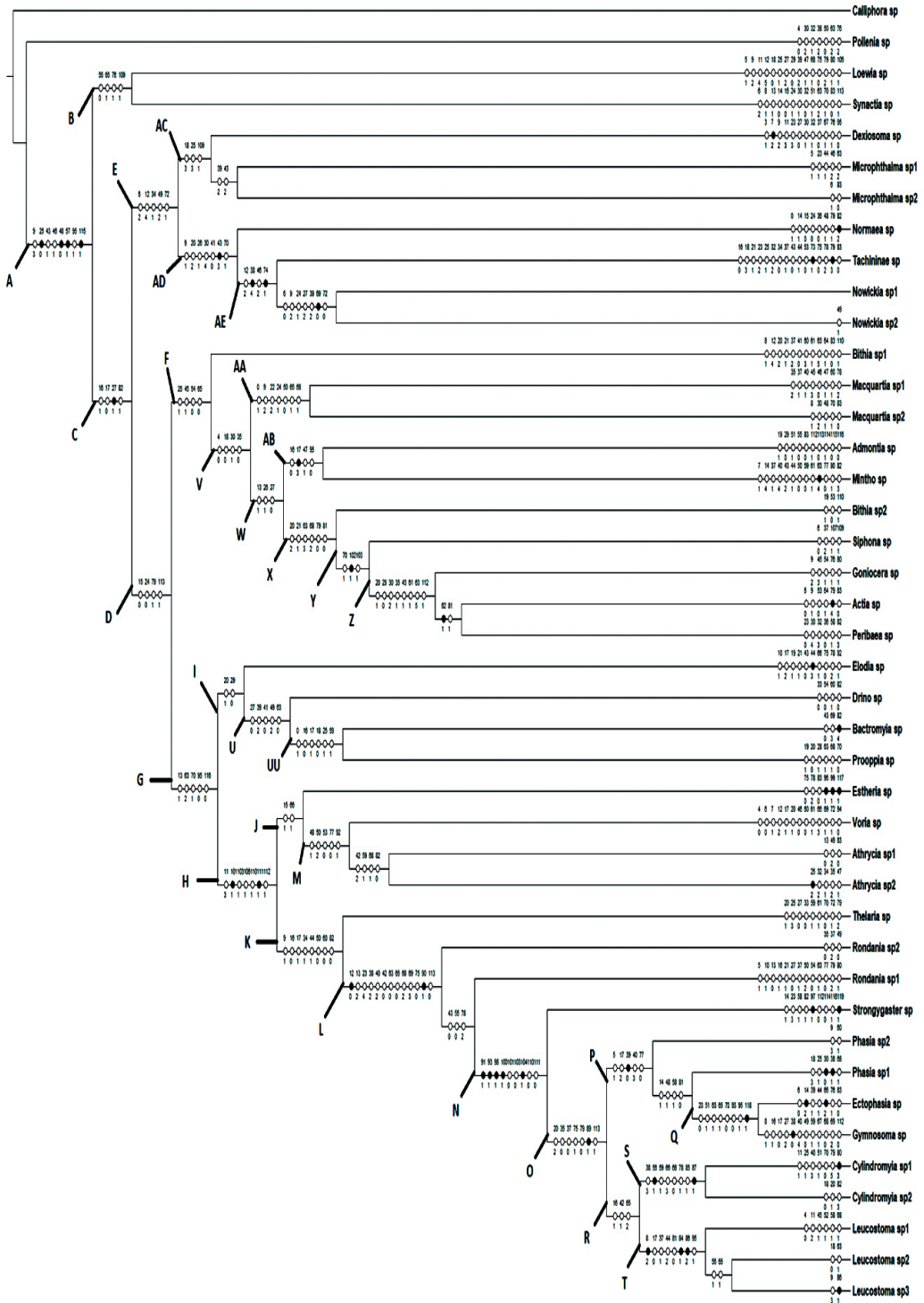


Fig. 1. Dendrogram was constructed using the Maximum Parsimony (MP) method. *Pollenia* sp. and *Calliphora* sp were used as out groups. On the branches – white circles are homoplastic (plesiomorphic) characters, and black circles are autapomorphic characters

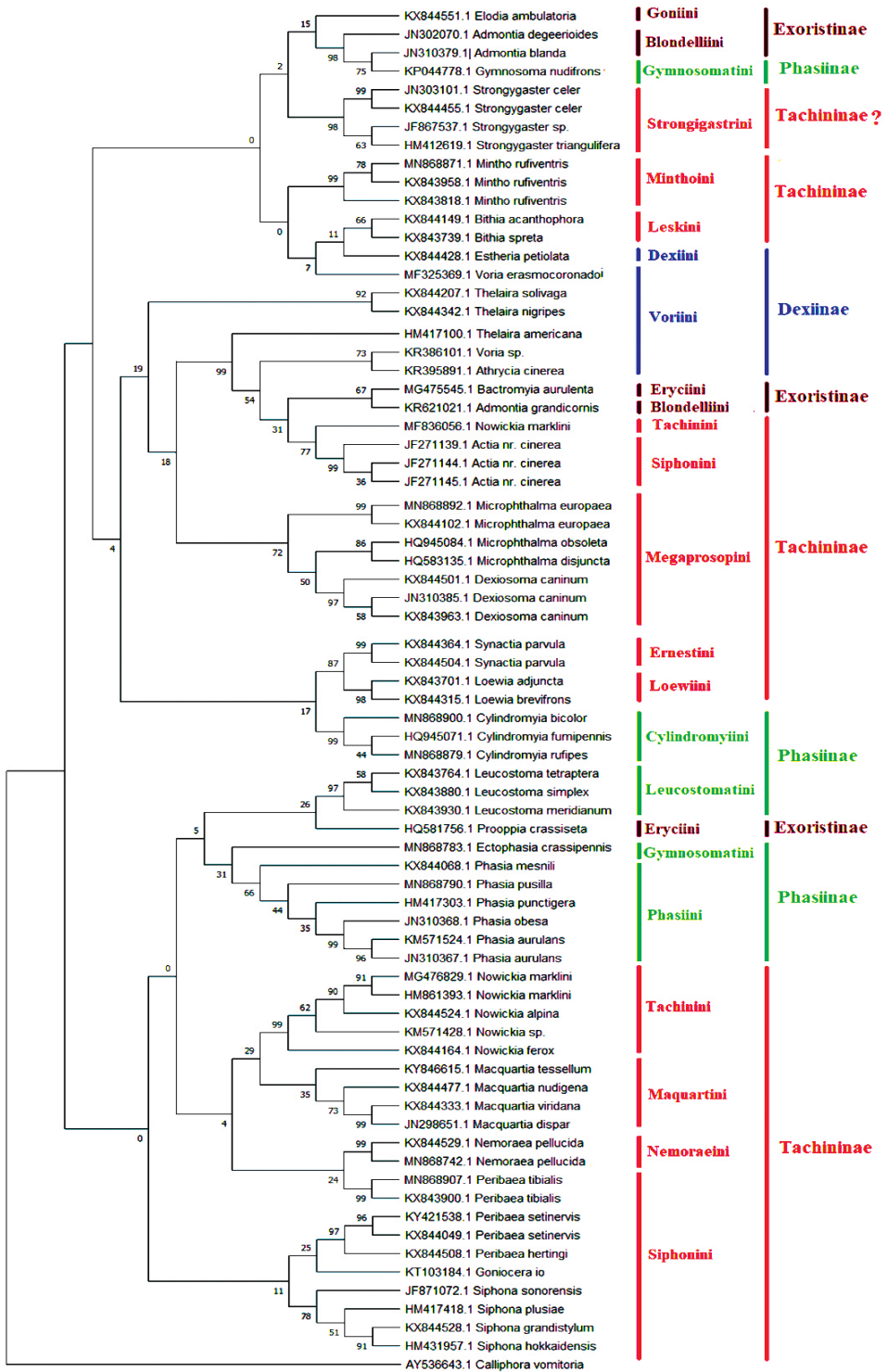


Fig. 2. Maximum likelihood phylogeny based on COI gene analysis. ML bootstrap values are shown above



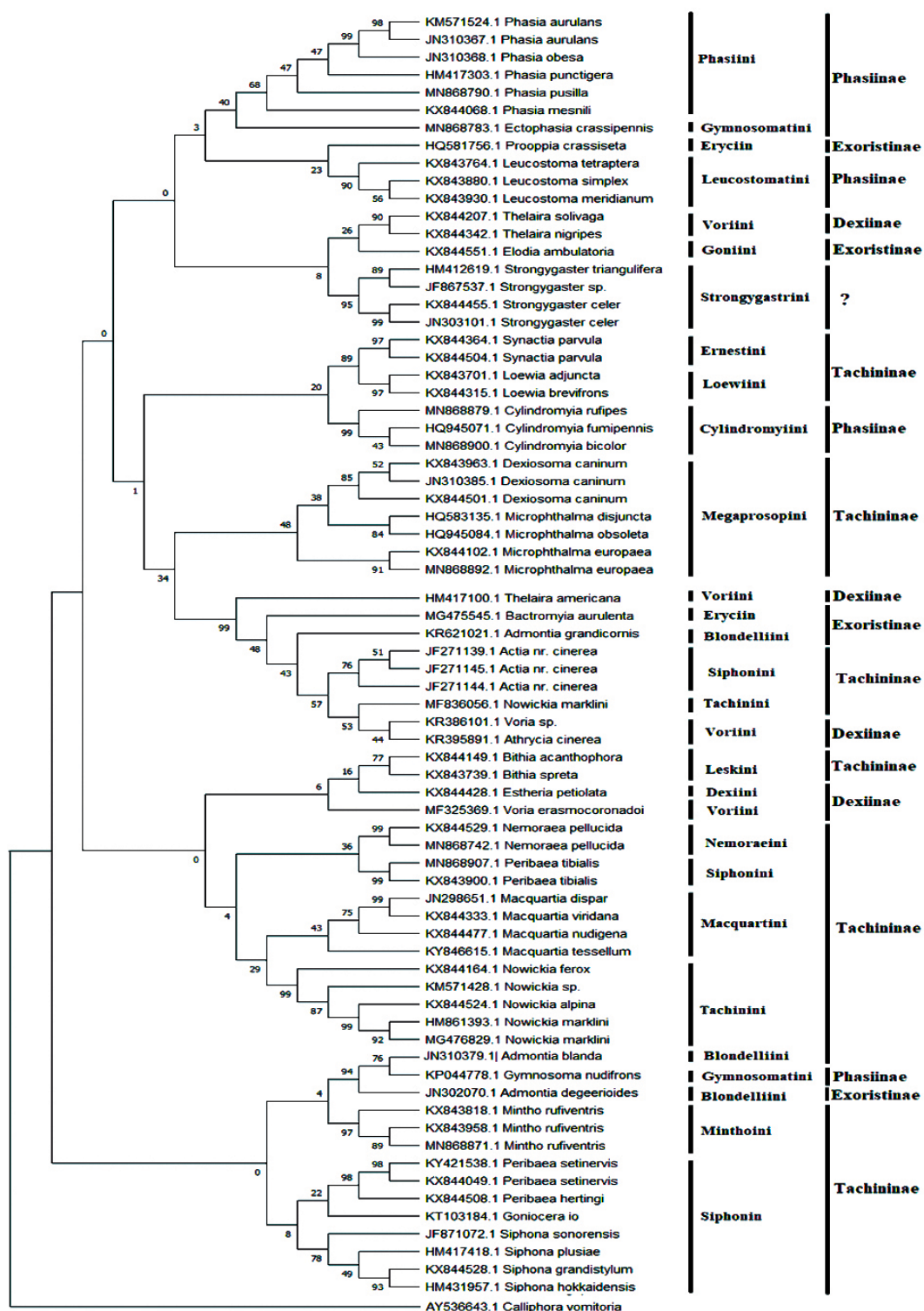


Fig. 3. The evolutionary history was reconstructed using the Neighbor-Joining method

Monophyly of the subfamily Exoristinae has been supported by all six major phylogenetic analyses of Tachinidae [2–5, 15], and it is supported here as well (*in our morphological tree*), but it was not supported in our molecular analysis, where Exoristinae taxa are scattered on the tree. *Prooppia* Townsend, 1926, is within Phasiinae, while *Bacteromyia aurulenta* and *Admontia grandicornis* are originated within tachinin and dexiini taxa. *Admontia* (remaining species) and *Elodia ambulatoria* are sisters with *Strongygaster*.

Tachininae are the most morphologically heterogeneous subfamily of Tachinidae, lacking clear morphological synapomorphies [12]. In the recent morphological analysis, [2] found the Tachininae to be polyphyletic, with clades of Myiophasiini + Palpostomatini, Macquartini and Ormiini and in molecular [3] Myiophasiini + Macquartini (none of which is represented here except *Macquartia*) were placed at the base of Tachinidae, and the subfamily being paraphyletic with respect to the Exoristinae as in our study, Tachininae is a paraphyletic group and scattered along the tree. Here, some Tachininae (Tachinini, Macquartini, Nemoraeni and Siphonini) are sisters with Phasiinae clade, while Ernestini and Loewini are sisters with Cylindromyini. In addition, Megaprosopini is a sister with *Actia cinerea* and *Nowickia marklini* with Dexiinae taxa. Moreover, Minthiini and Leskini are sisters with Dexiinae and Exoristinae. The Monophyly of Siphonini was supported in previous studies [2, 3], and it is in agreement with our study but in our analysis there is exception, where genus *Actia* and *Peribia tibialis* are out of this tribe.

In the morphological and molecular analyses (figs. 2 and 3, the relationships of some Tachininae taxa are nearly similar as following:

*Macquartia* (Macquartini) is a sister to *Nowickia* (Tachini) and both are clustered with *Nemoraea* (Nemoraeni).

Morphologically, *Loewia* and *Synactia* are positioned in the base of the tree, where, in contrast to molecular analysis, but with the same relationship, they are grouped as sisters.

In addition, Monophyly of Megaprosopini (*Microphthalma* and *Dexiosoma*) is moderately supported in both analyses. Moreover, *Mintho-leskiine* is clustered in ML (COI) and morphological analyses but it is dispersed (separated) in NJ analysis.

## Conclusion

We can conclude that additional taxa sampling and using informative markers (genes) will be necessary to resolve some questionable taxa specially the higher taxa.

However, we used few taxa for each genus and each tribe, but observed that using COI gene does not have ability to recover (reveal) the subfamilies as monophyletic and reveal its problems. While, the same marker (COI) revealed that the most of the genera and tribes are monophyletic groups:

**Tribes:** Siphonini, Megaprosopini, Strongygasterini, Leucostomatini, Macquartini, Tachinini (*Nowickia*), Phasiini, Cylindromyini.

**Genera:** *Macquartia*, *Nowickia*, *Siphona*, *Peribaea*, *Leucostoma*, *Cylindromyia*, *Phasia*, *Microphthalma*, *Strongygaster*, *Admontia*, *Bithia*, *Loewia*.

COI gene used in the study was observed to be very poor informative for solving (could not solve) relationships in the higher taxonomic tachinid taxa.

## References / Библиографический список

1. Stireman III JO, O'Hara JE, Wood DM. Tachinidae: evolution, behavior, and ecology. *Annual Review of Entomology*. 2006; 51(1):525—555.
2. Cerretti PO, O'Hara JE, Wood DM, Shima H, Inclan DJ, Stireman III JO. Signal through the noise? Phylogeny of the Tachinidae (Diptera) as inferred from morphological evidence. *Systematic Entomology*. 2014; 39(2):335—353. doi: 10.1111/syen.12062
3. Stireman III JO, Cerretti P, O'Hara JE, Blaschke JD, Moulton JK. Molecular phylogeny and evolution of world Tachinidae (Diptera). *Systematic Entomology*. 2019; 139:106358. doi: 10.1016/j.ympev.2018.12.002
4. Stireman III JO. Phylogenetic relationships of tachinid flies in subfamily Exoristinae (Tachinidae: Diptera) based on 28s rDNA and elongation factor-1 $\alpha$ . *Systematic Entomology*. 2002; 27(4):409—435. doi: 10.1046/j.1365-3113.2002.00187.x
5. Tachi T, Shima H. Molecular phylogeny of the subfamily Exoristinae (Diptera, Tachinidae), with discussions on the evolutionary history of female oviposition strategy. *Systematic Entomology*. 2010; 35(1):148—163. doi: 10.1111/j.1365-3113.2009.00497.x
6. Wood DM. Tachinidae. In: McAlpine JF, Peterson BV, Shewell GE, Teskey HJ, Vockeroth JR, Wood DM. (eds.) *Manual of Nearctic Diptera. Volume 2*. Ottawa, Canada; 1987. p.1193—1269.
7. Tschorsnig HP, Richter VA. Family Tachinidae. In: Papp L, Darvas B. (eds.) *Contributions to a manual of Palaearctic Diptera (with special reference to flies of economic importance). Volume 3. Higher Brachycera*. Budapest: Science Herald; 1998. p.691—827.
8. Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C, Tamura K. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*. 2018; 35(6):1547—1549. doi: 10.1093/molbev/msy096
9. McAlpine JF. Phylogeny and classification of the Muscomorpha. In: McAlpine JF, Wood DM (Eds) *Manual of Nearctic Diptera. Volume 3. Agriculture Canada Monograph 32*; 1989. Pp. 1397—1518, 1333—1581.
10. Winkler IS, Blaschke JD, Davis DJ, Stireman III JO, O'Hara JE, Cerretti P, Moulton JK. Explosive radiation or uninformative genes? Origin and early diversification of tachinid flies (Diptera: Tachinidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2015; 88:38—54. doi: 10.1016/j.ympev.2015.03.021
11. Shima H. Parasitic way of life in tachinid flies. *Insectarium*. 1989; 26:4—9, 46—51, 88—94, 120—126. (In Japanese)
12. Mesnil LP. 64g. Larvaevorinae (Tachininae). In: *Die Fliegen der Palaearktischen Region*. 1966; 10:881—928.
13. Herting B. Catalogue of Palearctic Tachinidae (Diptera). In: *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde. Serie A (Biologie)*. 1984.
14. O'Hara JE, Wood DM. Catalogue of the Tachinidae (Diptera) of America north of Mexico. In: *Memoirs on Entomology, International Volume 18*. 2004.
15. Blaschke JS, Stireman III JO, O'Hara JE, Cerretti P, Moulton JK. Molecular phylogenetics and piercer evolution in the bug-killing flies (Diptera: Tachinidae: Phasiinae). *Systematic Entomology*. 2018; 43(1):218—238. doi: 10.1111/syen.12272

## Анализ молекулярных данных паразитоидных мух семейства Tachinidae

Эльхашаш Арафа 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация  
Научно-исследовательский институт защиты растений,  
Центр сельскохозяйственных исследований, г. Гиза, Египет  
✉ Arafa.elhashash@yahoo.com

**Аннотация.** Паразитоиды семейства Tachinidae играют важную роль в биологическом контроле, тем не менее филогенетические взаимоотношения надродовых групп мало изучены. Здесь мы представляем



филогенетический анализ семейства, основанный на молекулярных данных. Филогенетический анализ в молекулярном исследовании, включающем 73 вида, принадлежащих к 30 родам тахинид, включая четыре признанных в настоящее время подсемейства (Dexiinae, Exoristinae, Phasiinae, Tachininae) и 20 триб. Тахиниды реконструируются как монофилетический комплекс на основании морфологических данных и с четырьмя негомозиготными апоморфиями (синапоморфиями). Монофилия хорошо поддерживается начальной загрузкой. Наш морфологический анализ в целом поддерживает подсемейство, объединяющее Dexiinae + Phasiinae, в то время как Tachininae + Exoristinae не поддерживается как одна группа, и только Exoristinae и Phasiinae реконструируются как монофилетические сообщества. Dexiinae, которые ранее считались устойчивым монофилетическим сообществом (за исключением нескольких исследований), реконструированы как полипарафилетические по отношению к Phasiinae. Tachininae реконструированы как парафилетический класс, в то время как монофилия Exoristinae была восстановлена, за исключением рода *Admontia* Brauer & Bergenstamm, который возник в подсемействе Tachininae. В отличие от молекулярного анализа все подсемейства представляют собой полипарафилетические группы, в которых они взаимодействуют друг с другом, за исключением Phasiinae, которое включает большинство своих таксонов в монофилетическую группу.

**Ключевые слова:** анализ, молекулярный, морфология, тахиниды

**Конфликт интересов:** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование. Благодарности.** Исследование финансируется за счет стипендии в рамках совместной (исполнительной) программы между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования лично планировал и выполнял данное исследование, подготовил и представил рукопись в редакцию.

**История статьи:** поступила в редакцию: 26 декабря 2021 г.; принята к публикации: 21 февраля 2022 г.

**Для цитирования:** Arafa Elhashash. Molecular Analysis of Parasitoid Flies Tachinidae // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 48—61. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-48-61

#### **About the author:**

Arafa El-Sayed El-Hashash — postgraduate student, Agrarian and Technology Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Plant Protection Research Institute, Agricultural Research center, Giza, Egypt; e-mail: Arafa.elhashash@yahoo.com  
ORCID: 0000–0001–5210–5515

#### **Об авторе:**

Арафа Элсайд Эль-Хашаш — аспирант, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; Центр сельскохозяйственных исследований, Египет, г. Гиза; e-mail: Arafa.elhashash@yahoo.com  
ORCID: 0000–0001–5210–5515



## Озеленение населенных пунктов Landscaping of settlements

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-62-71


УДК 712.41:504.064.36(470.56)

Научная статья / Research article

### Оценка состояния широко использующихся в озеленении Оренбурга древесно-кустарниковых растений методами эколого-фенологического мониторинга

Н.М. Назарова  , Д.Г. Фёдорова 

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

 [nazarova-1989@yandex.ru](mailto:nazarova-1989@yandex.ru)

**Аннотация.** Зеленые насаждения в городской среде испытывают угнетение ввиду высокой антропогенной нагрузки в промышленных городах. Оценить влияние среды на растительные сообщества городских экосистем возможно с использованием методов эколого-фенологического мониторинга (регистрация фенологических фаз, изучение степени цветения и плодоношения). Целью настоящего исследования является изучение особенностей сезонного развития некоторых широко распространенных древесно-кустарниковых растений в озеленении Оренбурга с применением методов эколого-фенологического мониторинга. В рамках данной работы при регистрации 6 фаз вегетативного и 4 фаз генеративного жизненных циклов изучен ход сезонного развития 5 видов древесно-кустарниковых растений. Проведена оценка интенсивности цветения и определен уровень плодоношения как показателей стабильности их развития в условиях города. По результатам проведенных наблюдений установлено, что по характеру фенологического развития наиболее благоприятный тип отмечается только у одного вида — *Aronia mitschurinii*. Лучшими декоративными характеристиками, а также высоким уровнем плодоношения отличаются *Aronia mitschurinii*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus sanguinea* и *Syringa vulgaris*. Эти виды характеризуются высокой экологической пластичностью, поэтому, несмотря на возрастающие темпы антропогенной нагрузки, способны формировать полноценный зеленый каркас городской среды и выполнять роль биологических фильтров атмосферного воздуха в условиях Оренбуржья.

**Ключевые слова:** фенология, феноспектр, озеленение, цветение, плодоношение, *Aronia mitschurinii*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus sanguinea*, *Syringa vulgaris*, *Syringa josikaea*

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 15 января 2021 г., принята к публикации 14 февраля 2021 г.

© Назарова Н.М., Фёдорова Д.Г., 2022




This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Для цитирования:** Назарова Н.М., Фёдорова Д.Г. Оценка состояния широко используемых в озеленении Оренбурга древесно-кустарниковых растений методами эколого-фенологического мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 62—71. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-62-71

## Assessment of arboreal and shrubby plants widely used in greening of Orenburg by methods of ecological and phenological monitoring

N.M. Nazarova  , D.G. Fedorova 

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation  
 nazarova-1989@yandex.ru

**Abstract.** Green spaces in the urban environment are oppressed due to the high anthropogenic load in industrial cities. Methods of ecological and phenological monitoring (registration of phenological phases, study of the degree of flowering and fruiting) allow to assess influence of the environment on plant communities of urban ecosystems. The purpose was to study the features of seasonal development of some widespread woody and shrubby plants in the landscaping of Orenburg through ecological and phenological monitoring. Within the framework of this work, the course of seasonal development of 5 species of woody and shrubby plants with registering 6 vegetative phases and 4 generative phases of life cycles was studied. The intensity of their flowering was assessed and the level of fruiting was determined as indicators of their stable development in urban conditions. According to the results of the observations, only *Aronia mitschurinii* was found to be the most favorable type due to nature of its phenological developmen. *Aronia mitschurinii*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus sanguinea* and *Syringa vulgaris* have the best decorative characteristics, as well as a high level of fruiting. These species are characterized by high ecological plasticity. Therefore, despite the increasing rates of anthropogenic load, they are able to form a full-fledged green framework of the urban environment and act as biological filters of atmospheric air in the Orenburg region.

**Keywords:** phenology, phenological spectrum, landscaping, flowering fruiting, *Aronia mitschurinii*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus sanguinea*, *Syringa vulgaris*, *Syringa josikaea*

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Article history:** Received: 15 January 2021. Accepted: 14 February 2022

**For citation:** Nazarova NM, Fedorova DG. Assessment of arboreal and shrubby plants widely used in greening of Orenburg by methods of ecological and phenological monitoring. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):62—71. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-62-71

### Введение

Ввиду высоких темпов урбанизации, связанных с развитием промышленности и автотранспортной нагрузки, в атмосфере городов стремительно увеличивается концентрация поллютантов [1]. В последние несколько десятков лет экологи отмечают постоянно меняющиеся условия окружающей среды, объясняемые вышеуказанными абиотическими процессами. Растения первыми подвергаются

пагубному воздействию, реагируя на меняющиеся условия среды различными морфофизиологическими изменениями. Оценить эти воздействия позволяют фенологические наблюдения за растениями, которые произрастают в урбосреде [2].

Город Оренбург не является исключением среди городов, наращивающих темпы промышленного производства и автотранспортной нагрузки. На территории города постоянно увеличивается число новостроек, поэтому появляется необходимость в создании новых зеленых насаждений (групповые или одиночные посадки, скверы, парки, аллеи). В озеленении города используются как хвойные, так и лиственные древесно-кустарниковые растения. Главная роль насаждений — создание благоприятного микроклимата, так как растения — живой фильтр, очищающий воздушные массы от загрязняющих веществ. Нельзя забывать и о их рекреационной и эстетической функции в городской среде. Поэтому в составе растений, рекомендуемых для озеленения города, предпочтение целесообразно отдавать тем таксонам, которые обладают высокими декоративными свойствами и устойчивы к загазованной среде [2].

С целью оценки адаптивных способностей растений в городской среде, а также для расширения ассортимента пород, которые могут использоваться в конкретном регионе для озеленения, создаются ботанические сады. Эти учреждения имеют богатые коллекционные фонды и, соответственно, научную базу для проведения подобных исследований [3].

На территории Оренбургской области ботанический сад, созданный на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (ОГУ), функционирует с 2006 г. Основное направление его деятельности — интродукция и акклиматизация растений [4]. Большинство растений в озеленении городов Оренбургской области являются интродуцентами [5], поэтому изучение вопросов их адаптивных возможностей на территории нашего региона вполне оправданно.

Золотым стандартом в определении экологической пластичности растений считается регистрация фаз их вегетативного развития в конкретном регионе [6, 7]. Фенологические наблюдения в парковом и лесопарковом хозяйстве городов, знание динамики сезонного развития древесных растений определяют подбор видов для целей озеленения территории. По полученным данным с учетом эстетической и санитарно-гигиенической оценок проводятся мероприятия по повышению устойчивости городских зеленых насаждений [8].

По итогам регистрации фенологических фаз растений составляют фенологические спектры — графические изображения сезонного развития, как отдельных видов растений, так и их сообществ [9]. Построение фенологического спектра — один из широко распространенных методов геоботанических исследований, позволяющих оценить состояние растений при изменении условий их произрастания [10].

**Цель исследования** — изучение особенностей сезонного развития некоторых активно используемых в озеленении Оренбурга растений с применением методов эколого-фенологического мониторинга для комплексной оценки состояния зеленых насаждений в урбосреде.

### **Задачи исследования:**

1. Изучить сезонное развитие древесно-кустарниковых растений г. Оренбурга по срокам наступления и продолжительности фенологических фаз.
2. Оценить степень цветения и уровень плодоношения как показателей стабильности развития видов в условиях городской среды.

**Объекты исследования:** 5 видов, принадлежащих родам *Syringa* L. (*S. vulgaris* L., *S. josikaea* J. Jacq. ex Rchb.), *Sorbus* L. (*Sorbus aucuparia* L.), *Aronia* Medik. (*Aronia mitschurinii* A.K. Skvortsov & Maitul.), *Crataegus* Tourn. Ex L. (*Crataegus sanguinea* Pall.).

## **Материалы и методы исследования**

Исследования проведены на базе ботанического сада ОГУ согласно описательному методу фенологических наблюдений [11]. За учетную единицу принимался куст (экземпляр) растения. Регистрация наблюдений проведена в группах растений каждого вида, включавших от 5 до 10 одновозрастных экземпляров [12]. Отражением хода фенологического развития исследуемых видов являются фенологические спектры вегетативного и генеративного циклов сезонного развития растений [9]. Оценка интенсивности цветения [13] и плодоношения [14] проведены глазомерным методом.

*Климатогеографическая характеристика района исследования.* Климат Оренбургской области резко-континентальный. Для него характерна морозная и малоснежная зима и засушливое жаркое лето. За последние полвека климат Оренбургской области изменился в сторону значительного повышения среднегодовой температуры воздуха с 4,5 до 6,2 °С и значительного снижения годового количества осадков — с 380 до 320 мм. Высокая засушливость климата ухудшает условия для произрастания различных культур [15, 16].

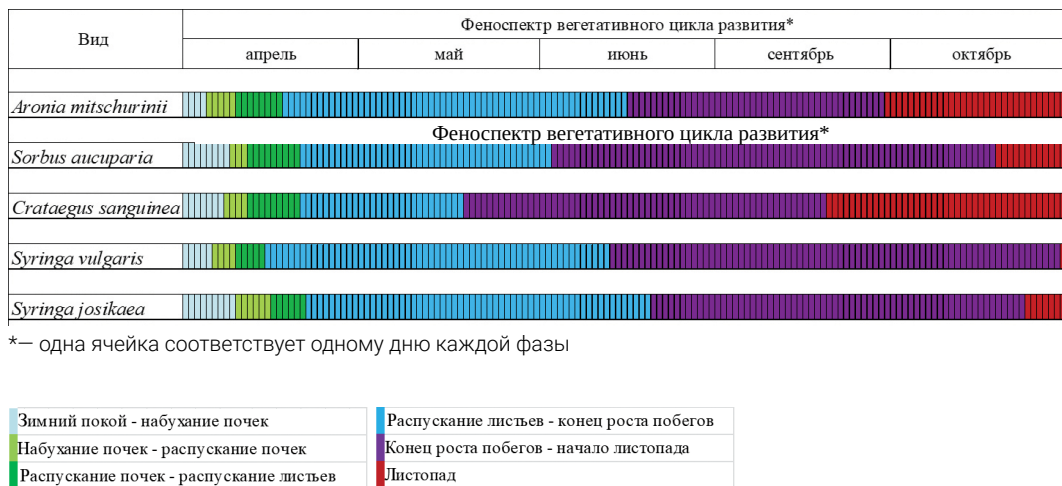
## **Результаты исследования и обсуждение**

Все виды растений—объектов настоящего исследования—отличаются между собой по происхождению и являются истинными интродуцентами для Оренбуржья. Ареал распространения *Aronia mitschurinii*—Северная Америка, *Sorbus aucuparia* и *Crataegus sanguinea*—Европа, *Syringa vulgaris* и *Syringa josikaea*—эндемики Балкан и Карпат.

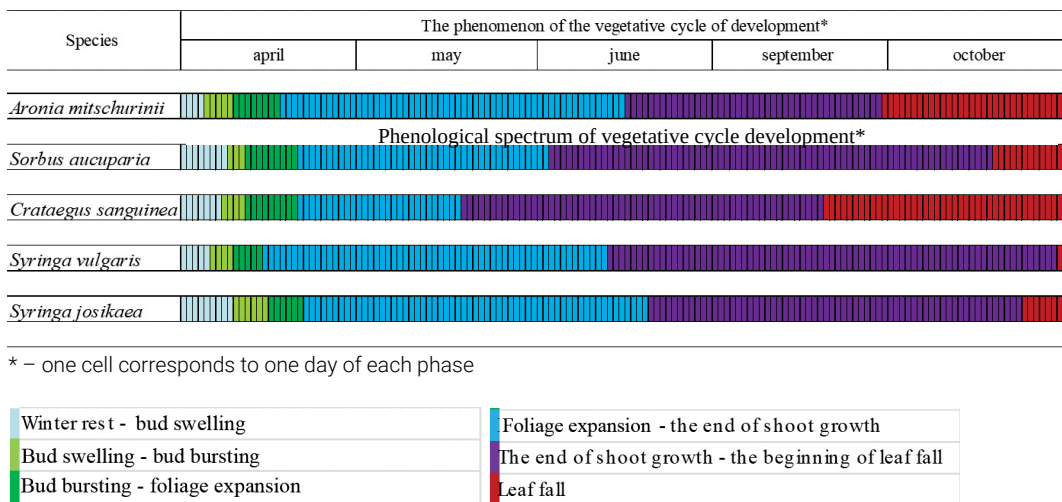
Исследуемые растения произрастают на территории ботанического сада ОГУ, который расположен в центральной части города Оренбурга. Это позволило изучить фенологические фазы пяти видов растений, активно используемых в озеленении городов области, в одинаковых условиях.

Регистрация фенологических наблюдений проведена по основным периодам вегетации: листоношение, цветение, плодоношение. Полученные среднемноголетние данные о ходе фенологического развития исследуемых видов позволили составить фенологические спектры вегетативного и генеративного циклов развития растений на территории Оренбуржья.

Раньше всех видов вегетация (набухание почек) отмечается у *Aronia mitschurinii* и *Syringa vulgaris* (в первых числах апреля) (рис. 1).



**Рис. 1.** Феноспектр исследуемых видов по данным среднесуточных наблюдений в условиях г. Оренбурга (вегетативный цикл)



**Fig. 1.** Phenological spectrum of the studied species according to the data of average long-term observations in the conditions of Orenburg (vegetative cycle)

Наименее продолжительный период от набухания до раскрытия почечных чешуй наблюдается у *Sorbus aucuparia* — всего 3 дня по данным среднесуточных наблюдений. Наиболее продолжителен данный период у *Syringa josikaea* — 6 дней.

Первые настоящие листья раньше других видов появляются у *Syringa vulgaris* и *Aronia mitschurinii* — 9 апреля, позже всех — у *Syringa josikaea* — 15 апреля.

Раньше всех видов начало роста побегов отмечается у *Syringa vulgaris* — 14 апреля. Продолжительность роста побегов значительно отличается у рассматриваемых видов. Раньше всех рост побегов заканчивается у *Crataegus sanguinea*, позже всех — у *Syringa josikaea*.

За окончание вегетации мы принимаем фазу наступления листопада. По характеру фенологического развития среди всех изученных видов наиболее благоприятный тип отмечается у *Aronia mitschurinii* — рано начинает и рано заканчивает вегетацию (I группа). Ко II группе (рано начинают и поздно заканчивают вегетацию) относится *Syringa vulgaris*. К III группе (поздно начинают и рано заканчивают вегетацию) относится *Crataegus sanguinea*. Два вида (*Sorbus aucuparia* и *Syringa josikaea*) обладают наиболее неблагоприятным типом вегетативного развития (поздно начинают и поздно заканчивают вегетацию) и относятся к IV группе по характеру фенологического развития в условиях Оренбургской области.

Генеративный цикл развития, включающий фазы цветения и плодоношения, важен для изучения хода фенологического развития видов растений, в особенности тех, которые используются в озеленении городской среды. С одной стороны интенсивность цветения является отражением степени декоративности конкретного таксона, а с другой — по уровню плодоношения (т.е. способности к образованию полноценных семян) мы можем судить о благополучном развитии конкретного таксона в условиях городской среды.

Раньше, чем у всех исследуемых видов, цветение начинается у *Syringa vulgaris*, позже всех у *Syringa josikaea* (рис. 2). Эти же виды цветут наиболее продолжительно среди всех, изученных нами (порядка 20–22 дней).

Наименьшая продолжительность цветения по данным среднесезонных наблюдений отмечена у *Sorbus aucuparia* и *Crataegus sanguinea* — по 7 и 8 дней соответственно. Продолжительность периода от окончания цветения до образования завязи у видов достаточно короткий и составляет от 1 (у *Sorbus aucuparia*) до 6 дней (у *Syringa josikaea*).

Плоды рано достигают зрелости у *Crataegus sanguinea* — в начале августа. К середине августа зрелость плодов регистрируется у *Aronia mitschurinii*, через месяц — у *Sorbus aucuparia* и *Syringa vulgaris*. Позже всех созревают семянки *Syringa josikaea* — в начале октября.

Оценив цветение и плодоношение исследуемых видов, установили, что подавляющее большинство из них обладают наивысшими баллами и характеризуются обильным цветением и высоким уровнем плодоношения — плоды образуются по всей кроне в большом количестве (табл.).

Таблица

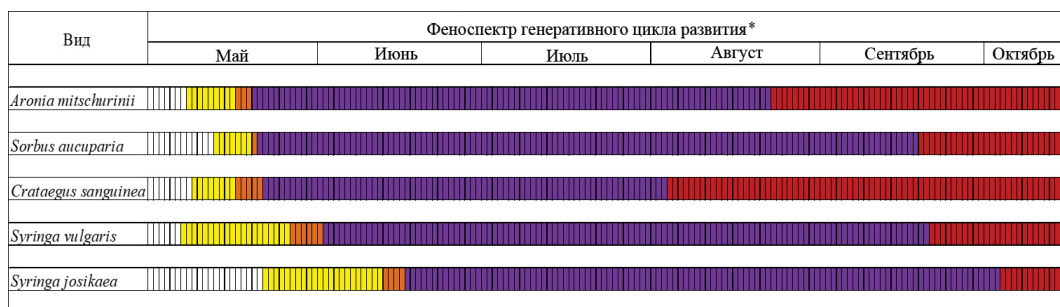
#### Оценка цветения и плодоношения исследуемых таксонов

Вид	Интенсивность цветения, балл	Степень плодоношения, балл
<i>Aronia mitschurinii</i>	5 (очень большое)	5 (очень большое)
<i>Sorbus aucuparia</i>		
<i>Crataegus sanguinea</i>		
<i>Syringa vulgaris</i>		
<i>Syringa josikaea</i>	4 (среднее)	2 (малое)



**Assessment of flowering and fruiting of the studied taxa**

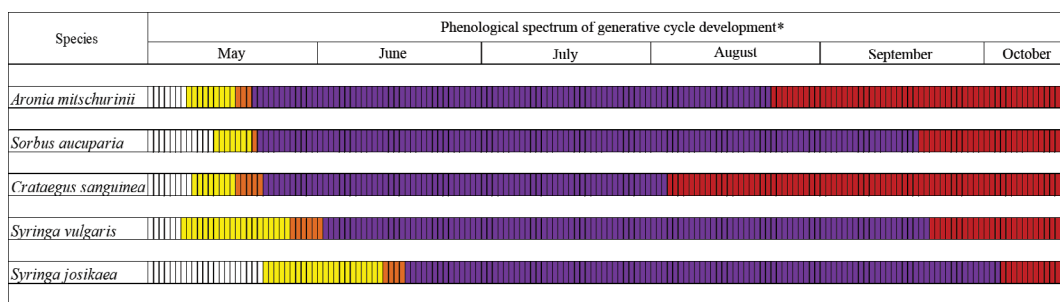
Species	Flowering intensity, grade	Degree of fruiting, grade
<i>Aronia mitschurinii</i>	5 (very large)	5 (very large)
<i>Sorbus aucuparia</i>		
<i>Crataegus sanguinea</i>		
<i>Syringa vulgaris</i>		
<i>Syringa josikaea</i>	4 (average)	2 (small)



\*— одна ячейка соответствует одному дню каждой фазы



**Рис. 2.** Фенологический спектр сезонного развития исследуемых видов по данным среднесезонных наблюдений в условиях г. Оренбурга (генеративный цикл)



\* — one cell corresponds to one day of each phase



**Fig. 2.** Phenological spectrum of seasonal development of the studied species according to the data of average long-term observations in Orenburg (generative cycle)



Только один вид *Syringa josikaea* характеризуется средними показателями по интенсивности цветения и низкими по уровню плодоношения. На немногих ветвях кустов образуется незначительное количество плодов, преимущественно в верхней части кроны.

## Выводы

1. Все исследуемые виды растений успевают завершить все фазы фенологического развития в климатогеографических условиях Оренбуржья. Лучшим типом вегетативного развития обладает только один из исследуемых видов — *Aronia mitschurinii*. По данным многолетних наблюдений, происходит смещение фаз вегетации в сторону более раннего их наступления для всех таксонов.

2. Подавляющее большинство исследуемых видов, которые активно используются в озеленении городской среды Оренбургской области, обладают обильным цветением и высоким уровнем плодоношения, что свидетельствует об их высокой экологической пластичности в условиях урбосреды.

## Библиографический список

1. Симонова З.А. Использование биохимических показателей древесных растений при разработке системы экологической оптимизации урбаноcреды // Человек, экология, культура: современные практики и проблемы. Саратов, 2014. С. 41—47.
2. Герасимова Е.Ю. Проблемы озеленения населённых пунктов в Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 5 (49). С. 60—63.
3. Демидов А.С., Потапова С.А., Гаранович И.М. Ботанические сады и тенденции современного озеленения городов // Вестник ИрГСХА. 2011. № 44—3. С. 7—12.
4. Назарова Н.М., Федорова Д.Г. Интродукционная деятельность и коллекционный фонд ботанического сада Оренбургского государственного университета // Записки Челябинского отделения Русского ботанического общества. Челябинск, 2021. С. 103—107.
5. Авдеев В.И., Ковердяева И.В. Древесные виды-экзоты для зеленого строительства на территории Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2006. Т. 3. № 11—1. С. 143—146.
6. Видякина А.А., Семенова М.В. Фенологические наблюдения за развитием вегетативных и генеративных органов *Syringa josikaea* Jacq. в различных районах г. Тюмени // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2009. № 9. С. 142—145.
7. Морозова Г.Ю. Мониторинг урбанизированной среды: структура популяций растений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 1—6. С. 1170—1173.
8. Любимов В.Б., Солдатова В.В. Результаты фенологических наблюдений за интродуцентами, их анализ и значение при создании антропогенных экосистем различного целевого назначения // Российско-китайский научный журнал «Содружество». 2016. № 2 (2). С. 89—93.
9. Шестак К.В. Фенологические исследования в дендрарии СибГТУ // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2006. № 10. С. 103—108.
10. Скок Н.В., Иванова Ю.Р. Применение фенологических методов для экологического мониторинга // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность. 2021. С. 321—322.
11. Батманов В.А. О методике составления фенологических карт для яровых культур // Сборник работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. Свердловск. 1966. Вып. 5. С. 74—89.
12. Зайцев Г.Н. Обработка результатов фенологических наблюдений в ботанических садах // Бюллетень ГБС. 1984. Вып. 134. С. 3—10.

13. Kapper B.G. Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород // Труды по лесному опытному делу. 1930. Вып. 8. С. 5—18.
14. Корчагин А.А. Методы учета семеношения древесных пород и лесных сообществ // Полевая геоботаника. 1960. Т. 2. С. 41—132.
15. Nesterenko Y.M., Solomatin N.V., Khalin A.V. Climate and weather of the Southern Urals and their influence on agronomy // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2020. Vol. 222. doi: 10.1051/e3sconf/202022205015
16. Neverov A.A., Abdrashitov R.R. Trends in regional climate change and field crop productivity in Orenburg steppe region of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Т. 839. № 2. С. 022059.

## References

1. Simonova Z.A. Accounting of biochemical parameters in tree leaves to develop a system for optimization of the urban environment. In: Human, ecology, culture: modern practices and problems: conference proceedings. Saratov; 2014. p.41—47. (In Russ).
2. Gerasimova E.Y. Problems of gardening of settlements in the Orenburg region. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2014; (5):60—63. (In Russ).
3. Demidov A.S., Potapova S.A., Garanovich I.M. Botanical gardens and some aspects of urban greenery. *Vestnik IRGSHA*. 2011; (44—3):7—12. (In Russ).
4. Nazarova N.M., Fedorova D.G. Introduction activities and collection fund of the botanical garden of Orenburg State University. In: *Zapiski Chelyabinskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva*. Chelyabinsk; 2021. p.103—107. (In Russ).
5. Avdeyev V.I., Koverdyayeva I.V. Exotic tree species intended for trees and gardens growing on the territory of the Orenburg region. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2006; (3):143—146. (In Russ).
6. Vidyakina A.A., Semyonova M.V. Phenological observations regarding development of vegetative and generative organs of *Syringa josikaea* Jacq. in different parts of Tyumen. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 2009; (9):142—145. (In Russ).
7. Morozova G.Y. Monitoring of the urbanized inhabitancy: structure of plant populations. *Izvestiya of the Samara science centre of the Russian academy of sciences*. 2009; 11(1—6):1170—1173. (In Russ).
8. Lyubimov V.B., Soldatova V.V. The results of phenological observations of introduced species, their analysis and significance in the creation of anthropogenic ecosystems for various purposes. *Rossiisko-kitaiskii nauchnyi zhurnal 'Sodruzhestvo'*. 2016;(2):89—93. (In Russ).
9. Shestak K.V. Phenological research in the arboretum of the Siberian State Technical University. *Bulletin of KSAU*. 2006; (10):103—108. (In Russ).
10. Skok N.V., Ivanova Y.R. Application of phenological methods for ecological monitoring. In: *Study of aquatic and terrestrial ecosystems: history and modernity: conference proceedings*. Sevastopol; 2021. p.321—322. (In Russ).
11. Batmanov V.A. methodology for compiling phenological maps for spring crops. In: *Collection of works of the Sverdlovsk hydrometeorological observatory. Issue 5*. Sverdlovsk; 1966. p.74—89. (In Russ).
12. Zaitsev G.N. Processing the results of phenological observations in botanical gardens. *Bulletin of State Nikitsky Botanical Garden*. 1984; (134):3—10. (In Russ).
13. Kapper V.G. Organization of annual systematic observations of tree species fruiting. In: *Proceedings on experimental forestry. Issue 8*. 1930; p.5—18. (In Russ).
14. Korchagin A.A. Methods for accounting seed production of tree species and forest communities. *Polevaya geobotanika*. 1960; 2:41—132. (In Russ).
15. Nesterenko Y.M., Solomatin N.V., Khalin A.V. Climate and weather of the Southern Urals and their influence on agronomy. *E3S Web of Conferences*. 2020; 222:05015. doi: 10.1051/e3sconf/202022205015
16. Neverov A.A., Abdrashitov R.R. Trends in regional climate change and field crop productivity in Orenburg steppe region of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 839(2):022059

**Об авторах:**

*Назарова Наталья Михайловна* — младший научный сотрудник научной группы Ботанического сада Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет», Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13; e-mail: nazarova-1989@yandex.ru

ORCID: 0000–0002–7449–0378

SPIN-код: 1242–9420

*Фёдорова Дарья Геннадьевна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научной группы Ботанического сада Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет», Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13; e-mail: daryaorlova24@rambler.ru

ORCID: 0000–0002–5323–4965

SPIN-код: 6805–9269

#### **About the authors:**

*Nazarova Natalia Mikhailovna* — Junior researcher, scientific group of the Botanical Garden, Orenburg State University, 13 Pobedy ave., Orenburg, Orenburg region, 460018, Russian Federation; e-mail: nazarova-1989@yandex.ru;

ORCID: 0000–0002–7449–0378

SPIN-code: 1242–9420

*Fedorova Darya Gennadievna* — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, scientific group of the Botanical Garden, Orenburg State University, 13 Pobedy ave., Orenburg, Orenburg region, 460018, Russian Federation; e-mail: daryaorlova24@rambler.ru

ORCID: 0000–0002–5323–4965


SPIN-code: 6805–9269

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-72-89  
УДК 712.41:504.064.36(470.21)

Научная статья / Research article

## Мониторинг состояния древесных растений в зоне влияния железнодорожного транспорта в условиях Заполярья

Е.А. Святковская  , Н.В. Салтан ,  
М.С. Уманец , Н.Н. Тростенюк 

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН,  
г. Апатиты, Российская Федерация  
 [sviatkovskaya@mail.ru](mailto:sviatkovskaya@mail.ru)

**Аннотация.** Привокзальные территории, являясь частью городского озеленения, рассматриваются как единое пространство и должны соответствовать высоким стандартам качества городской среды. Проведены мониторинговые исследования (2018–2021 гг.) состояния аборигенных и интродуцированных видов древесных растений, произрастающих вдоль железнодорожных путей на привокзальных территориях городов Кольского Заполярья (Мурманск, Оленегорск, Апатиты, Полярные Зори, Кандалакша), для выявления устойчивых видов при данном типе загрязнения. Оценка состояния древесных растений проводилась визуальным способом по методике В.С. Николаевского и Х.Г. Якубова. Для каждого растения даны качественная и количественная характеристики. Рассчитан средневзвешенный балл состояния для наиболее распространенных древесных видов. Определены некоторые агрохимические почвенные показатели. В результате мониторинговых исследований зеленых насаждений выявлено незначительное увеличение видового разнообразия (22 вида — 2018 г., 24 вида — 2021 г.). Состояние древесных растений на привокзальных территориях зависело от уровня антропогенных нагрузок, возраста насаждений и регулярности ухода. Отмечено незначительное увеличение доли категории растений «без признаков ослабления» при значительном росте категории «сильно ослабленные» (с 31,0 до 51,7 %). Показатель по категориям «усыхающие» и «сухостой» изменился незначительно. Средневзвешенный балл состояния наиболее распространенных видов деревьев продемонстрировал отсутствие выраженных изменений. Питательный статус почв характеризовался низким уровнем обеспеченности азотистыми соединениями, обнаружены изменения кислотности почв. При регулярном уходе растения могут переходить из одной категории в другую. Существующие виды древесных растений устойчивы в данных экологических условиях и могут быть рекомендованы для озеленения объектов такого назначения.

**Ключевые слова:** состояние растений, древесные растения, привокзальные территории, Кольское Заполярье, зеленые насаждения

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Святковская Е.А., Салтан Н.В., Уманец М.С., Тростенюк Н.Н., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>


**Финансирование. Благодарности.** Исследования проводились в рамках научно-исследовательской работы «Коллекционные фонды ПАБСИ как основа сохранения биоразнообразия, развития биотехнологий, оптимизации условий городской среды, фитореабилитации и экологического образования» (FMER-2021–0002, регистрационный номер — 122011900097–6).

**История статьи:** поступила в редакцию 14 февраля 2022 г., принята к публикации 11 марта 2022 г.

**Для цитирования:** Святковская Е.А., Салтан Н.В., Уманец М.С., Тростенюк Н.Н. Мониторинг состояния древесных растений в зоне влияния железнодорожного транспорта в условиях Заполярья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронмия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 72—89. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-72-89

## Monitoring the state of woody plants in railway impact zone in the Kola Polar region

Ekaterina A. Sviatkovskaya  , Natalia V. Saltan ,  
Marina S. Umanets , Nadezhda N. Trostenyuk 

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of N.A. Avrorin of the Kola Scientific Center  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation  
 sviatkovskaya@mail.ru

**Abstract.** The areas adjacent to the railway stations are part of the urban greening and are considered as a single space that meets the high-quality standards of the urban environment. Monitoring studies (2018–2021) were carried out on the state of native and introduced species of woody plants growing along the railway tracks in the forecourt territories of the cities of the Kola Arctic (Murmansk, Olenegorsk, Apatity, Polyarnye Zori, Kandalaksha) to identify resistant species to this type of pollution. The assessment of the state of woody plants was carried out visually according to the method of V.S. Nikolaevsky and H.G. Yakubov. Qualitative and quantitative characteristics were given for each plant. The average score of the state for the most common tree species was calculated. Some agrochemical soil indicators have been determined. As a result of monitoring studies of green spaces, a slight increase in species diversity was revealed (22 species — 2018, 24 species — 2021). The state of woody plants in the railway impact zone depended on level of anthropogenic loads, age of plantations, and regularity of care. A slight increase in the share of the category of plants «without signs of weakening» was noted, with a significant increase in the category «highly weakened» (from 31.0 to 51.7 %). The indicator for the categories «shrinking» and «dead wood» has changed slightly. The weighted average score of the state of the most common tree species showed no pronounced changes. The nutritional status of soils was characterized by a low level of availability of nitrogenous compounds, changes in soil acidity were found. With regular care, plants can move from one category to another. Existing species of woody plants are stable in these environmental conditions and can be recommended for landscaping objects of this purpose.

**Keywords:** state of the plants, woody plants, railway station areas, Kola Polar region, green spaces

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Acknowledgments.** The study was carried out within the framework of the research «Polar-Alpine Botanical Garden-Institute collection funds as a basis for biodiversity conservation, development of biotechnologies, optimization of urban environment conditions, phytorehabilitation and environmental education» (FMER-2021–0002, registration number 122011900097–6).

**Article history:** Received: 14 February 2021. Accepted: 11 March 2022

**For citation:** Sviatkovskaya EA, Saltan NV, Umanets MS, Trostenyuk NN. Monitoring the state of woody plants in railway impact zone in the Kola Polar region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):72–89. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-72-89

## Введение

Территории, прилегающие к железнодорожным вокзалам, являются частью городского озеленения и рассматриваются как единое пространство, которое должно соответствовать высоким стандартам качества городской среды. Эти особые объекты должны выглядеть высоко эстетичными благодаря грамотному благоустройству и озеленению. В оптимизации урбанизированных территорий и способности нивелировать неблагоприятные для человека факторы природного и техногенного происхождения большая роль отводится зеленым насаждениям [1–3].

Для озеленения привокзальных территорий предпочтительны древесные растения. При их использовании для эстетических целей необходимо учитывать, что декоративные качества зависят как от свойств самого растения, так и от условий его произрастания и развития. Декоративные свойства древесных растений необходимо использовать в неразрывной связи с биологическими особенностями растений и условиями внешней среды.

Большой вклад в разработку ассортимента древесных растений для озеленения урбанизированных территорий Кольского Севера вносит Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ) им. Н.А. Аврорина [4–9]. В результате исследований, проводимых в ПАБСИ с 1930-х гг., испытано более 20 тысяч образцов древесных растений 944 видов. Наиболее устойчивые виды включены в озеленительный ассортимент, в состав которого в настоящее время входят 44 вида деревьев, 87 видов кустарников и 5 видов древесных лиан, из них 74 % — интродуценты [9].

Приоритетной задачей при озеленении урбанизированных территорий ставится полное выявление функций растений, так как ухудшение условий обитания последних приводит к изменению их нормального роста и развития. Несмотря на то, что растения подвергаются комплексному химическому, физическому, биогенному воздействию вследствие загрязнения атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, они, тем не менее, остаются основным фактором экологической стабилизации городской среды [10].

**Цель исследования** — мониторинг состояния аборигенных и интродуцированных видов древесных растений, произрастающих вдоль путей, на привокзальных территориях городов Кольского Заполярья (Апатиты, Мурманск, Полярные Зори, Оленегорск, Кандалакша) для выявления устойчивых видов при данном типе загрязнения.

## Материалы и методы исследования

Провели мониторинговые исследования (2018–2021 гг.) видового разнообразия и состояния древесных насаждений, произрастающих на привокзальных территориях в городах Мурманской области (Мурманск, Оленегорск, Апатиты, Полярные Зори, Кандалакша) на ранее выделенных площадях. Обследуемые территории

расположены по правую и левую стороны от вокзала протяженностью до 1 км на расстоянии 5...10 м от железнодорожных путей.

Оценку состояния древесных растений проводили визуальным способом по методике В.С. Николаевского и Х.Г. Якубова [11]. Для каждого растения дали качественную и количественную характеристики. Состояние определяли по 6-балльной шкале. Высоту растений измеряли лазерным высотомером марки Nikon Forestry Pro II. Для повышения экологической значимости и надежности визуальной оценки состояния деревьев рассчитали средневзвешенный балл для наиболее распространенных древесных пород по формуле [12]

$$B_{\text{с.п.п}} = \frac{\sum (B_{c1} * n1 + B_{c2} * n2 + \dots + B_{ci} * ni)}{\sum (n1 + n2 + \dots + ni)}$$

где  $B_{\text{с.п.п}}$  — средневзвешенный балл состояния породы (вида);  $n_{1...i}$  — количество деревьев каждой категории состояния.

В почвах под зелеными насаждениями определили некоторые агрохимические показатели: кислотность, содержание азотного и нитратного азота, обменных форм фосфора и калия [13].

## Результаты исследования и обсуждение

Зеленые насаждения на территориях железнодорожных вокзалов в обследованных городах служат преимущественно для эстетического восприятия их пассажирами. Озеленение привокзальных территорий в Мурманской области носило стихийный характер, посадки около вокзалов осуществлялись без озеленительных проектов. Соответственно, интересные с точки зрения ландшафтного дизайна композиции здесь отсутствуют. В посадках доминируют аборигенные древесные виды. Интродуценты, в частности *Larix sibirica*, вводились по мере эксплуатации железной дороги.

Результаты 3-летнего мониторинга демонстрируют в целом незначительное увеличение видового разнообразия (2018 г. — 22 вида, 2021 г. — 24 вида). Видовой состав древесных растений привокзальных территорий в настоящее время включает 24 вида, из них 12 видов представлены деревьями (аборигенные виды: *Sorbus gorodkovii* Pojark, *Salix caprea* L., *Picea obovata* Ledeb., *Populus tremula* L., *Padus avium* Mill., *Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula* Roth; интродуценты: *Larix sibirica* Ledeb., *Picea pungens*, *Populus hybrida* hort, *Malus baccata* (L.) Borkh., *Tilia cordata* Mill.) и 12 — кустарниками (интродуценты: *Syringa josikaea* Jacq. fil., *Rosa rugosa* Thunb., *R. pimpinellifolia* L., *R. sp.*, *Caragana arborescens* Lam., *Crataegus sanguinea* Pall, *Spiraea chamaedrifolia* L., *S. salicifolia* L., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A.Br., *Lonicera tatarica* L.; аборигенные виды: *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L.). Вышеперечисленные виды относятся к 17 родам (*Betula* L., *Caragana* Fabr., *Crataegus* L., *Larix* Hill, *Lonicera* L., *Malus* Hill, *Padus* Hill, *Picea* A. Dietr., *Populus* L., *Ribes* L., *Rosa* L., *Salix* L., *Sorbus* L., *Sorbaria* (Ser.ex DC.) A. Br., *Spiraea* L., *Syringa* L., *Tilia* L.) и 9 семействам (*Rosaceae* Juss., *Pinaceae* Lindl., *Salicaceae* Mirb., *Betulaceae* S.F. Gray, *Caprifoliaceae* Juss., *Grossulariaceae* DC., *Oleaceae* Hoffm. ex Link, *Fabaceae* Lindl., *Tiliaceae* Juss.).



Наибольшее видовое разнообразие в 2021 г. обнаружено в Оленегорске (12 видов), незначительно меньше в Полярных Звездах (10 видов) и по 11 видов в остальных городах. В некоторых населенных пунктах отмечена тенденция к снижению видового разнообразия. Этому могло способствовать удаление низкодекоративных растений.

По количественному показателю выявлено снижение с 473 (2018 г.) до 362 (2021 г.) экземпляров деревьев и с 172 до 81 кустарника соответственно. Соотношение деревьев и кустарников изменилось незначительно: в 2018 г. 74 % и 26 %, а в 2021 г. — 82 % и 18 % соответственно. Доминирующие породы деревьев в 2018 г. (*Sorbus gorodkovii* (39,1 %), *Larix sibirica* (13,1 %) и *Betula pubescens* (12,1 %)) сохранили свое положение в 2021 г.: *Sorbus gorodkovii* — 39 %, *Larix sibirica* — 16,9 % и *Betula pubescens* — 13,5 % (табл. 1). Значительные изменения отмечены для кустарников, где доминирующий в 2018 г. вид *Rosa rugosa* (44 %) заменился в 2021 г. на *Caragana arborescens* (46,6 %), что связано с удалением *Rosa rugosa* при реконструкции железнодорожных объектов в г. Полярные Звезды и Мурманск. Увеличение количества экземпляров *Caragana arborescens* вызвано новыми посадками в г. Полярные Звезды. Второе место стабильно занимает *Syringa josikaea* — 18 % в 2018 г., 20 % в 2021 г. (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение, % от общего числа видов, деревьев и кустарников  
на привокзальных территориях в 2018 и 2021 гг.**

Тип	Вид растения	2018	2021
Деревья	<i>Sorbus gorodkovii</i>	39,1	39,0
	<i>Larix sibirica</i>	13,1	16,9
	<i>Betula pubescens</i>	12,1	13,5
	<i>Populus hybrida</i>	11,1	11,6
	<i>Padus avium</i>	6,1	2,2
	<i>Salix sp.</i>	5,1	5,5
	<i>Betula pendula</i>	4,1	4,1
	<i>Populus tremula</i>	4,1	2,8
	<i>Tilia cordata</i>	4,1	3,6
	<i>Malus baccata</i>	1,1	0,30
	<i>Picea glauca</i>	—	0,30
<i>Picea obovata</i>	—	0,30	
Кустарники	<i>Rosa rugosa</i>	44,0	2,5
	<i>Caragana arborescens</i>	19,0	46,6
	<i>Syringa josikaea</i>	18,0	20,0
	<i>Crataegus sanguinea</i>	7,0	2,5
	<i>Ribes nigrum</i>	5,0	8,6
	<i>Rosa pimpinellifolia</i>	2,0	4,9
	<i>Lonicera tatarica</i>	2,0	1,3
	<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	1,0	2,5
	<i>Rosa sp.</i>	0,5	4,9
	<i>Ribes rubra</i>	0,5	2,5
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	0,5	2,5
	<i>Spiraea salicifolia</i>	0,5	1,3

Distribution, %, of trees and shrubs in the railway station areas in 2018 and 2021

Type	Plant species	2018	2021
Trees	<i>Sorbus gorodkovii</i>	39.1	39.0
	<i>Larix sibirica</i>	13.1	16.9
	<i>Betula pubescens</i>	12.1	13.5
	<i>Populus hybrida</i>	11.1	11.6
	<i>Padus avium</i>	6.1	2.2
	<i>Salix sp.</i>	5.1	5.5
	<i>Betula pendula</i>	4.1	4.1
	<i>Populus tremula</i>	4.1	2.8
	<i>Tilia cordata</i>	4.1	3.6
	<i>Malus baccata</i>	1.1	0.30
	<i>Picea glauca</i>	–	0.30
<i>Picea obovata</i>	–	0.30	
Shrubs	<i>Rosa rugosa</i>	44.0	2.5
	<i>Caragana arborescens</i>	19.0	46.6
	<i>Syringa josikaea</i>	18.0	20.0
	<i>Crataegus sanguinea</i>	7.0	2.5
	<i>Ribes nigrum</i>	5.0	8.6
	<i>Rosa pimpinellifolia</i>	2.0	4.9
	<i>Lonicera tatarica</i>	2.0	1.3
	<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	1.0	2.5
	<i>Rosa sp.</i>	0.5	4.9
	<i>Ribes rubra</i>	0.5	2.5
	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	0.5	2.5
	<i>Spiraea salicifolia</i>	0.5	1.3

Декоративные качества (форма кроны, окраска коры, листвы, цветков и плодов, продолжительность и обильность цветения) максимально проявляются только при хорошем состоянии растений. По мере ухудшения состояния деревьев, а следовательно, и уменьшения их ассимиляционной поверхности снижаются эффективность регуляции микроклимата, чистоты воздуха, продуцирования кислорода и других важнейших функций зеленых насаждений, необходимых для благоприятной экологической обстановки в городах [14].

Изменение состояния зеленых насаждений по результатам трехлетнего мониторинга приведено на рис. 1. Доля древесных растений, не имеющих признаков ослабления, в 2021 г. выросла на 0,7 %. Это произошло за счет посадки новых деревьев или перехода некоторых экземпляров из категории «слабо ослабленные» в более высокую категорию. В то же время у деревьев значительно увеличилась категория «сильно ослабленные» с 31,0 % (2018 г.) до 51,7 % (2021 г.), причиной послужил переход средне ослабленных растений в более низкую категорию из-за отсутствия регулярного ухода. Показатель по категориям «усыхающие» и «сухостой» изменился незначительно. В целом не выявлено значительного ухудшения состояния деревьев за исследуемый период.

Среди кустарников отмечено резкое снижение числа здоровых растений (с 46 до 21 %), при этом существенно увеличилась доля категории «слабо ослабленные» — 56,8 % (рис. 1). Наиболее очевидным критерием ослабленности является наличие сухих ветвей. Выявлено снижение доли сильно ослабленных экземпляров и отсутствие сухостоя, что, связано с проведением своевременных санитарных рубок.

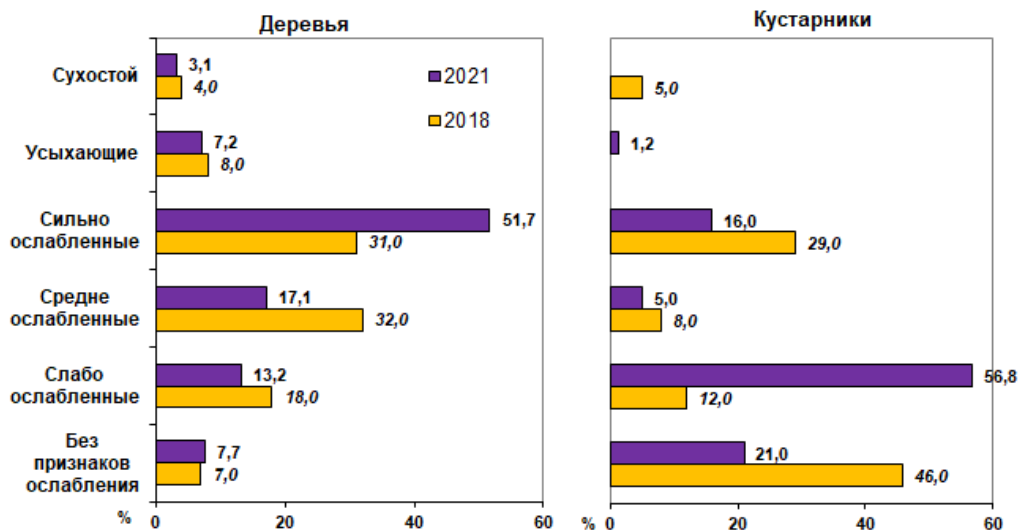


Рис. 1. Распределение категорий состояния обследуемых деревьев и кустарников в 2018–2021 гг.

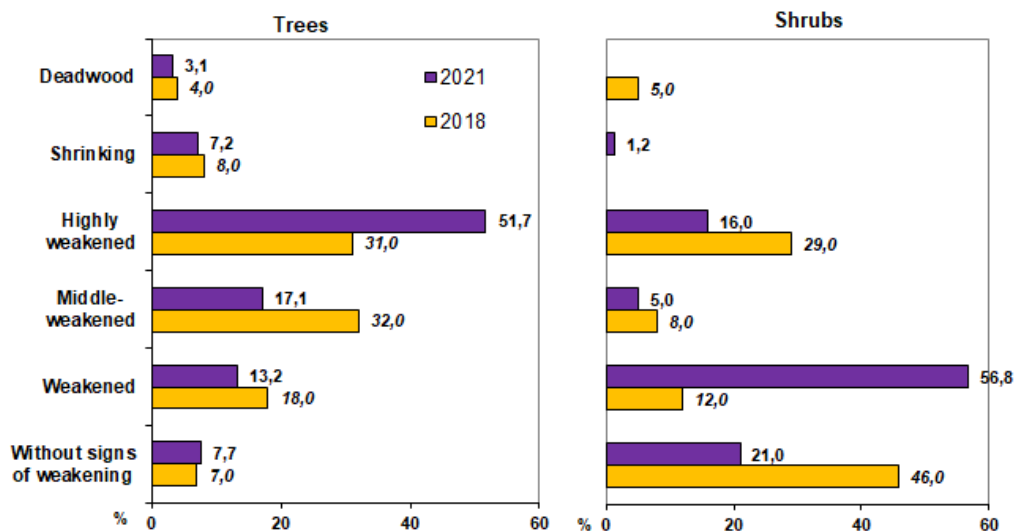


Fig. 1. State of surveyed trees and shrubs in 2018–2021

Мониторинг состояния древесных растений отдельно по видам выявил наибольший процент растений первой категории (без признаков ослабления) среди аборигенных видов деревьев у *Betula pubescens* (2018 — 16,0 %, 2021 — 16,3 %), среди интродуцентов — у *Larix sibirica* (2018 — 11,0 %, 2021 — 11,5 %) и *Malus baccata* (2018 — 100 %, 2021 — 100 %). Последний вид представлен в небольшом количестве в Кандалакше. Ослабленные в разной степени экземпляры выявлены у всех видов деревьев, кроме *Malus baccata* (рис. 2). Сравнительно высок процент категории «усыхающие» у *Padus avium* (25 %) и *Sorbus gorodkovii* (14 %). У *Salix caprea* отмечено резкое снижение растений данной категории с 37 (2018 г.) до 5 % (2021 г.). Основная причина уменьшения данного показателя связана с удалением усыхающих растений.

Мониторинг состояния декоративных кустарников выявил резкое снижение доли растений первой категории у *Caragana arborescens* с 87 (2018 г.) до 10,8 % (2021 г.), основной причиной является ослабленное состояние молодых посадок в период приживаемости. У *Rosa pimpinellifolia* и *Crataegus sanguinea* этот показатель остался практически неизменным (рис. 3). У большинства видов кустарников преобладают ослабленные растения. Отмечено ухудшение состояния у *Lonicera tatarica*. Несмотря на то, что данный вид относится к устойчивым видам, первоочередной причиной его плохого состояния следует считать старовозрастность посадок и отсутствие целенаправленного ухода.

Мониторинг состояния наиболее распространенных древесных пород в городах выявил, что у *Betula pubescens* процент здоровых экземпляров сохранился почти на прежнем уровне на железнодорожных вокзалах городов: Апатиты в 2018 и 2021 гг. по 33 %, Оленегорск в 2018 г. — 16 %, в 2021 г. — 20 % и Кандалакша в 2018 г. — 9 %, в 2021 г. — 7 % (рис. 4). В то же время резкие изменения показателей состояния произошли в городах Полярные Зори и Мурманск. В Мурманске отмечен значительный рост здоровых растений, в Полярных Зорях, напротив, выявлено ухудшение состояния данного вида, что связано с санитарным уходом за насаждениями (своевременным в Мурманске и отсутствием в г. Полярные Зори).

В городах Апатиты и Кандалакша по высоте выявлены наиболее крупные экземпляры, которые характеризуются плотными кронами, ровными стволами высотой от 8 до 14 м и диаметром стволов от 15 до 63 см. В других городах у *Betula pubescens* более низкие показатели: высота от 4 до 12 м, диаметр стволов от 10 до 39 см.

Среди основных аборигенных видов деревьев самое неблагоприятное состояние осталось у *Sorbus gorodkovii* (рис. 4). При этом растения первой категории в 2021 г. появились в Апатитах наряду с Мурманском и Оленегорском (в 2018 г.). Самая распространенная категория состояния у данного вида — «сильно ослабленные» экземпляры. Во всех городах, за исключением г. Полярные Зори, отмечен высокий процент растений категории «усыхающие» и «сухостой», что свидетельствует о необходимости санитарного ухода в ближайшее время. Снижению декоративности *Sorbus gorodkovii* способствует ее многостольность. Высота растений составляет от 3 до 15 м, доминируют экземпляры 5...6 м. Диаметр стволов колеблется от 4 до 22 см. Экземпляры с более крупным диаметром удалены из-за потери декора-

тивности. Основными признаками ослабленности деревьев данного вида являются односторонность и сильная изреженность крон, глубокие трещины на стволах, отлупы коры, сухие ветки, повреждения вредителями и болезнями.

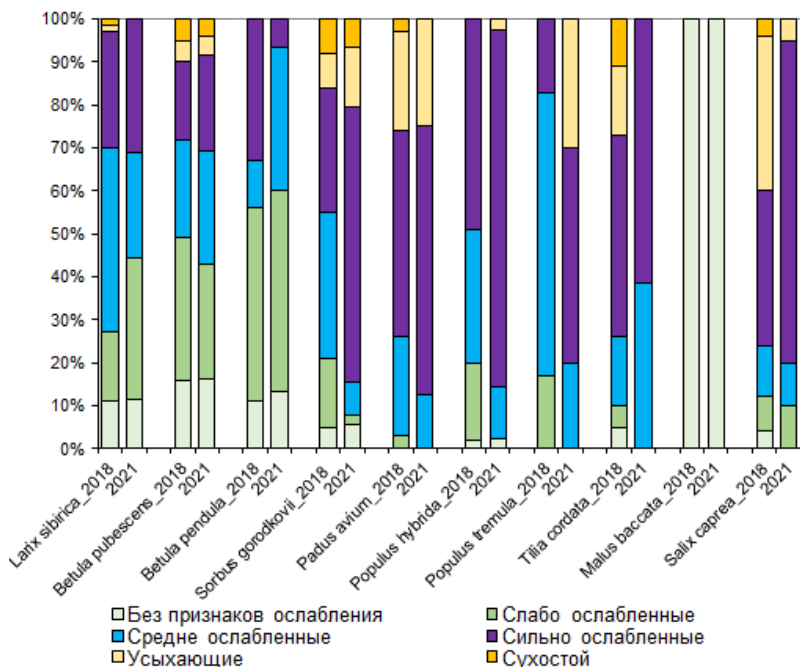


Рис. 2. Состояние интродуцированных и аборигенных видов деревьев

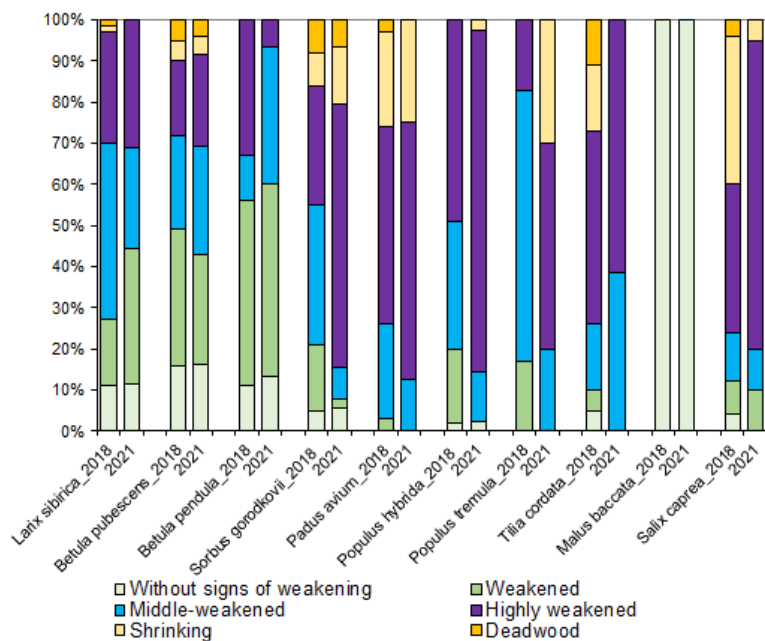


Fig. 2. State of introduced and native tree species

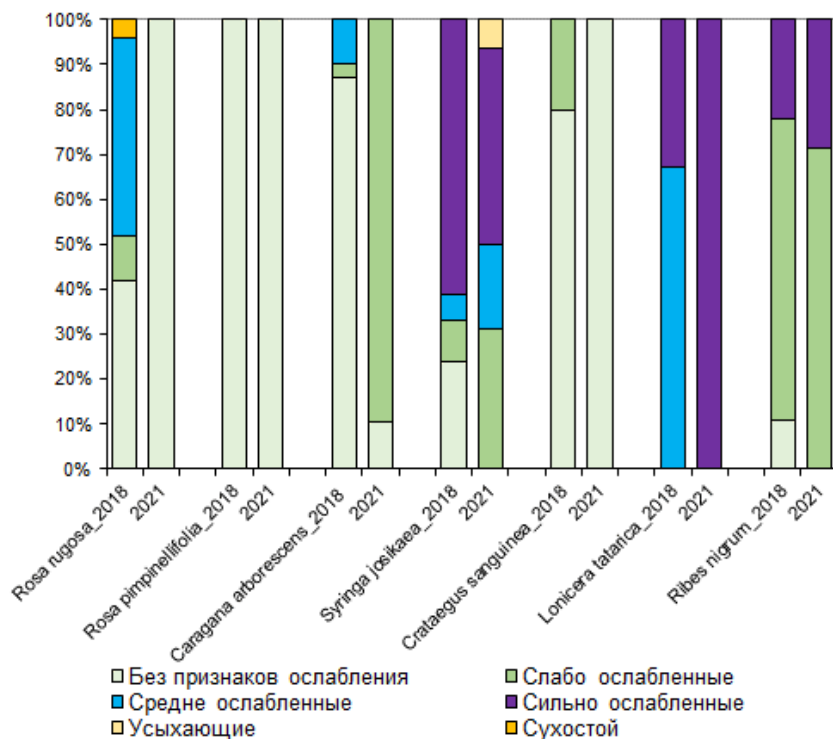


Рис. 3. Состояние кустарников на привокзальных территориях

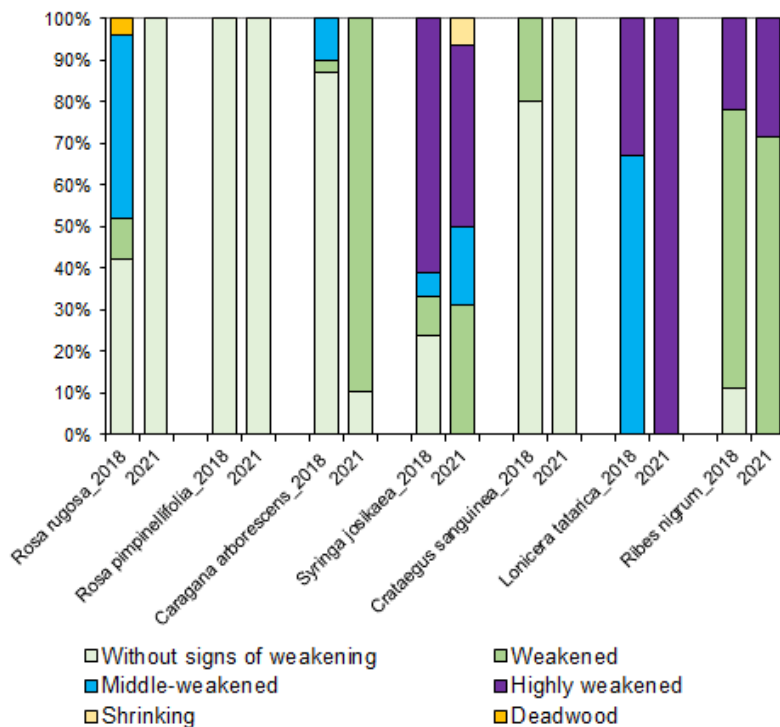


Fig. 3. State of shrubs in the railway station areas

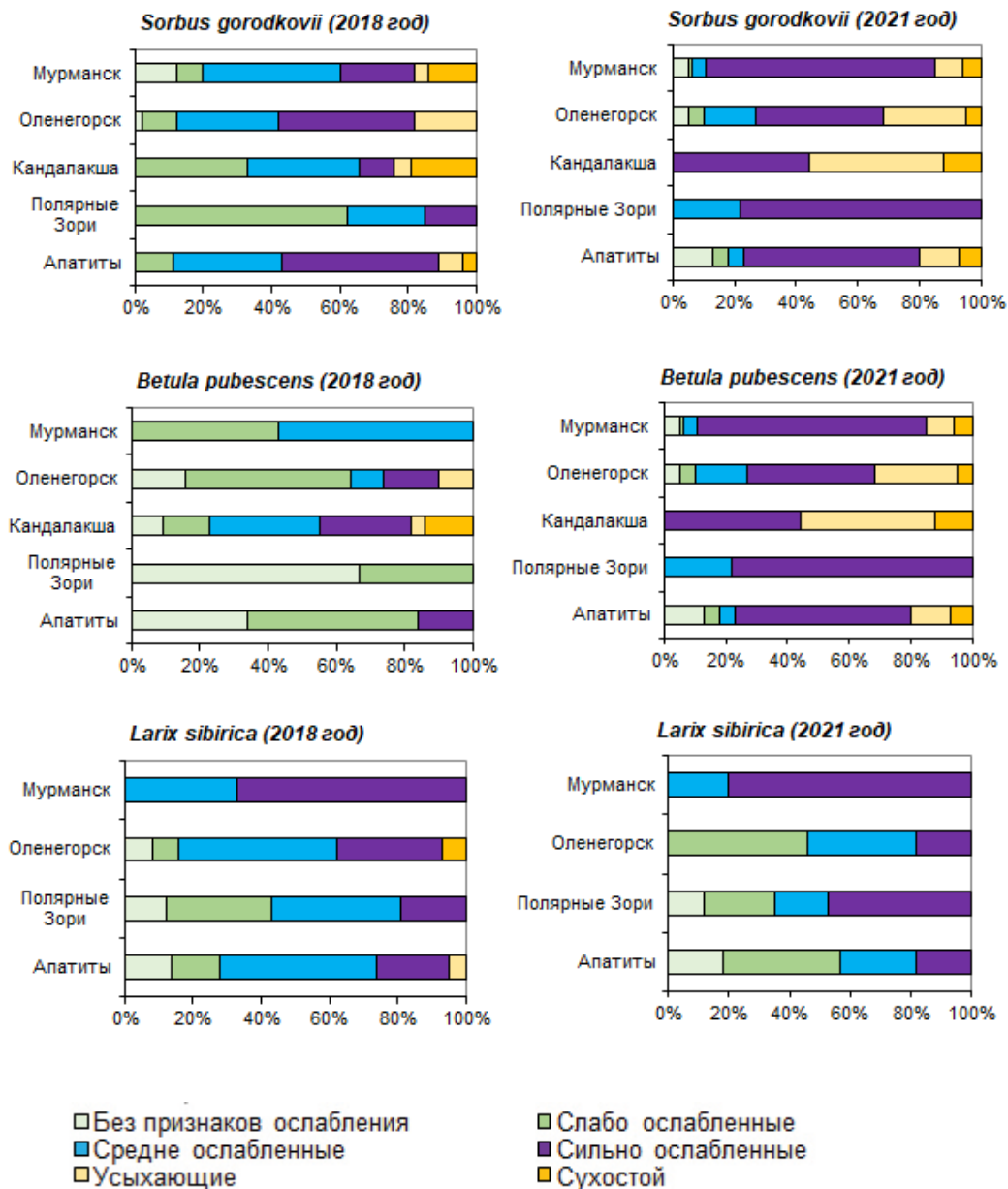


Рис. 4. Мониторинг состояния наиболее распространенных древесных пород на территории железнодорожных вокзалов





Fig. 4. Monitoring the state of the most common tree species in the railway station areas

Из дендроинтродуцентов на привокзальных территориях распространена *Larix sibirica* (см. рис. 4), которая считается одним из устойчивых видов в городах Кольского Севера [15]. Анализ состояния *Larix sibirica* в 2021 г. показал, что процент здоровых растений остался на прежнем уровне, кроме г. Оленегорск (отсутствует). Экземпляры первой категории отличаются стройными стволами, ажурными кронами, хорошим охвоением и обильным плодоношением. Анализ категорий ослабленных растений выявил, что в Оленегорске и Апатитах значительно вырос процент слабо ослабленных. В Полярных Зорях и Мурманске доминирует категория «сильно ослабленные», к которым отнесены экземпляры с механическим повреждением крон и стволов (удаление вершин и крупных веток при проведении электрокабеля).

Мониторинг состояния кустарников показал, что доминирующим видом, как сказано выше, является *Caragana arborescens*, у которой изменились количественный и качественный показатели. Первый показатель увеличился в Полярных Зорях, где к молодым растениям (высотой 0,5...1,5 м) были подсажены новые экземпляры (высотой 0,3...0,5 м). Снижение категории состояния (растения из первой категории (2018 г.) перешли во вторую (2021 г.)) могло произойти из-за отсутствия подкормок минеральными или органическими удобрениями, которые необходимы для молодых растений. Недостаток питательных веществ сказался на росте (прироста практически нет) и слабом облиствлении. В других городах особых изменений не выявлено.

Средневзвешенный балл состояния распространенных деревьев и кустарников на привокзальных территориях показал отсутствие существенных изменений состояния видов в целом (табл. 2). Можно отметить, что из всех обследуемых городов ухудшение среди всех доминирующих древесных растений выявлено в г. Полярные Зори.

Таблица 2

## Средневзвешенный балл состояния деревьев и кустарников

Города	<i>Larix sibirica</i>	<i>Betula pubescens</i>	<i>Sorbus gorodkovii</i>	<i>Caragana arborescens</i>	<i>Syringa josikaea</i>
Мурманск	3,6 3,8	2,6 2,6	3,2 4,2	2,3 1,7	3,5 3,9
Оленегорск	3,1 2,7	2,4 2,0	3,8 3,8	—	2,0 2,0
Апатиты	2,8 2,4	2,2 3,5	3,7 4,0	1,0 1,0	3,0 3,0
Полярные Зори	2,5 3,0	1,3 3,0	2,5 3,8	1,0 1,9	1,0 2,0
Кандалакша	—	3,5 3,0	3,4 4,7	— 1,0	—

Примечание: значение над чертой 2018 г., под чертой — 2021 г. «—» — вид отсутствует.

Table 2

## Average score of the state of trees and shrubs

City	<i>Larix sibirica</i>	<i>Betula pubescens</i>	<i>Sorbus gorodkovii</i>	<i>Caragana arborescens</i>	<i>Syringa josikaea</i>
Murmansk	3.6 3.8	2.6 2.6	3.2 4.2	2.3 1.7	3.5 3.9
Olenegorsk	3.1 2.7	2.4 2.0	3.8 3.8	—	2.0 2.0
Apatity	2.8 2.4	2.2 3.5	3.7 4.0	1.0 1.0	3.0 3.0
Polyarnye Zori	2.5 3.0	1.3 3.0	2.5 3.8	1.0 1.9	1.0 2.0
Kandalaksha	—	3.5 3.0	3.4 4.7	— 1.0	—

Note: the value above the line is 2018, below the line is 2021. «—» — not available.

На состояние растений оказывает влияние целый спектр факторов, особая роль принадлежит кислотности почв и наличию доступных форм элементов минерального питания [16]. Проведенное в 2021 г. повторное обследование кислотного и питательного статусов почв привозкальных территорий выявило, что в городах Апатиты, Кандалакша и Полярные Зори наблюдался рост значений рН, в Мурманске он остался без изменений, а в Оленегорске произошло смещение реакции среды в более кислую сторону. Как показало определение аммония и нитратов в образцах почв, количество минеральных форм азотистых соединений во всех образцах осталось на низком уровне обеспеченности (табл. 3). В Мурманске и Оленегорске содержание аммонийного азота в почве достигло нулевых значений, что, безусловно, не благоприятным образом сказывается на росте и развитии растений.

Таблица 3

## Агрохимические свойства почвенных субстратов железнодорожных объектов обследуемых городов

Город	рН (KCl)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/100г	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/100г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100г	K <sub>2</sub> O, мг/100г
Мурманск	6,61 6,76	0,62 0,00	0,51 0,73	152,7 129,5	23,5 —
Оленегорск	5,00 4,35	0,39 0,00	0,84 0,98	132,2 223,2	25,0 —
Апатиты	5,69 6,08	1,47 1,24	1,74 2,04	329,0 387,8	250,0 —
Полярные Зори	5,71 6,42	0,39 1,32	2,18 1,02	199,7 94,0	75,0 —
Кандалакша	6,15 7,09	0,2 1,39	1,60 0,94	135,1 152,7	32,5 —

Примечание. Значение над чертой 2018 г., под чертой — 2021 г. «—» — вид отсутствует.

## Agrochemical soil properties of railway station areas

City	pH (KCl)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/100g	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/100g	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100g
Murmansk	6.61	0.62	0.51	152.7	23.5
	6.76	0.00	0.73	129.5	—
Olenegorsk	5.00	0.39	0.84	132.2	25.0
	4.35	0.00	0.98	223.2	—
Apatity	5.69	1.47	1.74	329.0	250.0
	6.08	1.24	2.04	387.8	н/д
Polyarnye Zori	5.71	0.39	2.18	199.7	75.0
	6.42	1.32	1.02	94.0	—
Kandalaksha	6.15	0.2	1.60	135.1	32.5
	7.09	1.39	0.94	152.7	—

Note: the value above the line is 2018, below the line is 2021. «—» — not available.

Обеспеченность подвижным фосфором почв достаточно высокая (>100 мг/100 г), особенно в Апатитах. Присутствие повышенных концентраций фосфора в почвах может быть вызвано использованием противогололедных материалов на железнодорожных путях, промышленным загрязнением, воздействием бытового мусора и другими причинами.

### Заключение

В результате мониторинговых исследований зеленых насаждений на территориях железнодорожных вокзалов городов Мурманской области выявлено незначительное увеличение видового разнообразия (22 вида — 2018 г., 24 вида — 2021 г.). Видовой состав древесных растений ограничен и составил 16 % (2018 г.) и 17,5 % (2021 г.) от озеленительного ассортимента (137 видов). Следовательно, имеется большой резерв видов для озеленения объектов, расположенных вдоль железных дорог.

Состояние древесных растений на привокзальных территориях зависит от уровня антропогенных нагрузок, возраста насаждений и регулярности ухода. За период 2018–2021 гг. отмечено незначительное увеличение доли категории растений «без признаков ослабления» при значительном росте категории «сильно ослабленные» (с 31,0 до 51,7 %). Показатель по категориям «усыхающие» и «сухостой» изменился незначительно.

Средневзвешенный балл состояния наиболее распространенных видов деревьев продемонстрировал отсутствие выраженных изменений. Наблюдаются переходы в более низкие категории у *Sorbus gorodkovii* в Мурманске, Полярных Зорях и Канда- лалакше, у *Betula pubescens* — в Апатитах и Полярных Зорях. Среди кустарников отмечено незначительное ухудшение состояния у *Caragana arborescens* и *Syringa josikaea* в г. Полярные Зори.

Проведенный мониторинг не выявил особых изменений состояния как абори- генных, так и интродуцированных видов за исследуемый период. При регулярном уходе растения могут переходить из одной категории в другую. Существующие

виды древесных растений устойчивы в данных экологических условиях и могут быть рекомендованы для озеленения объектов такого назначения.

### Библиографический список

1. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
2. Сазонов Э.В. Экология городской среды. СПб.: ГИОРД, 2010. 312 с.
3. Haq S. Urban Green Spaces and an Integrative Approach to Sustainable Environment // *Journal of Environmental Protection*. 2011. Vol. 2. No. 5. Pp. 601—608. doi: 10.4236/jep.2011.25069
4. Аврорин Н.А. Чем озеленять города и поселки Мурманской области и северных районов Карело-Финской ССР. Кировск, 1941. 126 с.
5. Аврорин Н.А., Горюнова Л.Н., Качурина Л.И., Тамберг Т.Г. Основной ассортимент озеленительных растений для Мурманской области. Кировск: Кировский рабочий, 1956. С. 15—25.
6. Аврорин Н.А., Андреев Г.Н., Горюнова Л.Н., Качурина Л.И., Козупеева Т.А., Кузьмина Л.М., Шимановская З.Ф. Проект обязательного ассортимента растений для озеленительных питомников и теплично-парниковых хозяйств Крайнего Севера // *Декоративные растения и озеленение Крайнего Севера*. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 87—94.
7. Практическое руководство по озеленению городов и поселков Мурманской области. Апатиты: Кировский рабочий, 1970. 150 с.
8. Озеленение городов и поселков Мурманской области: практическое руководство. Мурманск: Кн. изд-во, 1982.
9. Гонтарь О.Б., Жиров В.К., Казаков Л.А., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 226 с.
10. Бухарина И.Л., Поварнищина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск: ОГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
11. Николаевский В.С., Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в крупном городе. М.: Наука, 2008. 67 с.
12. Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в Москве. М.: Стагирит-Н, 2005. 264 с.
13. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
14. Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 2001 г.): аналитический доклад / под ред. Х.Г. Якубова. М.: Прима-Пресс-М, 2002. Вып. 5. 336 с.
15. Saltan N.V., Sviatkovskaya E.A. Tree health of *Larix sibirica* Ledeb. in the railway impact zone on Kola peninsula // *Advanced Technologies for Sustainable Development of Urban Green Infrastructure* / V. Vasenev et al. (eds). SSC, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-75285-9\_1
16. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation // *Hindawi Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019. Article ID 5794869. 9 p. doi: 10.1155/2019/5794869

### References

1. Shihova NS, Polyakova EV. *Derev'ya i kustarniki v ozelenenii goroda Vladivostoka* [Trees and shrubs in the landscaping of Vladivostok]. Vladivostok: Dal'nauka publ.; 2006. (In Russ).
2. Sazonov EV. *Ekologiya gorodskoi sredy* [Ecology of the urban environment]. Saint Petersburg: GIORД publ.; 2010. (In Russ).
3. Haq S. Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment. *Journal of Environmental Protection*. 2011; 2(5):601—608. (In Russ). doi: 10.4236/jep.2011.25069
4. Avrorin NA. *Chem ozelenyat' goroda i poselki Murmanskoi oblasti i severnykh raionov Karelo-Finskoi SSR* [How to plant greenery in cities and towns of the Murmansk region and the northern regions of the Karelian-Finnish SSR]. Kirovsk; 1941. (In Russ).
5. Avrorin NA, Goryunova LN, Kachurina LI, Tamberg TG. *Osnovnoi assortment ozelenitel'nykh rastenii dlya Murmanskoi oblasti* [The main assortment of landscaping plants for the Murmansk region]. Kirovsk: Kirovskii rabochii publ.; 1956. (In Russ).
6. Avrorin NA, Andreev GN, Goryunova LN, Kachurina LI, Kozupееva TA, Kuz'mina LM, et al. The project of a mandatory assortment of plants for landscaping nurseries and greenhouses in the Far North. In:

*Dekorativnye rasteniya i ozelenenie Krainego Severa* [Ornamental Plants and Landscaping of the Far North]. Moscow: AN SSSR publ.; 1962. p.87–94. (In Russ).

7. *Prakticheskoe rukovodstvo po ozeleneniyu gorodov i poselkov Murmanskoi oblasti* [A practical guide to planting greenery in cities and towns of the Murmansk region]. Apatity: Kirovskii rabochii publ.; 1970. (In Russ).

8. *Ozelenenie gorodov i poselkov Murmanskoi oblasti: prakticheskoe rukovodstvo* [Landscaping of cities and towns of the Murmansk region: a practical guide]. Murmansk; 1982. (In Russ).

9. Gontar' OB, Zhironov VK, Kazakov LA, Svyatkovskaya EA, Trostenyuk NN. *Zelenoe stroitel'stvo v gorodakh Murmanskoi oblasti* [Green building in the cities of the Murmansk region]. Apatity: KNC RAN publ.; 2010. (In Russ).

10. Buharina IL, Povamicina TM, Vedernikov KE. *Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rastenii v urbanizirovannoi srede* [Ecological and biological features of woody plants in an urbanized environment]. Izhevsk: Izhevskaya GSKHA publ.; 2007. (In Russ).

11. Nikolaevskij VS, Yakubov HG. *Ekologicheskii monitoring zelenykh nasazhdenii v krupnom gorode* [Ecological monitoring of green spaces in a large city]. Moscow: Nauka publ.; 2008. (In Russ).

12. Yakubov HG. *Ekologicheskii monitoring zelenykh nasazhdenii v Moskve* [Ecological monitoring of green spaces in Moscow]. Moscow: Stagirit-N publ.; 2005. (In Russ).

13. Arinushkina EV. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guide to the chemical analysis of soils]. Moscow: MGU publ.; 1970. (In Russ).

14. Yakubov HG. (ed.) *Sostoyanie zelenykh nasazhdenii v Moskve (po dannym monitoringa 2001 g.)* [State of green spaces in Moscow (according to monitoring data in 2001)]. Moscow: Prima-Press-M publ.; 2002. (In Russ).

15. Saltan NV, Svyatkovskaya EA. Tree health of *Larix sibirica* Ledeb. in the railway impact zone on Kola Peninsula. In: Vasenev V. et al. (eds.) *Advanced Technologies for Sustainable Development of Urban Green Infrastructure*. Springer Geography: Springer, Cham; 2020. doi: 10.1007/978-3-030-75285-9\_1

16. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Hindawi Applied and Environmental Soil Science*. 2019. doi: 10.1155/2019/5794869

#### Об авторах:

Святковская Екатерина Александровна — научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: sviatkovskaya@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-4069-7020  
SPIN-код: 3143-2491

Салтан Наталья Владимировна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: saltan.natalya@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-5905-9774  
SPIN-код: 6405-0697

Уманец Марина Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: mar.umanets@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-5702-3858  
SPIN-код: 1064-2792

Тростенюк Надежда Николаевна — научный сотрудник лаборатории интродукции и акклиматизации растений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: tnn\_arrec@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6574-9624  
SPIN-код: 4462-9233

**About the authors:**

*Sviatkovskaya Ekaterina Alexandrovna*—Researcher, Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: sviatkovskaya@mail.ru  
ORCID: 0000–0002–4069–7020  
SPIN-code: 3143–2491

*Saltan Natalia Vladimirovna*—Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: saltan.natalya@mail.ru  
ORCID: 0000–0002–5905–9774  
SPIN-code: 6405–0697

*Umanets Marina Sergeevna*—Junior researcher, Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: mar.umanets@yandex.ru  
ORCID: 0000–0002–5702–3858  
SPIN-code: 1064–2792

*Trostenyuk Nadezhda Nikolaevna*—Researcher, Plant Introduction and Acclimatization Laboratory, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: tnn\_aprec@mail.ru  
ORCID: 0000–0002–6574–9624  
SPIN-code: 4462–9233










## Защитное лесоразведение Protective afforestation


DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-90-103  
УДК 634.0.232.31

Научная статья / Research article

### Сравнительная характеристика посадочного материала березы повислой, выращенного из семян осеннего и весеннего посева

С.А. Кабанова<sup>1</sup>  , А.Н. Кабанов<sup>1</sup> ,  
М.А. Данченко<sup>2</sup> , И.С. Кочегаров<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства  
и агролесомелиорации, г. Щучинск, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация  
 kabanova.05@mail.ru

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ однолетних сеянцев березы повислой (*Betula pendula* Roth.), выращенных из семян осеннего и весеннего срока посева. Посадочный материал содержался в закрытом грунте. При посеве в почву вносились различные ростовые вещества — минеральные и органические удобрения, лесная почва. Выявлено, что при осеннем посеве высота сеянцев на вариантах опыта превышала высоту контрольных экземпляров в 1,03...1,66 раз, кроме вариантов опыта с применением азотного и фосфорного удобрений, но на данных вариантах наблюдалось наибольшее число растений на единице площади. На вариантах опыта с применением Гуматофосфата, борной кислоты, Трихоцина, перегноя и лесной почвы от 60 до 100 % сеянцев к однолетнему возрасту достигли стандартных величин. Аналогичный опыт с применением тех же ростовых веществ, но с весенним посевом семян, показал значительное отставание роста сеянцев. Использование азотного удобрения в весенний период, в отличие от осеннего, благоприятно повлияло на высоту растений, однолетние сеянцы имели наибольшую высоту в опыте — 14,1 см. Также хорошие показатели имели сеянцы на вариантах с внесением перегноя и лесной почвы. Все варианты обгоняли по высоте контрольные сеянцы в 1,06...2,68 раз. Следовательно, важен срок посева семян — у сеянцев осеннего периода все количественные признаки роста сеянцев значительно превышают аналогичные признаки сеянцев весеннего срока посева семян. Данный факт объясняется несколькими причинами: при осеннем сроке семена высеваются свежесобранными, они проходят предпосевную подготовку (снегование и стратификацию) в естественных условиях, семена

© Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Кочегаров И.С., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

не подвергаются хранению, при нарушении условий которого семена значительно теряют всхожесть. Кроме того, семена начинают всходить и всходы трогаются в рост значительно раньше, чем если бы они были высеяны весной. Всходы не подвергаются поздневесенним заморозкам, так как находятся под защитой укрывного материала. Из вариантов опыта можно выделить внесение лесной почвы и перегноя в посевном отделении лесного питомника.

**Ключевые слова:** береза повислая, *Betula pendula* Roth., закрытый грунт, посадочный материал, ростовые вещества






**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование. Благодарности.** Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (№ BR 10263776).

**История статьи:** поступила в редакцию 24 апреля 2020 г., принята к публикации 21 февраля 2022 г.


**Для цитирования:** Кabanova С.А., Кabanov А.Н., Данченко М.А., Кочегаров И.С. Сравнительная характеристика посадочного материала березы повислой, выращенного из семян осеннего и весеннего посева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С.90—103. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-90-103

## Comparative characteristics of planting material of silver birch grown from seeds of autumn and spring sowing

Svetlana A. Kabanova<sup>1</sup>  , Andrey N. Kabanov<sup>1</sup> ,  
Matvey A. Danchenko<sup>2</sup> , Igor S. Kochegarov<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia

 kabanova.05@mail.ru

**Abstract.** Annual seedlings of silver birch (*Betula pendula* Roth.), grown from seeds of autumn and spring sowing period, were analyzed. Planting material was kept in protected ground. Before sowing, various growth substances were incorporated into the soil — mineral and organic fertilizers, forest soil. It was revealed that autumn sowing increased the height of seedlings 1.03...1.66-fold in the variants compared to the control, except for the variants with the use of nitrogen and phosphorus fertilizers, where the largest number of plants per unit area was observed. In the variants with Humatophosphate, boric acid, Trichocin, humus and forest soil, from 60 to 100 % of seedlings reached standard values in a year. A similar experiment with the same growth substances, but spring sowing of seeds, showed a significant lag in seedling growth. The use of nitrogen fertilizer in spring, in contrast to the autumn period, had a positive effect on plant height, annual seedlings had the highest height in the experiment — 14.1 cm. Seedlings in variants with humus and forest soil also had good indicators. All variants overtook the control seedlings in height by 1.06...2.68 times. Therefore, the time of sowing seeds is important — all indicators of autumn seedlings significantly exceed the similar ones of spring seedlings. This fact is explained by several reasons: during the autumn period, the seeds are sown freshly harvested, they undergo pre-sowing preparation (snowing and stratification) in natural conditions, the seeds are not stored, in case of violation of which the seeds significantly lose their germination capacity. In addition, the seeds begin to germinate and shoots begin to grow much earlier than if they were sown in the spring. Shoots are not exposed to late spring frosts, as they are protected by covering material.

**Keywords:** silver birch, *Betula pendula* Roth., protected ground, planting material, growth substances

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Acknowledgments.** This study was funded by the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (No. BR10263776).

**Article history:** Received: 24 April 2020. Accepted: 21 February 2022

**For citation:** Kabanova SA, Kabanov AN, Danchenko MA, Kochegarov IS. Comparative characteristics of planting material of silver birch grown from seeds of autumn and spring sowing. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):90—103. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-90-103

## Введение

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) достаточно широко распространена на территории Казахстана, колочные березовые леса частично выполняют защитную функцию в отношении сельскохозяйственных земель в степной и лесостепной зоне. В последние годы березовые насаждения подвержены заболеванию бактериальной водянойкой, во многих областях наблюдаются вымочки, что приводит к деградации и гибели лесов. Поэтому восстановление березовых лесов — одна из первоначальных задач. Проблема лесоразведения очень остро стоит в Прибалтийский странах на бывших сельскохозяйственных землях. Достаточно много исследований роста и развития березовых лесов проводится в Финляндии и Швеции [1–5].

Хотя береза считается неприхотливой породой, но существуют трудности с получением достаточного количества стандартных семян. В Казахстане наблюдается нехватка посадочного материала березы, поэтому лесные и озеленительные учреждения вынуждены закупать его в близлежащих странах, в частности, в России. Также в некоторых питомниках расширяется ассортимент растений, применяемых для выращивания в лесных культурах. Так, помимо березы, возможно выращивание некоторых перспективных интродуцентов, приспособленных к неблагоприятным почвенным и климатическим условиям Казахстана [6–8].

Если исследований по выращиванию посадочного материала сосны обыкновенной и некоторых других древесных пород существует множество [9–21], то получению стандартного посадочного материала березы повислой уделено очень мало внимания. В частности, предлагается в засушливых районах Республики Башкортостан производить посев в летний период свежесобранными семенами, а в лесной и лесостепной зоне рекомендуется позднеосенний или зимний посев с присыпкой семян торфом или перегноем и внесением минеральных удобрений в определенных количествах [22]. К особенностям выращивания посадочного материала березы относят летний посев семян, при котором всходы появляются в текущем году и всхожесть семян повышается. Отмечается, что в условиях закрытого грунта сеянцы березы превышают биометрические показатели сеянцев, выращенных в открытом грунте, в 3–4 раза [23]. Проводятся опыты с внесением в почву грибов, что позволяет увеличить рост и фитомассу сеянцев березы [24]. В Казахстане также проводились опыты с применением укрывного материала [25]. Выявлено, что при использовании стимуляторов Гумат+7, Гумат-Натрий и Байкал

высота опытных сеянцев превышала высоту контрольных растений на 48...56 %, а встречаемость их на 1 пог. м была больше в 2 раза. Поскольку в Республике Казахстан наблюдается острая нехватка посадочного материала березы повислой для озеленения городов и создания зеленой зоны вокруг столицы, быстрое выращивание сеянцев является весьма актуальным. Отсюда вытекает **цель исследований** — определение оптимального способа ускоренного выращивания березы повислой в Северном Казахстане.

## Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись однолетние сеянцы березы повислой, выращенные из семян, посеянных в два срока. Наблюдения проводились в лесном питомнике КГУ «ЛХ Есильское», расположенном в Северо-Казахстанской области. Посадочный материал предназначен для создания второй очереди зеленого пояса вокруг г. Нур-Султана, что предполагает его хорошее качество. Для данных условий произрастания характерен резко-континентальный климат с длительной холодной зимой и жарким летом. Почвы в посевном отделении — черноземные.

Посев семян березы повислой производился в два срока — осенний и весенний. Для посева использовались семена одного сбора: осенью посеяны свежесобранные семена, весной — те же семена после зимнего хранения. За время хранения класс семян снизился на 1 балл.

Осенний посев производился в 2018 г. с внесением в почву различных веществ и посева семян, замоченных в Байкале в течение 1 ч. Во время весеннего посева 2019 г. опыты были заложены по 3 направлениям:

1) замачивание семян в стимуляторах, а также последовательное замачивание в стимуляторах и фунгициде Трихоцин. Используются следующие стимуляторы: Байкал, Циркон, Биосил, Бинорам, Фитоспорин. Замачивание семян в стимуляторах от 1,5 до 6 ч согласно рекомендациям производителей, часть семян после прохождения предпосевной обработки в стимуляторах дополнительно замачивалась в фунгициде в течение 2 ч. Весенний посев семян;

2) внесение сухих веществ в почву (карбамид, суперфосфат, перегной, лесная почва, гуматофосфат, борная кислота). Осенний и весенний посев семян с предварительным замачиванием в Байкале (1 ч);

3) полив почвы, внесение жидких ростовых веществ перед посевом семян (ЕМ ЕкоКЗКультуры, ЭридГроу, Цитовит, Триходермин, Триходерма вериде, Фитоспорин-М, Карбамид+суперфосфат+Эрид Гроу, Фертика). Весенний посев семян с предварительным замачиванием в Байкале (1 ч).

Посев семян производился в деревянных коробах размером 1×2 м, высота стенки составляла 20 см. После посева все осенние и весенние опыты закрывались Агротексом и выращивались в закрытом грунте. Полив осуществлялся тракторным опрыскивателем по мере необходимости, но в год наблюдения было очень дождливое лето. Каждый вариант опыта был выполнен в двух повторностях.

Осенью 2019 г. на опытных участках был произведен сплошной пересчет растений на 2 м<sup>2</sup> с замером высоты 50 стволиков линейкой с точностью до 1 мм. Исследования проводились по соответствующим методикам [26, 27].

## Результаты исследования и обсуждение

На участке с высеванными осенью 2018 г. семенами сеянцы березы повислой имели хорошее состояние, высокую облиственность, листья ярко-зеленого цвета. В табл. 1 приведена средняя высота однолетних сеянцев березы повислой осеннего посева. В варианте опыта с применением лесной почвы сеянцы отличались наибольшей средней высотой — 31,0 см. В целом, почти все варианты опыта превышали указанный показатель контрольных экземпляров в 1,03...1,66 раз. Наименьшими размерами отличались сеянцы на вариантах опыта с применением азотного и фосфорного удобрений, но следует отметить, что при этом на данных вариантах наблюдалось наибольшее число растений на единице площади. На контрольных вариантах при небольшой численности растений высота их имела низкие значения. Коэффициент вариации по высоте на всех опытных делянках колебался на очень высоком уровне, что говорит о нестабильности признака, поэтому было определено количество стандартных и нестандартных сеянцев по вариантам. От 60 до 100 % стандартного однолетнего посадочного материала было на вариантах опыта с применением Гуматофосфата, борной кислоты, Трихоцина, перегноя и лесной почвы.

В результате наблюдений выявлено, что однолетние сеянцы березы повислой к осени 2019 г. имели высоту, соответствующую требованиям ГОСТ 3317–90 к стандартному посадочному материалу, когда сеянцы в возрасте 1,5...2 г. должны иметь высоту не менее 15 см и диаметр стволика не менее 2,5 мм для условий лесостепи.

Таблица 1

Высота однолетних сеянцев березы повислой осеннего посева

Ростовое вещество	Доза внесения	Высота		Число сеянцев на 2 м <sup>2</sup> , шт	Встречаемость стандартных сеянцев по высоте (градация, см),%	
		$X \pm m$ , см	Коэффициент вариации, %		Встречаемость стандартных сеянцев по высоте (градация, см),%	
					1...15	16 и выше
Карбамид	6 г/2 м <sup>2</sup>	16,0±1,31	59,4	200	73,1	26,9
Суперфосфат	4 г/2 м <sup>2</sup>	19,2±1,66	61,4	217	60,0	40,0
Перегной	20 л/2 м <sup>2</sup>	25,4±1,54	43,5	67	21,6	78,4
Лесная почва	20 л/2 м <sup>2</sup>	31,0±1,43	32,7	67	—	100,0
Гуматофосфат	50 мл/5 л	20,3±1,73	60,5	49	40,0	60,0
Борная кислота	0,2 г/1 м <sup>2</sup>	22,9±2,10	64,9	50	40,0	60,0
Контроль		18,7±1,52	57,4	70	52,0	48,0

Table 1

## Height of silver birch annual seedlings sown in autumn

Growth substance	Application dose	Height		Number of seedlings per 2 m <sup>2</sup>	Standard seedlings by height (gradation, cm),%	
		X±m, cm	Coefficient of variation,%		1...15	>16
Superphosphate	4g / 2m <sup>2</sup>	19.2±1.66	61.4	217	60.0	40.0
Humus	20 l / 2m <sup>2</sup>	25.4±1.54	43.5	67	21.6	78.4
Forest soil	20 l / 2m <sup>2</sup>	31.0±1.43	32.7	67	–	100.0
Humate phosphate	50ml / 5L	20.3±1.73	60.5	49	40.0	60.0
Boric acid	0.2g / 1m <sup>2</sup>	22.9±2.10	64.9	50	40.0	60.0
Control		18.7±1.52	57.4	70	52.0	48.0

Определены количественные показатели сеянцев березы повислой (табл. 2). Лидировал по изучаемым признакам вариант с использованием лесной земли, сеянцы на котором имели наибольшие показатели роста, надземной и подземной фитомассы. По диаметру корневой шейки два варианта (применение азотного и фосфорного удобрения), а также контрольные сеянцы не достигли требований, предъявляемых к стандартному посадочному материалу.

Таблица 2

## Средние количественные показатели однолетних сеянцев березы повислой осеннего посева 2018 г.

Ростовое вещество	Количественные показатели сеянцев			
	Диаметр стволика, см	Абсолютно сухая масса стволика, г	Абсолютно сухая масса корня, г	Соотношение длины корня и длины стволика
Карбамид	0,21±0,02	0,39±0,11	0,22±0,05	1,7
Суперфосфат	0,24±0,02	0,58±0,14	0,39±0,09	1,7
Перегной	0,31±0,02	1,09±0,18	0,62±0,11	1,3
Лесная почва	0,36±0,03	1,78±0,39	1,08±0,23	1,3
Гуматофосфат	0,31±0,03	1,05±0,26	0,62±0,16	1,6
Борная кислота	0,30±0,03	1,12±0,21	0,59±0,12	1,4
Контроль	0,23±0,02	0,62±0,14	0,34±0,07	1,2

Table 2

## Average quantitative indicators of annual seedlings of silver birch sown in autumn, 2018

Name of growth substance	Quantitative indicators			
	Stem diameter, cm	Absolutely dry weight of stem, g	Absolutely dry weight of root, g	Root length and stem length ratio
Urea	0.21±0.02	0.39±0.11	0.22±0.05	1.7
Superphosphate	0.24±0.02	0.58±0.14	0.39±0.09	1.7
Humus	0.31±0.02	1.09±0.18	0.62±0.11	1.3
Forest soil	0.36±0.03	1.78±0.39	1.08±0.23	1.3
Humate phosphate	0.31±0.03	1.05±0.26	0.62±0.16	1.6
Boric acid	0.30±0.03	1.12±0.21	0.59±0.12	1.4
Control	0.23±0.02	0.62±0.14	0.34±0.07	1.2

Аналогичный опыт с применением тех же ростовых веществ, но с весенним посевом семян (опыт 2), показал значительное отставание роста сеянцев (табл. 3). Использование азотного удобрения в весенний период, в отличие от осеннего, благоприятно повлияло на высоту растений, однолетние сеянцы имели наибольшую высоту в опыте — 14,1 см. Также хорошие показатели имели сеянцы на вариантах с внесением перегноя и лесной почвы. Все варианты обгоняли по высоте контрольные сеянцы в 1,06...2,68 раз.

Таблица 3

## Высота однолетних сеянцев березы повислой весеннего посева

Наименование опыта	Время выдержки, ч	Доза внесения	Высота			Общее количество, шт.
			Среднее, см $\bar{X} \pm m$	Вариация, %	Ср. отклонение	
Опыт 1. Замачивание семян в стимуляторах и фунгициде						
Байкал	1,5	2 мл/2 л	7,72±0,74	40,8	3,1	19
Циркон	6	0,5 мл/2 л	7,82±0,48	45,8	3,6	55
Контроль			8,47±0,82	42,3	3,6	19
Биосил	2	7,5 мл/1 л	7,09±0,50	55,8	3,9	61
Бинорам	2	5 мл/1 л	8,62±0,61	42,8	3,7	36
Фитоспорин-М	2	1 мл/250 мл	8,72±0,70	62,1	5,4	60
Байкал+Трихоцин	1,5+2	2 мл/2 л	7,64±0,70	42,8	3,3	21
Циркон+Трихоцин	6+2	0,5 мл/2 л	9,36±0,83	63,3	5,9	50
Контроль+Трихоцин	2	0,6 г/1 л	8,66±1,78	61,8	5,3	9
Среднее по опыту			8,13			
Опыт 2. Внесение сухих веществ в почву. Посев семян с предварительным замачиванием в Байкале (1 ч)						
Карбамид		6 г/2 м <sup>2</sup>	14,10±1,60	56,7	8,0	25
Суперфосфат		4 г/2 м <sup>2</sup>	6,90±0,60	52,8	3,6	31
Перегной		20 л/2 м <sup>2</sup>	12,00±1,60	73,2	8,8	32
Лесная почва		20 л/2 м <sup>2</sup>	8,10±2,00	81,3	6,6	11
Гуматофосфат		50 мл/5 л	5,57±0,40	60,4	3,4	47



Наименование опыта	Время выдержки, ч	Доза внесения	Высота			Общее количество, шт.
			Среднее, см $\bar{X} \pm m$	Вариация, %	Ср. отклонение	
Борная кислота		0,2г/1м <sup>2</sup>	5,93±0,57	61,1	3,6	40
Контроль			5,26±0,60	72,5	3,8	44
Среднее по опыту			8,76			
Опыт 3. Полив почвы, внесение ростовых веществ перед посевом семян. Посев семян с предварительным замачиванием в Байкале (1 ч)						
ЕМ ЭкоКЗКультуры		50 мл/10 л	6,30±0,71	87,9	5,5	64
ЭридГроу		100 мл/10 л	6,50±0,70	65,4	4,2	37
Цитовит		1,5 мл/3 л	7,53±1,25	66,7	5,0	16
Трихоцин		1,2 г/2 л/2 м <sup>2</sup>	9,24±1,00	61,2	5,7	31
Триходерма вериде		5 г/л/2 м <sup>2</sup>	7,32±0,60	69,3	5,1	70
Фитоспорин-М		1ст.л./10 л/2 м <sup>2</sup>	6,88±1,20	75,2	5,2	19
Карбамид+суперфосфат+Эрид Гроу		3 г+2 г/м <sup>2</sup> +100 мл/10 л	7,41±1,41	80,9	6,0	18
Фертика		50...70 г/м <sup>2</sup>	11,00±1,60	70,3	7,7	23
Контроль			7,13±0,79	67,7	4,8	37
Среднее по опыту			7,77			

Table 3

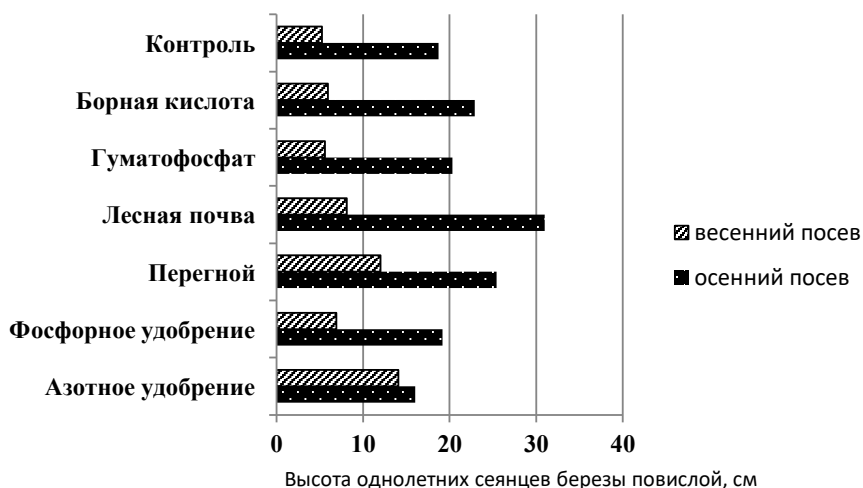
## Height of annual seedlings of drooping birch spring sowing

Experiment name	Exposure time, hour	Application rate	Height			Total number
			Average, cm $\bar{X} \pm m$ varia	Variation, %	Average deviation	
Experiment 1. Soaking seeds in stimulants and fungicides						
Baikal	1.5	2 ml / 2 l	7.72±0.74	40.8	3.1	19
Zircon	6	0.5 ml / 2 l	7.82±0.48	45.8	3.6	55
Control			8.47±0.82	42.3	3.6	19
Biosil	2	7.5 ml / 1 l	7.09±0.50	55.8	3.9	61
Binoram	2	5 ml / 1 l	8.62±0.61	42.8	3.7	36
Fitosporin-M	2	1 ml / 250 ml	8.72±0.70	62.1	5.4	60
Baikal + Trichocin	1.5+2	2 ml / 2 l	7.64±0.70	42.8	3.3	21
Zircon + Trichocin	6+2	0.5 ml / 2 l	9.36±0.83	63.3	5.9	50
Control + Trichocin	2	0.6 g / 1 l	8.66±1.78	61.8	5.3	9
average			8.13			
Experiment 2. Application of dry substances to the soil. Sowing seeds with preliminary soaking in Baikal (1h)						
Urea		6 g/2 м <sup>2</sup>	14.10±1.60	56.7	8.0	25
Superphosphate		4 g/2 м <sup>2</sup>	6.90±0.60	52.8	3.6	31
Humus		20 l/2 м <sup>2</sup>	12.00±1.60	73.2	8.8	32
Forest soil		20 l/2 м <sup>2</sup>	8.10±2.00	81.3	6.6	11
Humate phosphate		50 ml/5 L	5.57±0.40	60.4	3.4	47
Boric acid		0.2 g/1 м <sup>2</sup>	5.93±0.57	61.1	3.6	40
Control			5.26±0.60	72.5	3.8	44
average			8.76			

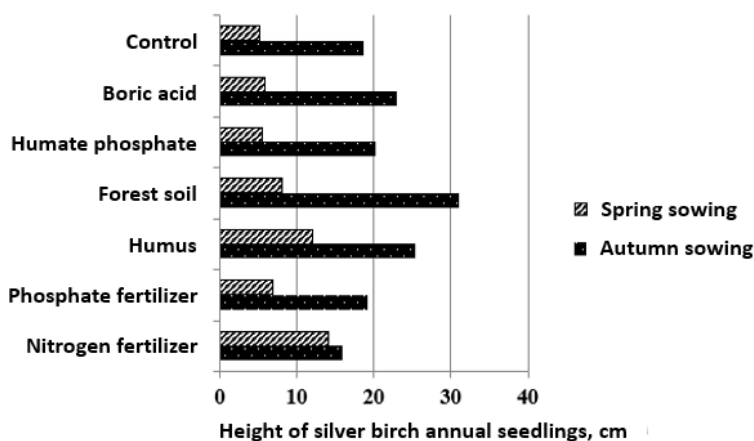
Experiment name	Exposure time, hour	Application rate	Height			Total number
			Average, cm $\bar{X} \pm m$ varia	Variation, %	Average deviation	
<b>Experiment 3. Watering the soil, application of growth substances before sowing seeds. Sowing seeds with preliminary soaking in Baikal (1h)</b>						
EM EcoKZCultures		50 ml / 10 L	6.30±0.71	87.9	5.5	64
AridGrow		100 ml / 10 L	6.50±0.70	65.4	4.2	37
Citovit		1.5 ml / 3 L	7.53±1.25	66.7	5.0	16
Trichocin		1.2 g / 2 l / 2 m <sup>2</sup>	9.24±1.00	61.2	5.7	31
Trichoderma veride		5 g / l / 2 m <sup>2</sup>	7.32±0.60	69.3	5.1	70
Fitosporin-M		1 st.l / 10l / 2 m <sup>2</sup>	6.88±1.20	75.2	5.2	19
Urea + Superphosphate + Erid Grow		3 g + 2 g / m <sup>2</sup> + 100 ml / 10 L	7.41±1.41	80.9	6.0	18
Fertika		50...70 g / m <sup>2</sup>	11.00±1.60	70.3	7.7	23
Control			7.13±0.79	67.7	4.8	37
average			7.77			

Наибольший средний показатель высоты сеянцев имел опыт с внесением сухих ростовых веществ в почву и посевом семян, замоченных в Байкале в течение 1 (8,76 см), незначительно отставал опыт с замачиванием семян в различных стимуляторах (8,13 см). Хотя стимуляторы при предпосевной обработке семян не повлияли на высоту однолетних сеянцев, они способствовали увеличению всхожести семян, так как данный показатель у опытных вариантов был больше, чем у контроля.

На рисунке приведены данные по высоте однолетних сеянцев березы повислой разного срока посева семян, где явно видно преимущество осеннего посева перед весенним по всем вариантам опыта. Особенно выделялись варианты с внесением лесной почвы и перегноя.



Высота однолетних сеянцев березы повислой осеннего и весеннего посева при внесении сухих веществ в почву, см



Height of silver birch annual seedlings sown in autumn and spring, cm

## Выводы

На основании проведенных наблюдений выявлено, что выращивание сеянцев березы повислой в закрытом грунте при осеннем посеве семян значительно повышает их высоту и диаметр, что позволяет получать стандартный посадочный материал для условий Северного Казахстана уже в однолетнем возрасте. Все количественные признаки роста сеянцев зависят от срока посева семян — у сеянцев осеннего периода эти признаки значительно превышали аналогичные у сеянцев весеннего срока посева семян. Однолетние сеянцы, выращенные из семян осеннего посева, достигли высоты от 16,0 до 31,0 см, тогда как сеянцы весеннего посева к осени имели высоту 5,6...11,0 см. Предположительно, несколько причин объясняют данную зависимость: при осеннем сроке семена высеваются свежесобранными, проходят предпосевную подготовку (снегование и стратификацию) в естественных условиях, не подвергаются хранению, при нарушении условий которого они могли бы значительно потерять всхожесть. Высеянные осенью семена начинают прорастать и всходы трогаются в рост значительно раньше, чем если бы они были высеяны весной. Всходы находятся под защитой укрывного материала, поэтому не подвергаются поздневесенним заморозкам.

Для весеннего посева предпочтительнее внесение в почву азотного удобрения из расчета 3 г/м<sup>2</sup> или перегноя (10 л на 1 м<sup>2</sup>). Для осеннего посева рекомендуется применение борной кислоты (0,2 г/1 м<sup>2</sup>), лесной почвы или перегноя по 10 л на 1 м<sup>2</sup>.

## Библиографический список

1. *Daugaviete M., Krumina M., Kaposts V., Lazdinš A.* Farmland Afforestation: the Plantations of Birch (*Betula Pendula* Roth) on Different Soils // *Baltic Forestry*. 2003. Vol. 9. № 1. P. 9—21.
2. *Daugaviete M., Korica A.M., Silins I., Barsevskis A., Bardulis A., Bardule A., Spalvis K., Daugavietis M.* The use of Mineral Nutrients for Biomass Production by Young Birch Stands and Stands

- Vitality in Different Forest Growing Conditions // Journal of Environmental Science and Engineering. 2015. № 4. P. 177—189. doi: 10.17265/2162–5263/2015.04.002
3. Kund M., Vares A., Sims A., Tullus H., Uri V. Early Growth and Development of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) Plantations on Abandoned Agricultural Land // European Journal of Forest Research. 2010. № 129. P. 679—688. doi: 10.1007/s10342–010–0369–0
4. Lutter R., Tullus A., Kanal A., Tullus T., Vares A., Tullus H. Growth Development and Plant—Soil Relations in Midterm Silver Birch (*Betula pendula* Roth) Plantations on Previous Agricultural Lands in Hemiboreal Estonia // European Journal of Forest Research. 2015. Vol. 134. № 4. P. 653–667. doi: 10.1007/s10342–015–0879
5. Liepins K. Growth of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) in Plantations on Farmlands in Latvia // Mezzinatne. 2011. Vol. 23. № 56. P. 3—14.
6. Крекова Я.А., Чеботько Н.К. Использование интродуцентов в лесокультурном деле Казахстана // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 65-летию высшего лесн. образ. в Респ. Карелия. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. С. 159—161.
7. Крекова Я.А., Залесов С.В. Использование хвойных интродуцентов при озеленении и лесоразведении в Северном Казахстане // Агрэкология, мелиорация и защитное лесоразведение: материалы Междунар. науч.—практ. конф., посвящ. 70-летию пост. совета министров СССР и ЦК ВКП(Б). Волгоград, 2018. С. 270—273.
8. Чеботько Н.К., Крекова Я.А. Интродуценты в защитное лесоразведение Северного Казахстана // Агрэкология, мелиорация и защитное лесоразведение: материалы Междунар. науч.—практ. конф., посвящ. 70-летию пост. совета министров СССР и ЦК ВКП(Б). Волгоград, 2018. С. 343—348.
9. Балков В.В. Совершенствование агротехники выращивания сеянцев хвойных пород с применением удобрений в лесных питомниках Пермской области // Лесохозяйственная информация. 2002. № 5. С. 10—20.
10. Гапонько Е.А., Каницкая Л.В. Оценка влияния стимуляторов на энергию прорастания и всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 46—51.
11. Заре А. Применение удобрений при выращивании сеянцев хвойных пород с учетом морфогенеза: дис. ... канд. с-х.н. М., 2007. 144 с.
12. Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н. Опыт интенсивного выращивания однолетних сеянцев сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2019. № 6. С. 104—117.
13. Кавоси М.Р. Результаты изучения влияния современных биологических препаратов на прорастание семян и развитие всходов сосны и ели // Лесной вестник. 2006. № 2. С. 161—166.
14. Мухаметшина А.Р., Сабиров А.М., Хузиахметов Р.Х. Влияние азотных удобрений на накопление биомассы ели европейской в лесном питомнике Республики Татарстан // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 3 (69). С. 60—63.
15. Петросян А., Баженова Я., Хренкова А., Антошина О.А. Влияние биопрепаратов на посевные качества семян сосны обыкновенной // Вестник Совета молодых ученых Рязанского гос. агротехнол. ун-та имени П.А. Костычева. 2018. № 1(6). С. 40—44.
16. Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В., Ивановьева Г.И., Сахнов В.В., Петров В.А., Чукарина А.В., Багаев С.С. Выращивание посадочного материала хвойных пород с использованием ростовых стимуляторов // Лесохозяйственная информация. 2015. № 1. С. 50—55.
17. Сафина А.Р. Эффективность предпосевной обработки семян и внесения азотных удобрений при выращивании сеянцев ели европейской и сосны обыкновенной в условиях Предкамья Республики Татарстан: дис. ... канд. сельскохоз. наук. Казань: Казанский ГАУ, 2012. 161 с.
18. Устинова Т.С., Зуров Р.Н. Влияние препарата гумат+7 на ростовые процессы хвойных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 26. С. 115—118.
19. Филоник И.А., Апрахонин А.И., Никитин М.М. Стимулятор прорастания, роста и развития древесных растений и способ стимуляции прорастания, роста и развития древесных растений. Патент на изобретение RUS 2362303 26.04.2007. 5 с.
20. Brown K.R., Driessche R.V.D. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the growth and nutrition of hybrid poplars on Vancouver Island // New Forests. 2005. № 29. P. 89—104. doi: 10.1007/s11056–004–0238–0
21. DeHayes D.H., Ingle M.A., Waite C.E. Nitrogen Fertilization Enhances Cold Tolerance of Red Spruce Seedlings // Can. Journ. For. Res. 1989. Vol. 19. № 8. P. 1037—1043. doi: 10.1139/x89–158

22. Коновалов В.Ф., Чурагулова З.С. Выращивание березы повислой в лесных питомниках Республики Башкортостан // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: матер. Междунар. научно-технич. интернет-конф. Брянск, 2002. С. 13—15.
23. Якимов Н.И., Крук Н.К., Юренин А.В. Особенности агротехники выращивания сеянцев березы повислой в лесных питомниках // Труды БГТУ. 2013. № 1. С. 196—199.
24. Setälä H. Growth of Birch and Pine Seedlings in Relation to Grazing by Soil Fauna on Ectomycorrhizal Fungi // *Ecology*. 1995. Vol. 76. № 6. P. 1844—1851. doi: 10.2307/1940716
25. Кабанова С.А., Данченко М.А. Результаты опыта по применению стимуляторов и укрывного материала для выращивания сеянцев березы повислой // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 4. С. 67—71.
26. Данченко А.М., Кабанова С.А., Данченко М.А. Древоводство. М.: Юрайт, 2019. 249 с.
27. Смирнов Н.А. Методическое руководство проведения опытных работ по выращиванию сеянцев в питомниках и лесных культур на вырубках: пособие для проведения полевых опытных работ. Пушкино: ВНИИЛМ, 2000. 42 с.

## References

1. Daugaviete M, Krūmina M, Kaposts V, Lazdins A. Farmland afforestation: the plantations of birch (*Betula pendula* Roth) on different soils. *Baltic Forestry*. 2003; 9(1):9—21.
2. Daugaviete M, Korica AM, Silins I, Barsevskis A, Bardulis A, Bardule A, et al. The use of mineral nutrients for biomass production by young birch stands and stands vitality in different forest growing conditions. *Journal of Environmental Science and Engineering*. 2015; (4):177—189. doi: 10.17265/2162–5263/2015.04.002
3. Kund M, Vares A, Sims A, Tullus H, Uri V. Early growth and development of silver birch (*Betula pendula* Roth.) plantations on abandoned agricultural land. *European Journal of Forest Research*. 2010; 129(4):679—688. doi: 10.1007/s10342–010–0369–0
4. Lutter R, Tullus A, Kanal A, Tullus T, Vares A, Tullus H. Growth development and plant—soil relations in midterm silver birch (*Betula pendula* Roth) plantations on previous agricultural lands in hemiboreal Estonia. *European Journal of Forest Research*. 2015; 134(4):653—667. doi: 10.1007/s10342–015–0879
5. Liepins K. Growth of silver birch (*Betula pendula* Roth.) in plantations on farmlands in Latvia. *Mezzinatne*. 2011; 23(56):3—14.
6. Krekova YA, Chebotko NK. The use of introduced species in Kazakhstan forestry. In: *Increasing efficiency of forestry complex: conference proceedings*. Petrozavodsk: PetrSU publ.; 2016. p.159—161. (In Russ).
7. Krekova YA, Zalesov SV The use of introduced coniferous species in landscaping and afforestation in Northern Kazakhstan. In: *Agroecology, melioration and protective afforestation: conference proceedings*. Volgograd; 2018. p.270—273. (In Russ).
8. Chebotko NK, Krekova YA. Introducements in protective afforestation of Northern Kazakhstan. In: *Agroecology, melioration and protective afforestation: conference proceedings*. Volgograd; 2018. 2018:343—348. (In Russ).
9. Balkov VV. Improving agricultural techniques for growing coniferous seedlings using fertilizers in forest nurseries of the Perm region. *Forestry information*. 2002; (5):10—20. (In Russ).
10. Gaponko EA, Kanitskaya LV. Evaluating influence of stimulants upon energy of germination and seed growth for Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Advances in current natural sciences*. 2018; (8):46—51. doi: 10.17513/use.36835. (In Russ).
11. Zare A. *Primenenie udobrenii pri vyrashchivanii seyantsev khvoinykh porod s uchetom morfogeneza* [The use of fertilizers in the cultivation of coniferous seedlings considering morphogenesis]. Moscow; 2007. (In Russ).
12. Kabanova SA, Danchenko MA, Kochegarov IS, Kabanov AN. The experience of intensive cultivation of one-year-old seedlings of *Pinus sylvestris* L. in Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan. *Russian Forestry Journal*. 2019; (6):104—117. (In Russ). doi: 10.17238/issn0536–1036.2019.6.104
13. Kavosi MR. Effects of Up-To-Date Biological Preparations on Seed Germination and Development of Young Growth of Pine and Spruce. *Forestry Bulletin*. 2006; (2):161—166. (In Russ).
14. Mukhametshina AR, Sabirov AM, Khujikhmetov RK. Influence of Nitrogen Fertilizers on European Spruce Biomass Accumulation in Forest Nursery of Republic of Tatarstan. *International research journal*. 2018; (3):60—63. (In Russ). doi: 10.23670/IRJ.2018.69.021

15. Petrosyan A, Bazhenova Y. Influence of biological products on the sowing qualities of seeds of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vestnik Soveta molodykh uchenykh Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. 2018; (1):40—44. (In Russ).
16. Prokazin NE, Lobanova EN, Pentelkina NV, Ivanyusheva GI, Sakhnov VV, Petrov VA, et al. Growing planting material of conifers using growth stimulants. *Forestry information*. 2015; (1):50—55. (In Russ).
17. Safina AR. *Effektivnost' predposevnoi obrabotki semyan i vneseniya azotnykh udobrenii pri vyrashchivaniy seyantsev eli evropeiskoi i sosny obyknovЕННОй v usloviyakh Predkam'ya Respubliki Tatarstan* [The effectiveness of presowing treatment of seeds and the application of nitrogen fertilizers when growing seedlings of European spruce and Scots pine in the Predkam'ya conditions, Republic of Tatarstan. Kazan: Kazan SAU publ.; 2012. (In Russ).
18. Ustinova TS, Zurov RN. The influence of biological humates 7 on growth and development of conifers. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*. 2010; (26):115—118. (In Russ).
19. Filonik IA, Aprasyukhin AI, Nikitin MM. *Stimulyator prорastaniya, rosta i razvitiya drevesnykh rastenii i sposob stimulyatsii prорastaniya, rosta i razvitiya drevesnykh rastenii* [Stimulator for germination, growth and development of woody plants]. Patent RUS, no. 2362303, 2007. (In Russ).
20. Brown KR, Driessche RVD. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the growth and nutrition of hybrid poplars on Vancouver Island. *New Forests*. 2005; 29(1):89—104. doi: 10.1007/s11056-004-0238-0
21. DeHayes DH, Ingle MA, Waite CE. Nitrogen fertilization enhances cold tolerance of red spruce seedlings. *Can Journ For Res*. 1989; 19(8):1037—1043. doi: 10.1139/x89-158.
22. Konovalov VF, Churagulova ZS. Growing silver birch in forest nurseries of the Republic of Bashkortostan. In: *Forest complex: state and development prospects: conference proceedings*. Bryansk; 2002. p.13—15. (In Russ).
23. Yakimov NI, Kruk NK, Yurenya AV. Features of agricultural cultivation of silver birch seedlings in forest nurseries. *Proceedings of BSTU*. 2013; (1):196—199. (In Russ).
24. Setala H. Growth of Birch and Pine Seedlings in Relation to Grazing by Soil Fauna on Ectomycorrhizal Fungi. *Ecology*. 1995; 76(6):1844—1851. doi: 10.2307/1940716.
25. Kabanova SA, Danchenko MA. Outcomes of the experiment on using stimulants and covering material for growing seedlings of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Advances in current natural sciences*. 2018; (4):67—71. (In Russ).
26. Danchenko AM, Kabanova SA, Danchenko MA. *Drevovodstvo* [Forest nursery]. Moscow: Yurait publ.; 2019. (In Russ).
27. Smirnov NA. *Metodicheskoe rukovodstvo provedeniya opytnykh работ po vyrashchivaniyu seyantsev v pitomnikakh i lesnykh kul'tur na vyrubkakh: posobie dlya provedeniya polevykh opytnykh работ* [Methodical guide conducting experimental work on the cultivation of seedlings in nurseries and forest crops on cutting: manual for field trials. Pushkino, VNIILM publ.; 2000. (In Russ).

#### Об авторах:

Кабанова Светлана Анатольевна — кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, заведующая отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021704, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: kabanova.05@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3117-7381

SPIN-код 3897-4757

Кабанов Андрей Николаевич — аспирант, старший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021704, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: 7058613132@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689

SPIN-код 9628-4453

Кочегаров Игорь Сергеевич — магистр, младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021704, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: garik\_0188@mail.ru

ORCID: 0000–0003–1185–5218

SPIN-код 8313–4687

*Данченко Матвей Анатольевич*— кандидат географических наук, доцент, Биологический институт, Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; e-mail: mtd2005@sibmail.com

ORCID: 0000–0002–5974–9556

SPIN-код 8209–8687

**About the authors:**

*Kabanova Svetlana Anatolyevna*— Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Reforestation and Afforestation, Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021704, Republic of Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru

ORCID: 0000–0002–3117–7381

SPIN 3897–4757

*Kabanov Andrey Nikolaevich*— Postgraduate Student, Senior Researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021704, Republic of Kazakhstan; e-mail: 7058613132@mail.ru

ORCID: 0000–0002–5479–3689

SPIN 9628–4453

*Kochegarov Igor Sergeevich*— Master Student, Junior Researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021704, Republic of Kazakhstan; e-mail: garik\_0188@mail.ru

ORCID: 0000–0003–1185–5218

SPIN 8313–4687

*Danchenko Matvey Anatolyevich*— Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenina ave., Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: mtd2005@sibmail.com

ORCID: 0000–0002–5974–9556

SPIN 8209–8687






## Животноводство Animal breeding

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-104-111

УДК 636.92:636.61

Научная статья / Research article

### Эффективность откорма кроликов на мясо при разных технологиях

Е.Г. Квартникова<sup>1</sup>  , Е.В. Шастина<sup>2</sup> <sup>1</sup>Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева, п. Родники, Московская обл., Российская Федерация<sup>2</sup>Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваево, Костромская обл., Российская Федерация  
 [liza.kvartnikova@mail.ru](mailto:liza.kvartnikova@mail.ru)

**Аннотация.** В России при производстве мяса кролика используют различные технологии содержания товарного молодняка, основные из них: в помещениях с регулируемым микроклиматом (импортный молодняк) и шедовая (отечественные породы). Цель исследования — установить доминирующие факторы, определяющие эффективность производства мяса кролика при разных технологиях содержания и сухом типе кормления. Экспериментальные исследования проводили по классическим зоотехническим методикам. Научно-хозяйственный опыт в помещении с регулируемым микроклиматом проводили на помесном молодняке от скрещивания кроликов пород калифорнийская и новозеландская белая, которая была завезена в Россию в 2010 г. из Франции, опыт при шедовой технологии содержания — на отечественной породе советская шиншилла (СШ). Всех кроликов в период откорма кормили полнорационным гранулированным комбикормом с идентичным соотношением питательных веществ, %: протеин — 16,0 и клетчатка — 17,5 для помесного молодняка; соответственно 16,4 и 17,9 для СШ. Убой на мясо кроликов породы СШ проводили в 90-суточном возрасте, помесного молодняка — в 77-суточном. Анализ динамики живой массы кроликов показал, что и в 45 сут, и в момент убоя помесный молодняк превосходил СШ на 204,5 и 240,0 г соответственно, при этом относительный прирост помесного молодняка ненамного превосходил этот показатель у кроликов породы СШ (3,4 и 4,1 % соответственно). Предубойная масса также достоверно больше была у помесного молодняка, а масса тушки достоверно больше у кроликов породы СШ. Соответственно у СШ убойный выход на 9,2 % больше, чем у помесного молодняка, т.е. у СШ при производстве мяса больше органического вещества уходит в продукцию и меньше в отходы. К 77 суткам помесный молодняк не успел полностью реализовать свой мясной потенциал. Таким образом, учитывая повышенные энергетические затраты в помещениях с регулируемым микроклиматом, обе технологии содержания товарного молодняка кроликов имеют одинаковые шансы в производстве крольчатины.

© Квартникова Е.Г., Шастина Е.В., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Ключевые слова:** кролики, помесный молодняк, относительный прирост живой массы, убойный выход, коэффициент конверсии корма, советская шиншилла

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 11 июня 2021 г., принята к публикации 25 февраля 2022 г.

**Для цитирования:** *Квартникова Е.Г., Шастина Е.В. Эффективность откорма кроликов на мясо при разных технологиях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С.104—111. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-104-111*

## Efficiency of meat-fattening rabbits farmed by different keeping technologies

Elizaveta G. Kvartnikova<sup>1</sup>✉, Elena V. Shastina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Fur-farming and rabbit breeding named after V.A. Afanasyev, *Rodniki, Moscow region, Russian Federation*

<sup>2</sup>Kostroma Agricultural Academy, *Karavaevo, Kostroma region, Russian Federation*  
✉ liza.kvartnikova@mail.ru

**Abstract.** In Russia, different technologies are used for keeping commercial young animals in the production of rabbit meat. The main ones are in rooms with a controlled microclimate (imported young rabbits) and sheds (domestic breeds). The aim of the study was to establish the dominant factors that determine efficiency of rabbit meat production under different keeping technologies and dry feeding. Experimental studies were conducted according to classical zootechnical methods. The experiment in the room with controlled conditions was carried out on crossbred young animals—from Californian and New Zealand white breeds, which were imported from France in 2010; the experiment on domestic breed—Soviet chinchilla—was carried out under shed keeping technology. During the fattening period all rabbits were fed with complete granulated compound feed with an identical ratio of nutrients: 16.0 % protein and 17.5 % fiber for crossbred rabbits; 16.4 % protein and 17.9 % fiber for Soviet chinchilla rabbits. Slaughter of Soviet chinchilla rabbits and crossbred rabbits for meat was carried out at the age of 90 and 77 days, respectively. Analysis of the dynamics of live weight showed that at the age of 45 days and at the time of slaughter crossbred young rabbits exceeded Soviet chinchilla rabbits by 204.5 g and 240.0 g, respectively. Meanwhile, the relative growth of crossbred rabbits was not much higher than this indicator in Soviet chinchilla rabbits (by 3.4 and 4.1 %, respectively). The pre-slaughter weight was also significantly higher in crossbred animals, and the carcass weight was significantly higher in Soviet chinchilla rabbits. Accordingly, in the Soviet chinchilla the slaughter yield was 9.2 % higher than that of the crossbred rabbits, that is in meat production in the Soviet chinchilla more organic matter goes into products and less to waste. This testifies to the fact that by the age of 77 days the crossbred rabbits did not realize their full meat potential. Thus, considering the increased energy costs in buildings with a controlled microclimate, both technologies for keeping commercial young rabbits have the same chances in the production of rabbit meat.

**Keywords:** rabbits, crossbred young rabbits, relative gain in live weight, slaughter output, feed conversion rate

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Article history:** Received: 11 June November 2021. Accepted: 25 February 2022

**For citation:** Kvartnikova EG, Shastina EV. Efficiency of meat-fattening rabbits farmed by different keeping technologies. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):104—111. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-104-111

## Введение

В России на сегодняшний день кролиководство является самым мелким и незначительным направлением животноводства, почти экзотическим, в то время как в мире — это индустриальная, экономически выгодная отрасль [1–4]. Сейчас в мире производится до 2,5 млн т крольчатины в год. Основными производителями крольчатины являются Китай, Италия, Франция, Испания. В настоящее время в России производится всего 15 тыс. т крольчатины в год, при этом основное производство (78,5 %) сосредоточено в хозяйствах населения [5]. В мясном сегменте российского продовольственного рынка крольчатина занимает незначительную часть, всего 1,3 кг на человека (вместе с импортной), в то время как в странах с развитым кролиководством — 7...9 кг. По данным Всемирной организации здравоохранения, норма потребления диетического мяса равна 4...5 кг в год [6]. Но отечественные ученые-кролиководы считают отрасль перспективным направлением развития мясного животноводства [7, 8]. Подсчитано, что в сравнении со всеми другими направлениями животноводства, разведение кроликов наиболее выгодно по всем показателям. В настоящее время кролиководство уступает только птицеводству [9, 10]. Но, несмотря на то что индустриальные кролиководческие предприятия с регулируемым микроклиматом набирают обороты, как уже отмечено выше, около 80 % крольчатины производится в хозяйствах населения [11, 12]. Причем, кроликокомплексы работают в основном на импортном поголовье, хотя в стране созданы кроссы (группа Родник), не уступающие по продуктивности зарубежным аналогам [13]. Поэтому оценка эффективности производства крольчатины при разных технологиях содержания актуальна [14].

**Цель исследования** — установить доминирующие факторы, определяющие эффективность производства мяса кролика при разных технологиях содержания и сухом типе кормления.

## Материал и методы исследования

Исследования проведены в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева» на молодняке кроликов отечественной породы советская шиншилла, в ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия» и в ООО «Русский кролик» на помесном молодняке пород калифорнийская и новозеландская белая, завезенной в Россию в 2010 г. из Франции. Отечественных кроликов содержали в шеде по одной голове в клетке, помесных — в закрытом помещении с регулируемым микроклиматом. Все кролики имели свободный доступ к воде. Кормили кроликов полнорационным гранулированным комбикормом (ПГК), состоящим из растительных и минеральных компонентов с идентичным соотношением нормируемых сырых питательных веществ. В ПГК содержалось, %: у кроликов породы советская шиншилла протеина — 16,4 и клетчатки — 17,9; у помесных кроликов — 16,0 и 17,5 соответственно.

Остатки корма по группам собирали и взвешивали раз в неделю с точностью 10 г.

Динамику роста кроликов контролировали взвешиванием всего поголовья с точностью 10 г в 45, 60, 77 и 90 сут. В каждом возрастном интервале рассчитывали абсолютный и относительный прирост. Мясную продуктивность кроликов определяли методом контрольного убоя в возрасте 90 сут. (СШ) и 77 сут. (помесный молодняк).

Результаты исследований обработаны методами вариационной статистики и компьютерной программы Microsoft Excel.

## Результаты исследования и обсуждение

Из данных табл. 1 видно, что в 45-суточном возрасте помесный молодняк достоверно превосходит кроликов породы СШ по живой массе. Эта тенденция сохраняется на протяжении всего периода откорма. Очевидно, что это связано с генетическими особенностями породы. Обращает на себя внимание тот факт, что помесный молодняк более консолидирован по живой массе, чем молодняк породы СШ.

Таблица 1

### Динамика живой массы молодняка кроликов, г

Возраст, сут.	Порода	
	Советская шиншилла, n = 60	Помесный молодняк, N = 30
45	1156,5±65,4	1361,0±17,0**
60	1780,4±87,5	2141,0±27,0***
77	2318,6±88,8	2875,0±16,0***
90	2635,0±92,0	—

\*\*p ≤ 0,01; \*\*\*p ≤ 0,001.

Table 1

### Dynamics of live weight of rabbits, g

Age, days	Breed	
	Soviet chinchilla, n = 60	Crossbred young rabbits, n = 30
45	1156.5±65.4	1361.0±17.0**
60	1780.4±87.5	2141.0±27.0***
77	2318.6±88.8	2875.0±16.0***
90	2635.0±92.0	—

\*\*p ≤ 0.01; \*\*\*p ≤ 0.001.

Для подтверждения целесообразности убоя кроликов на мясо в 77-суточном возрасте был рассчитан среднесуточный и относительный прирост живой массы молодняка кроликов с разным генотипом (табл. 2).

Таблица 2

**Прирост живой массы молодняка кроликов на откорме**

Период, сут.	Советская шиншилла, n = 60		Помесный молодняк, n = 30	
	Среднесуточный прирост, г	Относительный прирост, %	Среднесуточный прирост, г	Относительный прирост, %
45...60	41,6	53,9	48,8	57,3
61...77	32,6	30,2	43,5	34,3
78...90	24,3	13,6	—	—
За весь период	32,9	127,8	47,3	111,2

Table 2

**Gain in live weight of fattening young rabbits**

Period, days	Soviet chinchilla, n=60		Crossbred young rabbits, n=30	
	Average daily gain, g	Relative growth rate, %	Average daily gain, g	Relative growth rate, %
45...60	41.6	53.9	48.8	57.3
61...77	32.6	30.2	43.5	34.3
78...90	24.3	13.6	—	—
Total	32.9	127.8	47.3	111.2

По данным табл. 2 четко прослеживается закономерность прироста, характерная для вида кроликов, независимо от породы. Наиболее интенсивно кролики растут до 60-суточного возраста, дальше интенсивность роста постепенно снижается. Поэтому убой в 77-суточном возрасте оправдан. При этом относительный прирост помесного молодняка ненамного превосходит этот показатель у кроликов породы СШ (3,4 и 4,1 % соответственно). Но если обратить внимание на относительный прирост живой массы в 77 сут. более крупного помесного молодняка (111,2 %) и в 90 сут. кроликов породы СШ (127,8 %) с разницей в 16,6 %, то возникает необходимость учета сэкономленного корма, т.е. расчета коэффициента конверсии корма (ККК).

Мясная продуктивность молодняка кроликов приведена в табл. 3.

Таблица 3

**Мясная продуктивность молодняка кроликов**

Показатели	Группа	
	Советская шиншилла	Помесный молодняк
Предубойная масса, г	2648±11	2875±40***
Масса тушки, г	1470±38	1332±12**
Убойный выход, %	55,5	46,3
Среднее потребление корма, г/гол.	7434,0	5406,0
Коэффициент конверсии корма	5,06	4,06

\*\*p ≤ 0,01; \*\*\*p ≤ 0,001.

**Meat yield of young rabbits**

Indicators	Group	
	Soviet chinchilla	Crossbred young rabbits
Preslaughter weight, g	2648±11	2875±40***
Slaughter weight, g	1470±38	1332±12**
Slaughter output, %	55.5	46.3
Average daily feed intake, g/head	7434.0	5406.0
Feed conversion rate	5.06	4.06

\*\* $p \leq 0.01$ ; \*\*\* $p \leq 0.001$ .

Данные табл. 3 демонстрируют интересную закономерность: предубойная масса достоверно больше у помесного молодняка, а масса тушки достоверно больше у СШ. Соответственно у СШ убойный выход на 9,2 % больше, чем у помесного молодняка. Значит, у кроликов породы СШ при производстве мяса больше органического вещества уходит в продукцию и меньше в отходы. Естественно, что за более короткий период откорма помесного молодняка расход корма на голову меньше на 2020 г и коэффициент конверсии корма на 1,0, чем у СШ при убое в 90-суточном возрасте. Но нами экспериментально установлено, что путем изменения соотношения питательных веществ в рационе можно добиться снижения ККК у кроликов породы советская шиншилла до 3,74 [15].

Учитывая, что технология производства мяса кролика в помещении с регулируемым микроклиматом гораздо более затратная, чем при шедовом содержании, обе технологии с экономической точки зрения имеют равные шансы на существование. При научном подходе есть резервы повышения эффективности производства крольчатины с применением разных технологий выращивания товарного молодняка.

**Заключение**

Анализ результатов экспериментальных исследований по производству крольчатины при разных технологиях содержания показал, что интенсивность роста помесного молодняка импортных кроликов, содержащихся в помещении с регулируемым микроклиматом, выше, чем кроликов отечественной породы советская шиншилла при шедовом содержании, что позволяет сдвинуть убой на мясо с 90-суточного возраста на 77-суточный. Но при более высокой предубойной массе убойный выход и масса тушки оказываются меньше, чем у советской шиншиллы. Следовательно, к 77 сут. помесный молодняк не успел полностью реализовать свой мясной потенциал. Таким образом, обе технологии содержания товарного молодняка кроликов равно применимы в производстве крольчатины.

Научные исследования будут продолжены при совместном выращивании помесных и чистопородных кроликов в условиях однотипной технологии.

## Библиографический список

1. Ahmed M.K., Bague A.R., Nawaz H., Siddiqui R.H. Effect of varying energy and protein levels of the haematology of Japanese quail // *Pakistan Vet. Journal*. 1994. Vol. 14(4). p. 200—202.
2. Cervera C., Fernández Carmona J.F. Nutrition and the climatic environment // *Nutrition of the Rabbit* / De Blas C., Wiseman J., eds. CABI Publishing, Wallingford, UK. 2010. p. 267—284.
3. Nutrition of the rabbit. 2nd ed / by eds. De Blas C., Wiseman J. CAB International, Nallingford. 2010. 325 p.
4. Tazzoli M., Trocino A., Birolo G., Radaelli, G., Xiccato, G. Optimizing feed efficiency and nitrogen excretion in growing rabbits by increasing dietary energy with high-starch, high-soluble fibre, low-insoluble fibre supply at low protein levels // *Livestock Science*. 2015. Vol. 172. p. 59—68. doi: 10.1016/J.LIVSCI.2014.12.006
5. Комлацкий В.И., Цыганок Л.Э., Туркова В.С. Развитие кролиководства на Кубани // *Кролиководство и звероводство*. 2019. № 5. С. 8—15. doi: 10.24418/KIPZ.2019.5.0002
6. Комлацкий Г.В., Туркова В.С. Социально-экономическая эффективность промышленного кролиководства // *Кролиководство и звероводство*. 2020. № 6. С. 39—50. doi: 10.24411/0023-4885-2020-00034
7. Балакирев Н.А., Калугин Ю.А. Кролиководство — перспективная отрасль животноводства // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2015. № 7. С. 20—23.
8. Велькина Л.В. Мировые тенденции развития кролиководства // *Экономика сельского хозяйства России*. 2019. № 3. С. 93—98. doi: 10.32651/193-93
9. Климова Н.В., Можегова В.Д. Эффективность инвестиционных вложений в развитие кролиководческого бизнеса // *Научный журнал КубГАУ*. 2017. № 125. С. 500—509. doi: 10.21515/1990-4665-125-034
10. Плотников В.Г. О тенденциях развития кролиководства в мире // *Кролиководство и звероводство*. 2003. № 2. С. 13—16.
11. Норейко А.Ю. Повышение эффективности мясного кролиководства в условиях шедовой системы содержания // *Вестник Брянской ГСХА*. 2015. С. 38—41.
12. Тинаев Н.И. Скрещивание — беззатратный метод повышения продуктивности кроликов на товарных фермах // *Кролиководство и звероводство*. 2013. № 1. С. 14—17.
13. Ратошный А.Н., Черненко Е.Н., Черненко А.В. Использование разных систем содержания и кормления при выращивании кроликов // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2013. № 44. С. 207—211.
14. Плотников В.Г. Эволюция технологий в кролиководстве // *Кролиководство и звероводство*. 2010. № 1. С. 17—22.
15. Квартникова Е.Г., Косовский Г.Ю., Квартников М.П. Мясная продуктивность кроликов при сухом типе кормления без витаминно-минерального премикса // *Кролиководство и звероводство*. 2020. № 4. С. 34—39. doi: 10.24411/0023-4885-2020-10405

## References

1. Ahmed MK, Bague AR, Nawaz H, Siddiqui RH. Effect of varying energy and protein levels of the haematology of Japanese quail. *Pakistan Vet. Journal*. 1994; 14(4):200—202.
2. Cervera C, Fernández Carmona JF. Nutrition and the climatic environment. In: De Blas C, Wiseman J. (eds.) *Nutrition of the Rabbit*. 2nd ed. Wallingford, UK: CABI Publishing; 2010. p.267—284.
3. De Blas C, Wiseman J. (eds.) *Nutrition of the rabbit*. 2nd ed. Wallingford, UK: CABI Publishing; 2010.
4. Tazzoli M, Trocino A, Birolo M, Radaelli G, Xiccato G. Optimizing feed efficiency and nitrogen excretion in growing rabbits by increasing dietary energy with high-starch, high-soluble fibre, low-insoluble fibre supply at low protein levels. *Livestock Science*. 2015; 172:59—68. doi: 10.1016/j.livsci.2014.12.006
5. Komlatsky VI, Zyganok LE, Turkova VS. The development of industrial rabbit breeding in the Kuban region. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2019; (5):8—16. (In Russ). doi: 10.24418/KIPZ.2019.5.0002
6. Komlatsky GV, Turkova VS. The socio-economic efficiency of industrial rabbit breeding. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2020; (6):39—50. (In Russ). doi: 10.24411/0023-4885-2020-00034
7. Balakirev NA, Kalugin YA. Rabbit breeding — a promising livestock industry. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2015; (7):20—23. (In Russ).
8. Velkina LV. Global trends in development of rabbit breeding. *Economics of Agriculture in Russia*. 2019; (3):93—98. (In Russ). doi: 10.32651/193-93.
9. Klimova NV, Mozhegova VD. The effectiveness of investment in the development of rabbit business. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2017; (125):500—509. (In Russ). doi: 10.21515/1990-4665-125-034



10. Plotnikov VG. Trends in the development of rabbit breeding in the world. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2003; (2):13–16. (In Russ).
11. Noreiko AY. Improving the efficiency of meat rabbit breeding in the conditions of a shedding system of maintenance. *Vestnik Bryansk state agricultural academy*. 2015; (3–2):38–41. (In Russ).
12. Tinaev NI. Crossing — a cost-free method of increasing the productivity of rabbits on commodity farms. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2013; (1):14–17. (In Russ).
13. Ratoshny AN, Chernenko EN, Chernenko AV. Use of different feeding systems for growing rabbits. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2013; 2(2):151–155. (In Russ).
14. Plotnikov VG. Evolution of technologies in rabbit farming. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2010; (1):17–22. (In Russ).
15. Kvartnikova EG, Kosovsky GY, Kvartnikov MP. Meat productivity of rabbits with dry type of feeding. *Rabbit breeding and fur farming*. 2020; (4):34–39. (In Russ). doi: 10.24411/0023–4885–2020–10405

#### **Об авторах:**

*Квартникова Елизавета Григорьевна* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела звероводства и кролиководства, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева», Российская Федерация, 140143, Московская обл., Раменский р-н, п. Родники, ул. Трудовая, д. 6; e-mail: liza.kvartnikova@mail.ru, ORCID: 0000–0002–5009–0353

*Шастина Елена Валентиновна* — кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры анатомии и физиологии животных, ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, Российская Федерация, 156530, Костромская область, Костромской район, п. Караваяво, ул. Учебный городок, д. 34; e-mail: beoglu.e@mail.ru ORCID: 0000–0002–6134–403X

#### **About authors:**

*Kvartnikova Elizaveta Grigorjevna* — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of Fur Farming and Rabbit Breeding, Research Institute of Fur-farming and rabbit breeding named after V.A. Afanasyev (Afanasyev Research Institute of Fur-farming and Rabbit Breeding), 6 Trudovaya st., Rodniki vil., Ramensky district, Moscow region, 140143, Russian Federation; e-mail: liza.kvartnikova@mail.ru ORCID: 0000–0002–5009–0353

*Shastina Elena Valentinovna* — Candidate of Agricultural Sciences, Senior professor, Department of Animal Anatomy and Physiology, Kostroma Agricultural Academy, 34 Uchebnyy gorodok st., Karavaevo vil., Kostroma district, Kostroma region, 156530, Russian Federation; e-mail: beoglu.e@mail.ru ORCID: 0000–0002–6134–403X




DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-1-112-123

УДК 591.3:598.2

Научная статья / Research article

## Особенности развития висцеральных органов у эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун» при красном и зеленом монохроматическом светодиодном освещении

М.И. Челнокова  , А.А. Челноков 

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Великие Луки, Российская Федерация  
 [marinachelnokova@yandex.ru](mailto:marinachelnokova@yandex.ru)

**Аннотация.** Получены новые данные об особенностях развития висцеральных органов у эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун» при красном и зеленом монохроматическом светодиодном освещении. Изучено влияние двух непрерывных светодиодных режимов освещения: экспериментальные режимы — красный и зеленый свет, контроль — темнота. С помощью морфометрических методов проведена оценка абсолютных величин весовых размеров и удельной скорости роста (по формуле Шмальгаузена — Броди) сердца, мышечного желудка, печени куриных эмбрионов. В исследованиях было доказано, что красное и зеленое светодиодное освещение оказывает стимулирующее влияние на эмбриональное развитие висцеральных органов (сердце, мышечный желудок, печень) яичного кросса «Ломанн Браун» в сравнении с контролем (темнота). При красной и зеленой светодиодной стимуляциях куриные эмбрионы преобладали в массе сердца с 14-х по 20-е сутки эмбриогенеза. Мышечный желудок и печень куриных эмбрионов интенсивнее развивались при красном освещении на 18-е и 20-е сутки, а при зеленом аналогичное воздействие на мышечный желудок отмечалось на 19-е и 20-е сутки, на печень — на 20-е сутки. Установлено, что в раннем онтогенезе кур кросса «Ломанн Браун» отмечается несколько критических этапов (фаз), выпадающих на различные сутки развития и характеризующие особенности ритмичности процессов роста висцеральных органов в эмбриогенезе кур при светодиодной стимуляции красного и зеленого спектра. У куриных эмбрионов при красном освещении наибольшая скорость роста сердца выявлена на 17-е, а при зеленом — 20-е сутки; мышечного желудка при красном освещении — на 17-е и 20-е сутки, печени — на 16-е при красном освещении и 17-е сутки — при зеленом освещении. К периоду вылупления на 20-е сутки не выявлено различий в развитии висцеральных органов куриных эмбрионов в зависимости от красного и зеленого светового спектра. Вылупление куриных эмбрионов кросса «Ломанн Браун», подвергающихся красному и зеленому световому воздействию, происходило на 20-е сутки инкубации — на сутки раньше, чем в контрольных условиях (темнота). Обсуждаются предполагаемые биологические причины, лежащие в основе воздействия монохроматического света разного цветового спектра, влияющие на эмбриогенез куриного эмбриона и его органов.

**Ключевые слова:** эмбриогенез курицы, сердце, мышечный желудок, печень, монохроматическая светодиодная стимуляция

---

© Челнокова М.И., Челноков А.А., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Заявление о конфликте интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


**История статьи:** поступила в редакцию 23 января 2022 г., принята к публикации 25 февраля 2022 г.

**Для цитирования:** Челнокова М.И., Челноков А.А. Особенности развития висцеральных органов у эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун» при красном и зеленом монохроматическом светодиодном освещении // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С.112—123. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-112-123

## Features of development of visceral organs in embryos of egg cross chickens ‘Lohmann Brown’ under red and green monochromatic LED lighting

Marina I. Chelnokova  , Andrey A. Chelnokov 

Velikie Luki State Agricultural Academy, *Velikiye Luki, Russian Federation*

 marinachelnokova@yandex.ru

**Abstract.** New data on the features of development of visceral organs in embryos of egg cross chickens ‘Lohmann Brown’ under red and green monochromatic LED lighting were obtained. The effect of two continuous LED lighting modes has been studied: experimental modes—red and green light, control—darkness. The absolute values of weight dimensions and specific growth rate (according to the Schmalhausen-Brody formula) of heart, muscular stomach, liver of chicken embryos were estimated using morphometric methods. The studies proved that red and green LED lighting has a stimulating effect on the embryonic development of visceral organs (heart, muscular stomach, liver) in ‘Lohmann Brown’ egg cross compared to the control (darkness). Under red and green LED stimulation, chicken embryos prevailed in the heart mass from the 14<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> day of embryogenesis. The muscular stomach and liver of chicken embryos developed more intensively under red illumination on the 18<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> days, and under green illumination—a similar effect on the muscular stomach was noted on the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> days, on the liver—on the 20<sup>th</sup> day. It has been established that in the early ontogenesis of ‘Lohmann Brown’ chickens there were several critical stages (phases). They fall on different days of development and characterize the features of rhythmicity in growth processes of visceral organs in chicken embryogenesis under LED stimulation of red and green spectrum. Chicken embryos under red and green illumination had the highest growth rate of heart on the 17<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> day, respectively; muscular stomach under red illumination—on the 17<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> days, liver—on the 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> day under red and green illumination. By the hatching period on the 20<sup>th</sup> day, there were no differences in the development of visceral organs of chicken embryos depending on red and green light spectrum. The hatching of ‘Lohmann Brown’ chicken embryos exposed to red and green light occurred on the 20<sup>th</sup> day of incubation—a day earlier than under control conditions (darkness). The proposed biological causes underlying the effect of monochromatic light of different color spectrum on embryogenesis of chicken embryo and organs are discussed.

**Keywords:** chicken embryogenesis, heart, muscular stomach, liver, monochromatic LED stimulation

**Conflict of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Article history:** Received: 23 January 2022. Accepted: 25 February 2022

**For citation:** Chelnokova MI, Chelnokov AA. Features of development of visceral organs in embryos of egg cross chickens ‘Lohmann Brown’ under red and green monochromatic LED lighting. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(1):112—123. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-112-123

## Введение

Свет как абиотический фактор играет важную роль в росте и развитии живых организмов [1, 2]. У многих птиц свет является необходимым для эмбрионального развития и выступает в качестве фактора окружающей среды, влияющего на скорость эмбрионального роста, выводимость и раннее вылупление [3, 4]. Влияние световой стимуляции проявляется в раннем формировании фоторецепторов сетчатки глаз, активности супрахиазматического ядра гипоталамуса и шишковидной железы, которые являются основными компонентами циркадной системы птиц [1]. Искусственная инкубация лишает эмбриона полного объема естественной световой стимуляции. Поэтому использование световой стимуляции во время инкубации является одним из способов восполнить дефицит естественного освещения.

В настоящее время использование ламп накаливания во время инкубации стало менее распространенным, в то время как светодиодные лампы (LED) приобрели большую популярность благодаря наличию монохроматических вариантов, долговечности, экономичности и высокой энергоэффективности. Светодиодные лампы производят гораздо меньше тепла и снижают негативные эффекты на температурно-влажностный режим инкубации по сравнению с лампами накаливания и люминесцентными лампами [5]. Спектр и интенсивность монохроматического света оказывают влияние на показатели роста и фотопериодическую реакцию у домашних птиц [6]. Доказано, что светодиодная световая стимуляция во время инкубации повышает выводимость домашних птиц, улучшает качество птенцов и снижает их восприимчивость к стрессу в постнатальном онтогенезе [7]. Однако до сих пор не ясно, как влияет монохроматический свет разного спектра на развитие висцеральных органов эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун».

**Цель исследования** — изучение влияния красного и зеленого монохроматического светодиодного освещения яиц в условиях искусственной инкубации на развитие висцеральных органов эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун».

## Материалы и методы исследования

*Дизайн эксперимента.* Работа выполнена на эмбрионах кур яичного кросса «Ломанн Браун» из птицефабрики ОАО «Волжанин» (п. Ермаково) Ярославской области Рыбинского района. Инкубацию яиц с первого дня проводили в инкубаторе ИЛБ-0,5 (Волгасельмаш, Россия) при стабильном режиме с температурой воздуха  $37,6 \pm 0,1$  °С и относительной влажностью воздуха 55,0 %. Инкубатор был оснащен красными и зелеными светодиодными неонами (Elektrostandard LS 001 220V RGB 12W 80LED 5050 IP67 50м а045405, Россия-Китай). В экспериментальных группах (красный и зеленый свет) световая стимуляция осуществлялась непрерывно с 1 по 20-й день инкубации. В контрольной группе яйца инкубировали в темноте без световой стимуляции.

*Методы исследования.* Предварительно перед инкубацией оплодотворенные яйца взвешивали, отбирали по массе методом пар-аналогов и закладывали в инкубаторы. В ходе эксперимента было подвергнуто вскрытию 225 яиц. Вскрытие яиц ( $n = 9 \dots 10$ ) проводили ежедневно с 14 по 20-е сутки инкубации с соблюдением этических норм

при работе с живыми биологическими объектами. Массу висцеральных органов (сердце, мышечный желудок, печень) эмбрионов определяли по общепринятой методике на аналитических весах САРТОГОСМ ЛВ 210-А (ООО «Сартогосм», Россия).

Для расчета удельной скорости роста массы органов куриных эмбрионов в период с 14 по 20-е сутки инкубации применяли формулу Шмальгаузена—Броди [8]:

$$C_1 = (\lg L_n - \lg L_0) / 0,4343(t_n - t_0), \quad (1)$$

где  $C_1$ — удельная скорость роста;  $L_n$ — масса органа, г, в конечный момент времени  $t_n$ ;  $L_0$ — масса органа, г, в начальный момент времени  $t_0$ ; 0,4343— модуль перехода от натуральных логарифмов к десятичным.

*Статистический анализ.* Статистическую оценку данных проводили в программе Statistica 10.0 (Statsoft Inc, USA, 2010). Для сравнения изучаемых показателей использовали параметрический дисперсионный анализ One-way Anova с апостериорным анализом Newman-Keuls, Duncan test и Fisher LSD test при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты исследований и обсуждение

Результаты собственных исследований показали, что красное или зеленое светодиодное освещение по-разному влияло на развитие висцеральных органов у куриных эмбрионов. В сравнении с контролем (в темноте) при красной и зеленой светодиодной стимуляциях куриные эмбрионы преобладали в массе сердца на протяжении всего исследуемого отрезка эмбриогенеза (табл. 1;  $p = 0,000^{\#}$ , Newman-Keuls test). Мышечный желудок и печень куриных эмбрионов интенсивнее развивались при красном освещении на 18-е ( $p = 0,001^{\#}$ , Newman-Keuls test;  $p = 0,032^{\#}$ , Duncan test, соответственно) и 20-е сутки ( $p = 0,000^{\#}$ , Newman-Keuls test;  $p = 0,000^{\#}$ , Duncan test, соответственно), в сравнении с контролем, а при зеленом освещении аналогичное воздействие на мышечный желудок отмечалось на 19-е ( $p = 0,030^{\#}$ , Duncan test) и 20-е сутки ( $p = 0,000^{\#}$ , Duncan test), на печень— на 20-е сутки ( $p = 0,000^{\#}$ , Duncan test). Сравнительный апостериорный анализ двух световых воздействий показал, что при красном освещении достоверное увеличение массы сердца куриных эмбрионов наблюдалось на 18-е (табл. 1,  $p = 0,008^{\bullet}$ , Newman-Keuls test) и 19-е сутки (табл. 1,  $p = 0,006^{\bullet}$ , Newman-Keuls test), по сравнению с зеленым освещением, а мышечного желудка— на 18-е сутки (табл. 1,  $p = 0,007^{\bullet}$ , Newman-Keuls test).

Таблица 1

### Характеристики абсолютных величин весовых размеров висцеральных органов куриных эмбрионов в контроле (темнота) при красном и зеленом световом воздействии

Сутки развития	В контроле (темнота)			При красном светодиодном освещении			При зеленом светодиодном освещении		
	МС, г	ММЖ, г	МП, г	МС, г	ММЖ, г	МП, г	МС, г	ММЖ, г	МП, г
14	0,089	0,226	0,207	0,096	0,270	0,223	0,103	0,285	0,232
	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,002	0,005	0,016	0,002 <sup>#</sup>	0,002	0,005	0,001 <sup>#</sup>	0,009	0,005

Окончание табл. 1

Сутки развития	В контроле (темнота)			При красном светодиодном освещении			При зеленом светодиодном освещении		
	МС, г	ММЖ, г	МП, г	МС, г	ММЖ, г	МП, г	МС, г	ММЖ, г	МП, г
15	0,113 ± 0,001*	0,404 ± 0,018*	0,251 ± 0,006	0,124 ± 0,004*.#	0,425 ± 0,010*	0,261 ± 0,006	0,125 ± 0,002*.#	0,454 ± 0,010*	0,296 ± 0,008*
16	0,137 ± 0,002*	0,579 ± 0,007*	0,366 ± 0,029*	0,141 ± 0,001#	0,486 ± 0,010*	0,351 ± 0,008*	0,148 ± 0,004*.#	0,642 ± 0,007*.*	0,379 ± 0,012*
17	0,154 ± 0,009*	0,775 ± 0,013*	0,453 ± 0,023*	0,192 ± 0,009*.#	0,809 ± 0,007*	0,470 ± 0,007*	0,182 ± 0,004*.#	0,813 ± 0,008*	0,465 ± 0,008*
18	0,172 ± 0,006*	1,037 ± 0,016*	0,468 ± 0,016	0,225 ± 0,009*.*.#	1,232 ± 0,032*.*.#	0,535 ± 0,006*.#	0,191 ± 0,007	1,049 ± 0,025	0,507 ± 0,008*
19	0,186 ± 0,003*	1,302 ± 0,022*	0,556 ± 0,006*	0,234 ± 0,011*.*.#	1,390 ± 0,064*	0,543 ± 0,019	0,200 ± 0,004#	1,437 ± 0,065*.*.#	0,586 ± 0,015*
20	0,192 ± 0,004	1,405 ± 0,015*	0,564 ± 0,009	0,261 ± 0,009*.#	1,754 ± 0,048*.*.#	0,680 ± 0,016*.*.#	0,263 ± 0,008*.*.#	1,664 ± 0,057*.*.#	0,678 ± 0,022*.*.#

Примечание: МС – масса сердца; ММЖ – масса желудка; МП – масса печени; \* – статистически значимое отличие по отношению к предыдущим суткам развития; # – статистически значимое отличие по отношению к контролю; • – статистически значимое отличие между красным и зеленым светодиодным освещением.

Table 1

**Characteristics of absolute values of weight dimensions of visceral organs of chicken embryos in the control (darkness), with red and green light exposure**

Development day	Control (darkness)			Red LED lighting			Green LED lighting		
	HM, g	MSM, g	LM, g	HM, g	MSM, g	LM, g	HM, g	MSM, g	LM, g
14	0.089 ± 0.002	0.226 ± 0.005	0.207 ± 0.016	0.096 ± 0.002#	0.270 ± 0.002	0.223 ± 0.005	0.103 ± 0.001#	0.285 ± 0.009	0.232 ± 0.005
15	0.113 ± 0.001*	0.404 ± 0.018*	0.251 ± 0.006	0.124 ± 0.004*.*.#	0.425 ± 0.010*	0.261 ± 0.006	0.125 ± 0.002*.*.#	0.454 ± 0.010*	0.296 ± 0.008*
16	0.137 ± 0.002*	0.579 ± 0.007*	0.366 ± 0.029*	0.141 ± 0.001#	0.486 ± 0.010*	0.351 ± 0.008*	0.148 ± 0.004*.*.#	0.642 ± 0.007*.*	0.379 ± 0.012*

Development day	Control (darkness)			Red LED lighting			Green LED lighting		
	HM, g	MSM, g	LM, g	HM, g	MSM, g	LM, g	HM, g	MSM, g	LM, g
17	0.154 ± 0.009*	0.775 ± 0.013*	0.453 ± 0.023*	0.192 ± 0.009*.#	0.809 ± 0.007*	0.470 ± 0.007*	0.182 ± 0.004*.#	0.813 ± 0.008*	0.465 ± 0.008*
18	0.172 ± 0.006*	1.037 ± 0.016*	0.468 ± 0.016	0.225 ± 0.009*.#.•	1.232 ± 0.032*.#.•	0.535 ± 0.006*.#	0.191 ± 0.007	1.049 ± 0.025	0.507 ± 0.008*
19	0.186 ± 0.003*	1.302 ± 0.022 *	0.556 ± 0.006 *	0.234 ± 0.011*.#.•	1.390 ± 0.064*	0.543 ± 0.019	0.200 ± 0.004#	1.437 ± 0.065*.#	0.586 ± 0.015*
20	0.192 ± 0.004	1.405 ± 0.015*	0.564 ± 0.009	0.261 ± 0.009*.#	1.754 ± 0.048*.#	0.680 ± 0.016*.#	0.263 ± 0.008*.#	1.664 ± 0.057*.#	0.678 ± 0.022*.#

Note: heart mass (HM), muscular stomach mass (MSM), liver mass (LM); \* is a statistically significant difference in relation to the previous days of development; # is a statistically significant difference in relation to the control; • is a statistically significant difference between red and green LED lighting.

Одно из объяснений полученных нами результатов можно связать с выработкой гормонов соматотропной оси (гормона роста (GH), инсулиноподобного фактора роста-I (IGF-I) и пролактина), которые находятся в прямой связи с процессами роста и метаболизма в эмбриогенезе курицы. Существуют доказательства того, что воздействие светодиодного света стимулирует выработку гормонов соматотропной оси, которые играют решающую роль в качестве модуляторов формирования тканей, органов и напрямую влияют на их рост в эмбриогенезе курицы [9–11]. Ориентируясь на эти данные, можно полагать, что механизмы, опосредующие возможные стимулирующие эффекты разного светодиодного света на развитие висцеральных органов куриных эмбрионов, связаны с изменениями в функциональной активности соматотропной оси в разные сутки эмбриогенеза. В пользу рассмотренных выше суждений следует подчеркнуть, что в литературе встречается неоднозначная информация о влиянии разного светодиодного освещения на развитие эмбрионов у разных кроссов кур в зависимости от их продуктивности. Так, в исследованиях зарубежных авторов показан стимуляционный положительный эффект монохроматического зеленого освещения во время инкубации по сравнению с красным, синим и в темноте, проявляющийся на поздних стадиях эмбриогенеза выраженным развитием куриных эмбрионов мясного кросса Arbor Acres и ростом их скелетных мышц за счет усиления пролиферации и дифференцировки сателлитных клеток [12, 13]. Однако красное монохроматическое освещение является более эффективным для развития эмбрионов породы White Leghorn, поскольку повышает выводимость и качество молодняка по сравнению с белым освещением [14]. Позднее исследование этого автора показало, что для развития эмбрионов мясного кросса Cobb



500 эффективным послужило красное и белое монохроматическое освещение по сравнению с зеленым освещением, поскольку повышало выводимость, качество молодняка и усиливало восприимчивость цыплят к стрессу в постнатальном онтогенезе [7]. Вышеуказанные литературные данные приводят нас к размышлению о необходимости дальнейших исследований для выяснения вопроса, насколько тесно связана селекция сельскохозяйственных птиц с пролиферацией и дифференцировкой клеток органов, регуляцией гормонов (GH и IGF-I) и развитием куриного эмбриона при воздействии светодиодного освещения разного цветового спектра. Результаты собственных исследований, проведенных нами ранее, показали, что красное и зеленое светодиодное освещение оказывало стимулирующее влияние на эмбриональное развитие кур кросса «Ломанн Браун», сопровождающееся повышением массы тела, а также уровня метаболизма в сравнении с контролем (темнота) [15]. Причем, красное светодиодное освещение во время инкубации является более эффективным, поскольку повышало массу тела куриных эмбрионов и ускоряло процессы энергетического обмена к периоду вылупления (20-е сутки) по сравнению с зеленым освещением [15].

Другое объяснение разного воздействия красного и зеленого светодиодного освещения на рост висцеральных органов куриных эмбрионов связано с эмбриогенезом шишковидной железы. По данным Hassanzadeh с соавторами [16] до образования шишковидной железы свет влияет на митоз нервного гребня. После образования шишковидной железы свет действует на развитие куриного эмбриона и его органов, главным образом, путем модуляции синтеза мелатонина. Монохроматический светодиодный свет способствует выработке мелатонина, который влияет на секрецию гормонов соматотропной оси (GH и IGF-I) и оказывает комплексное воздействие на регуляцию роста куриных эмбрионов и его органов [4, 7, 10, 14]. Также в научной литературе имеются отдельные сообщения, указывающие на то, что секреция мелатонина пинеальной железы куриных эмбрионов зависит от цветового спектра монохроматического света [17]. Авторами определена максимальная секреция мелатонина пинеальной железы у 20-дневных эмбрионов кросса Ross 308, развитие которых проходило при красном и белом светодиодном освещении, а наименьшая — у эмбрионов, развивающихся при синем освещении [17]. Последнее исследование указывает на то, что при воздействии зеленого светодиодного света на соматотропную ось критический период развития куриных эмбрионов Cobb 500 наступает на заключительных стадиях эмбрионального развития, после 18-х суток, когда биосинтез мелатонина резко возрастает [11]. Согласно данным гистологических исследований, при прерывистом зеленом светодиодном освещении увеличивается площадь фолликул, толщина стенок и площадь просвета шишковидной железы куриных эмбрионов породы White Leghorn на 10-е и 12-е сутки, а на 18-е сутки — только толщина стенки органа [18].

Нами установлен факт, что к периоду вылупления на 20-е сутки не выявлено различий в развитии висцеральных органов куриных эмбрионов кросса «Ломанн Браун» в зависимости от красного и зеленого светового спектра (см. табл. 1; сердце:

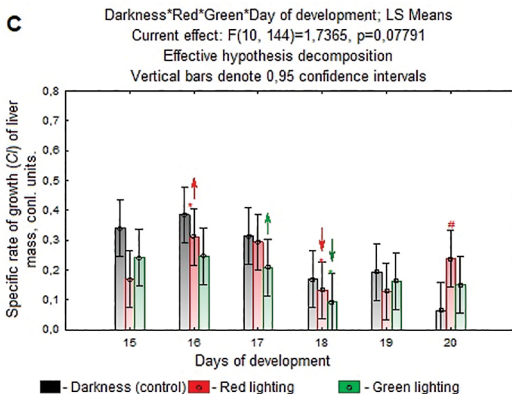
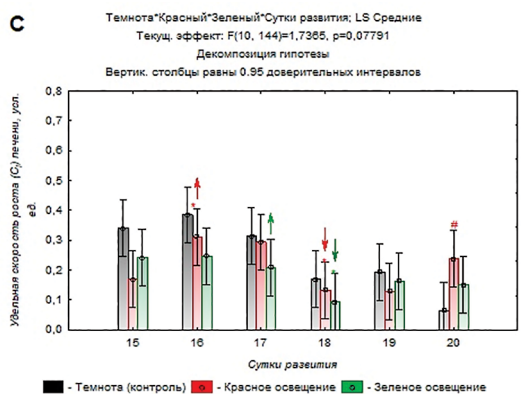
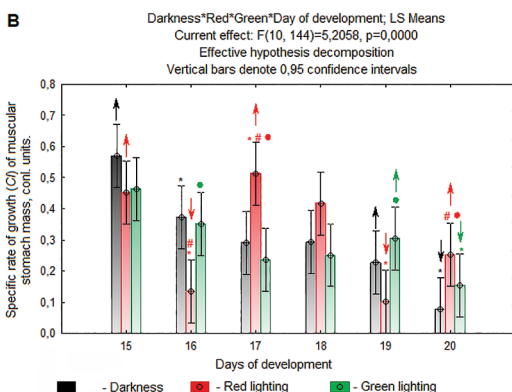
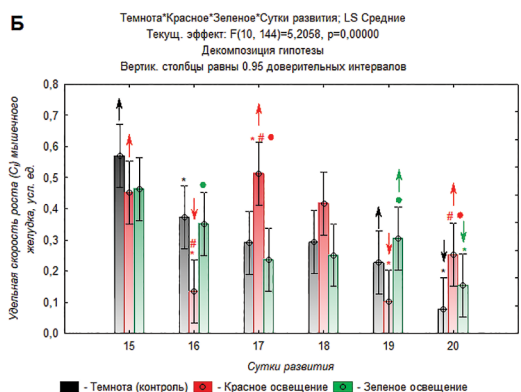
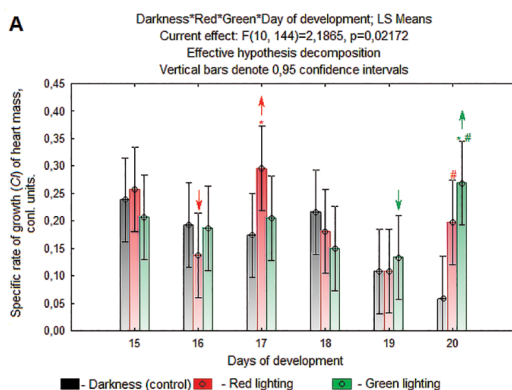
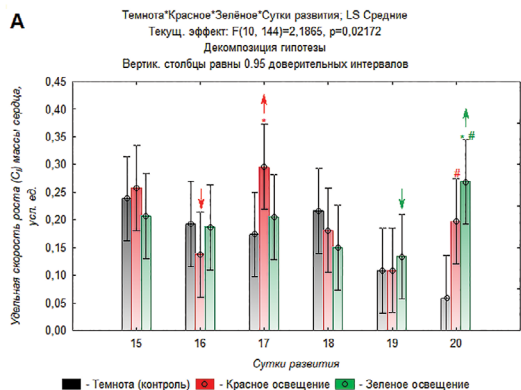
$p = 0,866$ , Newman-Keuls test; мышечный желудок:  $p = 0,183$ , Newman-Keuls test; печень:  $p = 0,919$ , Duncan test). Полученные данные находят свое подтверждение в нескольких работах по влиянию светодиодной стимуляции разного светового спектра на развитие органов куриных эмбрионов [4, 19]. В [19] на эмбрионах кросса Arbor Acres не обнаружено различий в массе сердца, печени и глазного яблока во время последних суток развития в условиях непрерывного зеленого и белого светодиодного освещения. Аналогичные результаты были сообщены позднее в [4], где сравнивали массу тела, головного мозга эмбрионов кросса Ross 308 при непрерывном освещении разного цветового спектра (красный, синий, зеленый).

Собственные данные указывают на то, что в раннем онтогенезе кур кросса «Ломанн Браун» отмечается несколько критических этапов (фаз), выпадающих на различные сутки развития и характеризующие особенности ритмичности процессов роста висцеральных органов в эмбриогенезе кур при светодиодной стимуляции красного и зеленого спектра (рис., А—С). У куриных эмбрионов при красном освещении наибольшая скорость роста сердца выявлена на 17-е (рис., А, красный свет:  $p = 0,028^*$ , Duncan test), а при зеленом— 20-е сутки (рис., А, зеленый свет: сутки ( $p = 0,028^*$ , Duncan test), мышечного желудка— на 17, 20-е сутки (рис., Б, красный свет:  $p = 0,000^*$ , Newman-Keuls test), печени— на 16-е (рис., С, красный свет:  $p = 0,040^*$ , Duncan test) и 17-е сутки (рис., С, зеленый свет:  $p = 0,034^*$ , Duncan test).

Известно, что световая стимуляция повышает уровень метаболизма [15], и именно его мы видим причиной интенсивного роста массы висцеральных органов у куриных эмбрионов, которые развивались при красном и зеленом светодиодном освещении, в отличие от эмбрионов, инкубируемых в темноте. Следствием этого являются сдвиги критических периодов развития в скорости роста массы висцеральных органов (см. рис., А—С) при обоих видах освещения на более поздние дни эмбрионального развития и сокращение продолжительности последнего. Вылупление куриных эмбрионов кросса «Ломанн Браун», подвергающихся красному и зеленому световому воздействию, происходило на 20-е сутки инкубации— на сутки раньше, чем в контрольных условиях (темнота).

## Заключение

На основании проведенного исследования можно заключить, что дополнительное непрерывное монохроматическое светодиодное освещение разного цветового спектра является более эффективным, поскольку ускоряет развитие висцеральных органов зародышей курицы во время искусственной инкубации. Красное и зеленое светодиодное освещение может использоваться в практике инкубации яиц сельскохозяйственной птицы яичной продуктивности и при изучении синергетического воздействия светодиодного освещения и переменных температур инкубации на эмбриональное развитие кур разного направления продуктивности.



Изменения удельной скорости роста  $C_1$  массы висцеральных органов куриных эмбрионов в контроле (темнота) при красном и зеленом светодиодном освещении: **A** –  $C_1$  массы сердца; **Б** –  $C_1$  массы мышечного желудка; **С** –  $C_1$  массы печени; ↑ – подъем скорости роста (критические сутки); ↓ – депрессия скорости роста; \* – статистически значимое отличие по отношению к предыдущим суткам развития; # – статистически значимое отличие по отношению к контролю; ● – статистически значимое отличие между красным и зеленым светодиодном освещением

Change in the specific growth rate  $C_1$  of the mass of visceral organs of chicken embryos in the control (darkness), under red and green LED lighting: **A** –  $C_1$  of the mass of the heart; **B** –  $C_1$  of the mass of the muscular stomach; **C** –  $C_1$  of the mass of the liver; ↑ – increase in growth rate (critical day); ↓ – depression of growth rate; \* – statistically significant difference in relation to the previous days of development; # – statistically significant difference in relation to control; ● – statistically significant difference between red and green LED lighting

## Библиографический список

1. Pal P., Dey D., Choudhary S., Sahu J., Kumar S., Ghosh S. Effect of light management in broiler production: A review // *J. Entomol. Zool. Stud.* 2019. Vol. 7. № 3. P. 437–441.
2. Soliman F.N.K., El-Sabrou K. Light wavelengths/colors: Future prospects for broiler behavior and production // *J. Vet. Behav.* 2020. Vol. 36. № 39. P. 34–39. doi: 10.1016/j.jveb.2019.10.014
3. Rogers L. Steroid hormones influence light-dependent development of visual projections to the forebrain // *Eur. J. Neurosci.* 2020. Vol. 52. № 6. P. 3572–3574. doi: 10.1111/ejn.14775
4. Abdulateef S.M., Al-Bayar M.A., Majid A.A., Shawkat S.S., Tatar A., Al-Ani M.Q. Effect of exposure to different light colors on embryonic development and neurophysiological traits in the chick embryo // *Veterinary World.* 2021. Vol. 14. № 5. P. 1284–1289. doi: 10.14202/vetworld.2021.1284–1289
5. Yang Y.—F., Jiang J.—S., Pan J.—M., Ying Y.—B., Wang X.—S., Zhang M.—L., Lu M.—S., Chen X.—H. The relationship of spectral sensitivity with growth and reproductive response in avian breeders (*Gallus gallus*) // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. e19291. doi: 10.1038/srep19291
6. Pan J., Yang Y., Yang B., Yu Y. Artificial polychromatic light affects growth and physiology in chicks // *PLoS One.* 2014. Vol. 9. № 12. e113595. doi:10.1371/journal.pone.0113595
7. Archer G.S. Exposing broiler eggs to green, red and white light during incubation // *Animal.* 2017. Vol. 11. № 7. P. 1203–1209. doi: 10.1017/S 1751731117000143
8. Шмальгаузен И.И. Определение основных понятий и методика исследования роста. Рост животных. М.—Л., 1935. С. 8—60.
9. Givisiez P.E.N., Moreira Filho A.L.B., Santos M.R.B. et al. Chicken embryo development: metabolic and morphological basis for in ovo feeding technology // *Poultry Science.* 2020. Vol. 99. P. 6774–6782. doi: 10.1016/j.psj.2020.09.074
10. Li X., Rathgeber B., McLean N., MacIsaac J. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 1. Effects on embryo development and hatching performance in broiler hatching eggs // *Poultry Science.* 2021. Vol. 100. e101336. doi:10.1016/j.psj.2021.101336
11. Dishon L., Avital-Cohen N., Zaguri S., Bartman J., Heiblum R., Druyan S., Porter T.E., Gumulka M., Rozenboim I. In ovo green light photostimulation during the late incubation stage affects somatotrophic axis activity // *Poult. Sci.* 2021. Vol. 100. № 2. P. 467–473. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.031
12. Zhang L., Zhang H.J., Qiao X., Wu S.G., Yao J.H., Qi G.H. Effect of monochromatic light stimuli during embryogenesis on muscular growth, chemical composition, and meat quality of breast muscle in male broilers // *Poult. Sci.* 2012. Vol. 91. P. 1026–1031. doi: 10.3382/ps.2011–01899
13. Wang T., Wang Z., Cao J., Dong Y., Chen Y. Monochromatic light affects the development of chick embryo liver via an anti-oxidation pathway involving melatonin and the melatonin receptor Mel1c // *Can. J. Anim. Sci.* 2014. Vol. 94. P. 391–400. doi: 10.4141/cjas2013–177
14. Archer G.S. Effect of exposing layer and broiler eggs to red or white light during incubation // *Int. J. Poult. Sci.* 2015. Vol. 14. P. 491–496. doi: 10.3923/ijps.2015.491.496
15. Челнокова М.И., Сулейманов Ф.И., Челноков А.А. Развитие и метаболизм эмбрионов курицы в эмбриогенезе при разном светодиодном освещении яиц во время инкубации // *Иппология и ветеринария.* 2021. № 4(42). С. 219–224.
16. Hassanzadeh M., Decuypere E., Lamberigts C., Buyse J. Light as exogenous factor can control metabolic disorders and impact embryonic development in broiler chickens—a review. *European Poultry Science.* 2019. Vol. 83. P. 1350–1359. doi: 10.1399/eps.2019.257
17. Drozdová A., Okuliarova M., Zeman M. The effect of different wavelengths of light during incubation on the development of rhythmic pineal melatonin biosynthesis in chick embryos // *Animal.* 2019. Vol. 13. № 8. P. 1635–1640. doi: 10.1017/S 1751731118003695
18. Wang P., Sun Y., Li Y., Fan J., Zong Y., Mani I.A., Shi L., Wang Y., Ni A., Ge P., Jiang L., Bian S., Ma H., Yuan Z., Liu X., Chen J. Monochromatic green light stimulation during incubation shortened the hatching time via pineal function in White Leghorn eggs // *J Animal Sci Biotechnol.* 2021. Vol. 12. P. 17. doi: 10.1186/s40104–020–00539-x

19. Zhang L., Zhu X.D., Wang X.F., Gao F., Zhou G.H. Green light-emitting diodes light stimuli during incubation enhances posthatch growth without disrupting normal eye development of broiler embryos and hatchlings // *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2016. Vol. 29. P. 1562—1568. doi: 10.5713/ajas.15.0976

## References

1. Pal P, Dey D, Choudhary S, Sahu J, Kumar S, Ghosh S. Effect of light management in broiler production: A review. *J Entomol Zool Stud.* 2019; 7(3):437—441.
2. Soliman FNK, El-Sabroun K. Light wavelengths/colors: Future prospects for broiler behavior and production. *J Vet Behav.* 2020; 36:34–39. doi: 10.1016/j.jveb.2019.10.014
3. Rogers LJ. Steroid hormones influence light-dependent development of visual projections to the forebrain. *Eur J Neurosci.* 2020; 52(6):3561—3571. doi: 10.1111/ejn.14775
4. Abdulateef SM, Al-Bayar MA, Majid AA, Shawkat SS, Tatar A, Al-Ani MQ. Effect of exposure to different light colors on embryonic development and neurophysiological traits in the chick embryo. *Veterinary World.* 2021; 14(5):1284—1289. doi: 10.14202/vetworld.2021.1284–1289
5. Yang YF, Jiang JS, Pan JM, Ying YB, Wang XS, Zhang ML, et al. The relationship of spectral sensitivity with growth and reproductive response in avian breeders (*Gallus gallus*). *Sci Rep.* 2016; 6:19291. doi: 10.1038/srep19291
6. Pan J, Yang Y, Yang B, Yu Y. Artificial polychromatic light affects growth and physiology in chicks. *PLoS One.* 2014; 9(12): e113595. doi: 10.1371/journal.pone.0113595
7. Archer G.S. Exposing broiler eggs to green, red and white light during incubation. *Animal.* 2017; 11(7):1203—1209. doi: 10.1017/S 1751731117000143.
8. Schmalhausen I.I. Definition of basic concepts and methods for studying growth. In: *Rost zhivotnykh* [Growth of animals]. Moscow-Leningrad: Biomedgiz publ.; 1935. p.8—60. (In Russ.)
9. Givisiez PEN, Moreira Filho ALB, Santos MRB, Oliveira HB, Ferket PR, Oliveira CJB, et al. Chicken embryo development: metabolic and morphological basis for *in ovo* feeding technology. *Poultry Science.* 2020; 99(12):6774—6782. doi: 10.1016/j.psj.2020.09.074
10. Li X, Rathgeber B, McLean N, MacIsaac J. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 1. Effects on embryo development and hatching performance in broiler hatching eggs. *Poultry Science.* 2021; 100(9):101336. doi: 10.1016/j.psj.2021.101336
11. Dishon L, Avital-Cohen N, Zaguri S, Bartman J, Heiblum R, Druyan S, et al. In ovo green light photostimulation during the late incubation stage affects somatotrophic axis activity. *Poultry Science.* 2021; 100(2):467—473. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.031
12. Zhang L, Zhang HJ, Qiao X, Wu SG, Yao JH, Qi GH. Effect of monochromatic light stimuli during embryogenesis on muscular growth, chemical composition, and meat quality of breast muscle in male broilers. *Poultry Science.* 2012; 91(4):1026—1031. doi: 10.3382/ps.2011-01899
13. Wang T, Wang Z, Cao J, Dong Y, Chen Y. Monochromatic light affects the development of chick embryo liver via an anti-oxidation pathway involving melatonin and the melatonin receptor Mel1c. *Can J Anim Sci.* 2014; 94(3):391–400. doi: 10.4141/cjas2013-177
14. Archer GS. Effect of exposing layer and broiler eggs to red or white light during incubation. *Int J Poult Sci.* 2015; 14(9):491–496. doi: 10.3923/ijps.2015.491.496
15. Chelnokova MI, Suleymanov FI, Chelnokov AA. Development and metabolism of chicken embryos in embryogenesis under different LED lighting of eggs during incubation. *Hippology and Veterinary.* 2021; (4):219—224. (In Russ.)
16. Hassanzadeh M, Decuyper E, Lamberigts C, Buyse J. Light as exogenous factor can control metabolic disorders and impact embryonic development in broiler chickens—a review. *European Poultry Science.* 2019; 83: p.1350—1359. doi: 10.1399/eps.2019.257
17. Drozdova A, Okuliarova M, Zeman M. The effect of different wavelengths of light during incubation on the development of rhythmic pineal melatonin biosynthesis in chick embryos. *Animal.* 2019; 13(8):1635—1640. doi: 10.1017/S 1751731118003695

18. Wang P, Sun Y, Li Y, Fan J, Zong Y, Mani IA, et al. Monochromatic green light stimulation during incubation shortened the hatching time via pineal function in White Leghorn eggs. *J Animal Sci Biotechnol*. 2021; 12(1):17. doi: 10.1186/s40104-020-00539-x

19. Zhang L, Zhu XD, Wang XF, Gao F, Zhou GH. Green light-emitting diodes light stimuli during incubation enhances posthatch growth without disrupting normal eye development of broiler embryos and hatchlings. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2016; 29(11):1562—1568. doi: 10.5713/ajas.15.0976

#### **Об авторах:**

*Челнокова Марина Игоревна* — кандидат биологических наук, заведующая кафедрой ветеринарии факультета технологии животноводства и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, 182112, г. Великие Луки, Псковская обл., пр-т. Ленина, д. 2; e-mail: [marinachelnokova@yandex.ru](mailto:marinachelnokova@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-9353-767X

*Челноков Андрей Алексеевич* — доктор биологических наук, профессор кафедры зоотехнии и технологии переработки продукции животноводства факультета технологии животноводства и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, 182112, г. Великие Луки, Псковская обл., пр-т. Ленина, д. 2; e-mail: [and-chelnokov@yandex.ru](mailto:and-chelnokov@yandex.ru)

ORCID: 0000-0003-0502-5752

#### **About authors:**

*Chelnokova Marina Igorevna* — Candidate of Biological Sciences, Head of the Veterinary Department, Faculty of Animal Husbandry Technology and Agroecology, Velikiye Luki State Agricultural Academy, 2 Lenin ave., Velikiye Luki, Pskov region, 182112, Russian Federation; e-mail: [marinachelnokova@yandex.ru](mailto:marinachelnokova@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-9353-767X

*Chelnokov Andrey Alekseevich* — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Animal Husbandry and Processing Technology, Faculty of Animal Husbandry Technology and Agroecology, Velikiye Luki State Agricultural Academy, 2 Lenin ave., Velikiye Luki, Pskov region, 182112, Russian Federation; e-mail: [and-chelnokov@yandex.ru](mailto:and-chelnokov@yandex.ru)

ORCID: 0000-0003-0502-5752