



ISSN 0370-8799 (Print)
ISSN 2658-462X (Online)

Сибирский вестник СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ SIBERIAN HERALD OF AGRICULTURAL SCIENCE

№ 11

TOM 53



НОЯБРЬ 2023

Том 53 № 11 2023

СИБИРСКИЙ ВЕСТНИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СИБИРСКИЙ ВЕСТНИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

SIBIRSKII VESTNIK SEL'SKOKHOZYAISTVENNOI NAUKI

УЧРЕДИТЕЛИ: СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОСНОВАН В 1971 г.

ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД

Том 53, № 11 (300)

DOI: 10.26898



2023

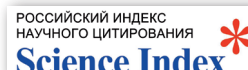
ноябрь

Главный редактор – Донченко Александр Семенович, академик РАН, доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, руководитель научного направления Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Заместитель главного редактора – Ломбанина Татьяна Александровна, заведующая издательством «Агронаука» Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Редакционная коллегия:

В.В. Азаренко	д-р техн. наук, член-корреспондент НАН Беларуси, Минск, Беларусь
В.В. Альт	академик РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
О.С. Афанасенко	академик РАН, д-р биол. наук, Санкт-Петербург, Россия
К.С. Голохваст	член-корреспондент РАО, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
О.В. Голуб	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
Н.П. Гончаров	академик РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
М.И. Гулюкин	академик РАН, д-р вет. наук, Москва, Россия
В.Н. Десягин	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
С.А. Джохари	профессор, PhD, Санандадж, Иран
И.М. Донник	академик РАН, д-р биол. наук, Москва, Россия
Н.М. Иванов	член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
А.Ю. Измайлов	академик РАН, д-р техн. наук, Москва, Россия
Н.И. Кашеваров	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
В.И. Кирюшин	академик РАН, д-р биол. наук, Москва, Россия
С.Н. Магер	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
К.Я. Мотовилов	член-корреспондент РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
О.К. Мотовилов	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
А.М. Наметов	д-р вет. наук, член-корреспондент НАН Республики Казахстан, Уральск, Казахстан
В.С. Николов	д-р вет. наук, София, Болгария
С.П. Озорнин	д-р техн. наук, Чита, Россия
В.Л. Петухов	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
Р.И. Полудина	д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
М.И. Селионова	д-р биол. наук, Москва, Россия
В.А. Солошенко	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
Н.А. Сурин	академик РАН, д-р с.-х. наук, Красноярск, Россия
С. Эркисли	профессор, PhD, Эрзурум, Турция
С.Х. Янг	профессор, PhD, Кванджу, Корея



www.sibvest.elpub.ru

Редакторы *Е.М. Исаевич, Е.В. Мосунова, Г.Н. Ягунова*. Корректор *В.Е. Селянина*.

Оператор электронной верстки *Н.Ю. Бориско*. Переводчик *М.Ш. Гаценко*.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ ФС77-64832 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 2 февраля 2016 г.

Издатель: Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук

Адрес редакции и издателя: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СФНЦА РАН, к. 456, а/я 463

Адрес типографии: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СибНИИ кормов, к. 156

Тел./факс: (383)348-37-62; **e-mail:** sibvestnik@sfsc.ru, vestnik.nsk@ngs.ru; <https://sibvest.elpub.ru/jour>

Вышел в свет 15.12.2023. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Печ. л. 19,5

Уч.-изд. л. 19,5. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано в Сибирском федеральном научном центре агrobiотехнологий Российской академии наук

© ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук», 2023

© ФГБУ «Сибирское отделение Российской академии наук», 2023



СОДЕРЖАНИЕ

**ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ХИМИЗАЦИЯ**

Никифорова С.А. Влияние последействия минеральных удобрений при возделывании ячменя после подсолнечника

РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ

Калмыкова Е.В., Передриенко А.И. Биология и экология *Forestiera neo-mexicana* A. Gray и перспективы использования в Нижнем Поволжье

Андреева О.Т. Влияние сроков посева на фенологическое развитие и урожайность лекарственных культур в Забайкалье

Любимова А.В., Ерёмина Д.В. Наследование ценных признаков продуктивности гибридных комбинаций местных и иностранных сортов овса в условиях Зауралья

CONTENTS

**AGRICULTURE
AND CHEMICALIZATION**

5 Nikiforova S.A. Influence of mineral fertilizers after-effect when cultivating barley after sunflower

PLANT GROWING AND BREEDING

14 Kalmykova E.V., Peredrienko A.I. Biology and ecology of *Forestiera neo-mexicana* A. Gray and prospects for use in the Lower Volga region

23 Andreeva O.T. Influence of sowing dates on the phenological development and yield of medicinal crops in Transbaikalia

32 Lyubimova A.V., Eremina D.V. Inheritance of valuable productivity traits of hybrid combinations of local and foreign oat varieties in the conditions of the Trans-Ural region

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION

**Коваленко Т.К., Гришечкина С.Д., Ко-
чева Н.С.** Защита растений сои от фи-
тофагов в условиях Приморского края

**46 Kovalenko T.K., Grishechkina S.D.,
Kocheva N.S.** Protection of soybean
plants from phytophages under condi-
tions of the Primorsky Territory

ЗООТЕХНИКА
И ВЕТЕРИНАРИЯZOOTECHNICS
AND VETERINARY MEDICINE

**Донченко Н.А., Куренская Н.И., Си-
зов А.А., Стеблева Г.М., Сизов Д.А.,
Воробьев В.И.** Сравнительное изуче-
ние применения ИФА с молоком и сы-
вороткой крови для диагностики бру-
целлеза крупного рогатого скота

**53 Donchenko N.A., Kurenskaya N.I.,
Sizov A.A., Stebleva G.M., Sizov D.A.,
Vorobyov V.I.** Comparative study of the
ELISA use with milk and blood serum for
bovine brucellosis diagnosis

Пушкарев И.А., Куренинова Т.В. Эффек-
тивность применения тканевого био-
стимулятора при выращивании телок

63 Pushkarev I.A., Kureninova T.V. Efficien-
cy of tissue biostimulant application in
growing heifers

**Юматов Е.Н., Евлагина Е.Г., Деев И.Е.,
Евлагин В.Г., Лейнвебер Е.Ф.** Био-
технологии тутового шелкопряда как
базис биоиндустриальной платформы.
Улучшения на этапе восходящего про-
цесса (USP)

**71 Yumatov E.N., Evlagina E.G., Deyev I.E.,
Evlagin V.G., Leinweber E.F.** Mulberry
silkworm biotechnology as the basis of a
bioindustrial platform. Improvements on
the upstream processing stage (USP)

**Гончаренко Г.М., Хамируев Т.Н., Да-
шинимаев С.М., Хорошилова Т.С.,
Халина О.Л., Гришина Н.Б.** Имму-
ногенетическая характеристика по-
род овец Сибирско-Дальневосточного
региона

**86 Goncharenko G.M., Khamiruev T.N.,
Dashinimaev S.M., Khoroshilova T.S.,
Khalina O.L., Grishina N.B.** Immuno-
genetic characteristics of sheep breeds of
the Siberian-Far Eastern region

**Ефремова Е.А., Марченко В.А., Смер-
тина М.А.** Характеристика заражен-
ности и структура гельминтокомплек-
сов лошадей в провинциях Горного
Алтая

**96 Efremova E.A., Marchenko V.A., Smerti-
na M.A.** Characterization of infestation
and structure of horse helminth comple-
xes in the provinces of the Altai Moun-
tains

*МЕХАНИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ*

*MECHANISATION,
AUTOMATION, MODELLING
AND DATAWARE*

- | | | |
|---|-----|--|
| <p>Алейников А.Ф., Осипенко И.В. Разработка нового метода оценки эмбрионов в яйце птицы до его инкубации</p> | 106 | <p>Aleynikov A.F., Osipenko I.V. Development of a new method for evaluating embryos in a bird egg before incubation</p> |
| <p>Делягин В.Н., Леонов С.В., Некрасов М.Ю., Кондратьев А.А., Карзанов А.Н. Использование низкотемпературной плазмы для обеззараживания открытых поверхностей производственных помещений</p> | 121 | <p>Delyagin V.N., Leonov S.V., Nekrasov M. Yu., Kondratiev A.A., Karzanov A.N. The use of low-temperature plasma for disinfection of open surfaces of industrial premises</p> |

*ИЗ ИСТОРИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ*

*FROM THE HISTORY
OF AGRICULTURAL SCIENCE*

- | | | |
|---|-----|---|
| <p>Гинтер Е.В., Лыков А.С. Прошлое и настоящее племенного дела в молочном скотоводстве Крайнего Северо-Востока</p> | 130 | <p>Ginter E.V., Lykov A.S. The past and present of breeding in dairy cattle breeding in the Far North-East</p> |
|---|-----|---|

НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

SCIENTIFIC RELATIONS

- | | | |
|--|-----|---|
| <p>Мерк Л.Б., Губарева Н.С., Николаева В.Н., Доланбаева Г.Т., Дидоренко С.В. Мониторинг селекционного материала подсолнечника с целью определения уровня устойчивости к ложной мучнистой росе</p> | 138 | <p>Merk L.B., Gubareva N.S., Nikolaeva V.N., Dolanbaeva G.T., Didorenko S.V. Monitoring of sunflower breeding material to identify the level of resistance to false powdery mildew</p> |
|--|-----|---|

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

IN COMMEMORATION OF SCIENTIST

- | | | |
|--|-----|---|
| <p>Наталия Григорьевна Власенко</p> | 147 | <p>Natalia Grigorievna Vlasenko</p> |
| <p>Николай Александрович Донченко</p> | 149 | <p>Nikolay Alexandrovich Donchenko</p> |



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-1>

УДК: 631.81:631.89:633.854.78

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯЧМЕНЯ ПОСЛЕ ПОДСОЛНЕЧНИКА

✉ Никифорова С.А.

Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева –
филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук
Ульяновская область, пос. Тимирязевский, Россия

✉ e-mail: nikiforova11@yandex.ru

Представлены результаты исследований за 2021, 2022 гг. по влиянию последействия различных доз минеральных удобрений, вносимых под подсолнечник, на продуктивность и качество ярового ячменя сорта Камашевский. Полевые опыты заложены в условиях Ульяновской области на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом. Изучали четыре фона минеральных удобрений: N_0 , N_{30} , $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{30}K_{30}$ кг д.в./га. Метеоусловия были контрастными в годы исследований, что позволило более полно оценить эффективность последействия удобрений. Технология возделывания ячменя включала весеннюю разделку растительных остатков подсолнечника дискатором и модульной бороной, посев зерновой сеялкой и прикатывание. Ячмень проявил наибольшую отзывчивость на последействие минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{30}K_{30}$ кг д.в./га. Урожайность зерна на данном варианте составила 2,11 т/га, что на 1,05 т/га выше по сравнению с неудобренным вариантом. На данном агрофоне получено более крупное зерно (масса 100 зерен составила 48,4 г, на контроле – 44,4 г) с высоким содержанием белка 12,7% (на контроле – 11,5%). Проведение корреляционно-регрессионного анализа позволило выявить прямую положительную взаимосвязь между накоплением сухого вещества и продуктивностью ячменя ($R^2 = 0,96$). Установлено, что с увеличением дозы азотных удобрений на каждые 10 кг д.в./га наблюдается повышение содержания сырого белка в зерне на 0,2%. Содержание белка в зерне зависело от условий влагообеспеченности года. Возделывание ячменя после подсолнечника агрономически целесообразно на фоне последействия минеральных удобрений. При отсутствии удобрений продуктивность ячменя после подсолнечника резко снижается. Кроме того, необходимы тщательный контроль за засоренностью посевов ячменя (в том числе в связи с появлением большого количества падалицы подсолнечника) и своевременное проведение химической прополки.

Ключевые слова: ячмень яровой, минеральные удобрения, последействие, продуктивность, сырой белок

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS AFTER-EFFECT WHEN CULTIVATING BARLEY AFTER SUNFLOWER

✉ Nikiforova S.A.

Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N.S. Nemtsev –
Branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Timiryazevsky, Ulyanovsk region, Russia

✉ e-mail: nikiforova11@yandex.ru

The results of research for 2021, 2022 on the impact of the after-effect of different doses of mineral fertilizers applied to sunflower on productivity and quality of spring barley of the Kamashevsky variety are presented. Field experiments were laid in the conditions of the Ulyanovsk region on chernozem leached heavy loamy soil. Four backgrounds of mineral fertilizers were studied: N_0 , N_{30} , $N_{30}P_{30}K_{30}$,

$N_{60}P_{30}K_{30}$ kg a.i./ha Meteorological conditions were contrasting in the years of research, which allowed a more complete assessment of the effectiveness of fertilizer after-effect. Barley cultivation technology included spring cutting of sunflower crop residues with a discator and a modular harrow, sowing with a grain drill and rolling. Barley showed the greatest responsiveness to the after-effect of mineral fertilizers at a dose of $N_{60}P_{30}K_{30}$ kg a.i./ha. Grain yield in this variant was 2.11 t/ha, which is 1.05 t/ha higher compared to the unfertilized variant. On this agricultural background, a larger grain was obtained (the weight of 100 grains was 48.4 g, on the control - 44.4 g) with a high protein content of 12.7% (on the control - 11.5%). Correlation and regression analysis revealed a direct positive relationship between dry matter accumulation and barley productivity ($R^2 = 0,96$). It was found that with an increase in the dose of nitrogen fertilizers for every 10 kg a.i./ha, an increase in the crude protein content of grain by 0.2% was observed. Protein content in grain depended on the moisture conditions of the year. Cultivation of barley after sunflower is agronomically expedient on the background of mineral fertilizers aftereffect. In the absence of fertilizers, the productivity of barley after sunflower sharply decreases. In addition, it is necessary to carefully control the weediness of barley crops (including the emergence of large amounts of sunflower fallen seed) and timely chemical weeding.

Keywords: spring barley, mineral fertilizers, after-effect, productivity, crude protein

Для цитирования: Никифорова С.А. Влияние последействия минеральных удобрений при возделывании ячменя после подсолнечника // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 5–13. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-1>

For citation: Nikiforova S.A. Influence of mineral fertilizers after-effect when cultivating barley after sunflower. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 5–13. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-1>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень – важная кормовая культура, занимающая ежегодно около 10% посевной площади в Ульяновской области (95–104 тыс. га) с урожайностью 15–20 ц/га. Важно его возделывать по адаптивной технологии с учетом отзывчивости культуры на различные агроприемы – предшественники, дозы и виды вносимых минеральных удобрений, систему защиты посевов и др. [1–4].

В технологии возделывания сельскохозяйственных культур роль предшественника трудно переоценить [5–9]. В исследованиях [6] на черноземе выщелоченном показано, что яровая пшеница и овес являются худшими предшественниками ячменя из-за увеличения засоренности посевов, поражаемости растений болезнями и, как следствие, снижения урожайности культуры. Размещение

ячменя по яровой пшенице и овсу снижало содержание сырого белка на 0,8–0,9%.

Широкое распространение посевов подсолнечника и поздние сроки его уборки не всегда позволяют с осени обработать почву, что требует изучения вопроса эффективности подсолнечника как предшественника для зерновых культур с агрономической точки зрения. Часто сельхозтоваропроизводители практикуют возделывание ячменя после подсолнечника. Как показывает опыт, ячмень дает такой же урожай при прямом посеве после подсолнечника стерневой сеялкой, что и по традиционной технологии возделывания¹.

Известно, что ячмень проявляет повышенные требования к уровню минерального питания, вследствие этого он отзывчив на прямое действие минеральных удобрений и прежде всего стартовых доз [10–13]. Подкормки по вегетации малоэффективны ввиду короткого периода вегетации культуры.

¹Пат. № 2714706 С1 Российская Федерация, МПК А01С 7/00, № 2019124821. Способ возделывания ярового ячменя прямым посевом / А.Л. Тойгильдин, Д.Э. Аюпов, А.С. Галкин; заявитель – Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина; заявл. 02.08.2019; опубл. 19.02.2020.

Внесение минеральных удобрений под предшествующую культуру позволяет обеспечить ячмень доступными элементами минерального питания в ранний период развития [14–16]. Однако в данном случае важно оценить продуктивность культуры в зависимости от фона минеральных удобрений предшествующей культуры. При высокой стоимости минеральных удобрений данный вопрос приобретает особую актуальность.

Цель исследований – представить комплексную оценку последствий минеральных удобрений при возделывании ячменя после подсолнечника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2020, 2021 гг. проведены исследования по разработке элементов технологии возделывания подсолнечника с применением различных доз минеральных удобрений, затем дана оценка последствий изучаемых факторов на продуктивность ярового ячменя. Уборку подсолнечника проводили в поздние сроки (октябрь – декабрь). Поле с осени не обрабатывали. Подготовку почвы к посеву осуществляли в весенний период: первую обработку – дискатором БДМ 3 × 4, вторую – модульной бороной БМ-4,5. Начало всходов культуры отмечено 18–25 мая. Уход за посевами по вегетации включал защиту от сорных растений в фазе кущения препаратом Балет, КЭ (в дозе 0,4 л/га).

В полевом опыте изучено четыре фона минеральных удобрений в последствии: N_0 , N_{30} , $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{30}K_{30}$. Повторность опыта трехкратная, размещение делянок систематическое. Учетная площадь делянки $15 \times 22,4 = 336 \text{ м}^2$. Посев ячменя в 2021 г. проводили 17 мая, в 2022 г. – 9 мая зерновой сеялкой СЗ-3,6 поперек сева предшествующей культуры без удобрений на глубину 5–6 см с нормой высева 4,5 млн всхожих семян/га. Уборку урожая осуществляли селекционным комбайном Сампо-500 в фазе полной спелости с дальнейшим переводом данных к 100%-й

чистоте и 14%-й влажности. В качестве минеральных удобрений применяли азофоску с содержанием $N_{15}P_{15}K_{15}$ и аммиачную селитру с содержанием азота 34,4 кг д.в./га. Удобрения вносили перед посевом подсолнечника в предшествующем году.

Объектом исследования был перспективный, районированный в Средневолжском регионе среднеспелый сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) зернофуражного направления Камашевский. Сорт степного морфобиотипа, среднеустойчивый к грибным болезням, устойчивый к пыльной головне. Склонен к полеганию при внесении высоких норм азотных удобрений и завышенной нормы высева семян. Содержание белка в зерне достигает 14%. Ценный по качеству².

Запасы продуктивной влаги перед посевом были неудовлетворительными (в слое 0–10 см – 4,7–6,5 мм, 0–30 см – 17,9–21,5 мм). Низкий запас влаги был связан в том числе с тем, что проведены весенние механические обработки почвы для разделки растительных остатков подсолнечника, что привело к дополнительной потере влагозапасов.

За май – июль сумма активных температур составила 1947° при норме 1600°. Интенсивно высокий температурный режим июня способствовал ускоренному темпу развития ячменя. За период развития растений с III декады мая по I декаду августа выпало 105,5 мм осадков при норме 166 мм.

Вегетационный период 2022 г., наоборот, характеризовался прохладной и дождливой погодой в мае, умеренным температурным режимом и осадками в июне, интенсивными ливневыми осадками в июле и жаркой засушливой погодой в августе. Количество осадков в мае составило 65,7 мм при норме 39,0 мм (168% от нормы). Дожди были значительными, поэтому в начале II декады мая отмечено опасное явление – переувлажнение почвы. В июне погода была неустойчивой: периоды теплой, а в отдельные дни жаркой погоды чередовались с кратковременными периодами похолоданий. В июле преобладала очень те-

²Новый супер-сорт ячменя Камашевский – в чем его сила, рассказывают ученые. URL: <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/novyi-super-sort-jachmenja-kamashevskii-v-chem-ego-sila-rasskazyvayut-uchenye.html> (дата обращения 05.07.2023).

плая погода с дождями разной интенсивности.

Максимальная температура воздуха в отдельные, наиболее теплые, дни повышалась до 30–32 °С. Осадки ливневого характера выпадали локально, за месяц их накопилось 140 мм (среднегодовое значение нормы 69 мм). Сумма активных температур за май – июль составила 1544° при норме 1600°. За период развития растений с мая по июль включительно выпало 250 мм осадков. В 2021 г. ГТК составил 0,5, в 2022 г. – 1,6 при норме 1,0.

Все учеты, наблюдения и анализы проведены по общепринятым методикам и соответствующим ГОСТам. Математическая обработка экспериментальных данных осуществлена с использованием методов дисперсионного и корреляционного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во все годы исследований уборка подсолнечника проходила в поздние сроки (октябрь – декабрь) в связи с длительным созревaniem культуры из-за затяжных осадков в осенний период. В связи с этим измельчение стерневых остатков подсолнечника проводили в весенний период. Следует отметить, что неглубокая разделка почвы (8–10 см) вызвала рост падалицы подсолнечника, а также сорных растений. Проведение химической прополки баковой смесью против много- и одно-

летних сорных растений стало обязательным и эффективным агроприемом.

Результаты исследований выявили высокую отзывчивость ярового ячменя Камашевский на последствие минеральных удобрений, вносимых под подсолнечник в предшествующем году, эффективность которых прежде всего зависела от условий влагообеспеченности года.

В зависимости от фона минеральных удобрений посевы ячменя существенно различались по темпам накопления биомассы и по содержанию элементов питания в растениях (см. рис. 1, табл. 1). Наибольшее накопление сухого вещества отмечено на варианте $N_{60}P_{30}K_{30}$ (56 ц/га), что в 1,9 раза превышало контроль (30 ц/га).

В связи с недостаточной влагообеспеченностью растения находились в угнетенном состоянии, отмечено ускоренное прохождение межфазных периодов. Так, содержание общего азота в растениях ячменя в фазу трубкования варьировало от 2,32 до 2,66% и оценивалось как низкое. К концу вегетации по содержанию общего азота в вегетативной массе ячменя преимущество было за опытными вариантами – 1,27–1,37% (на контроле – 1,16%). По содержанию общего фосфора и калия в зеленой массе растений не выявлено четкой зависимости от последствия минеральных удобрений.

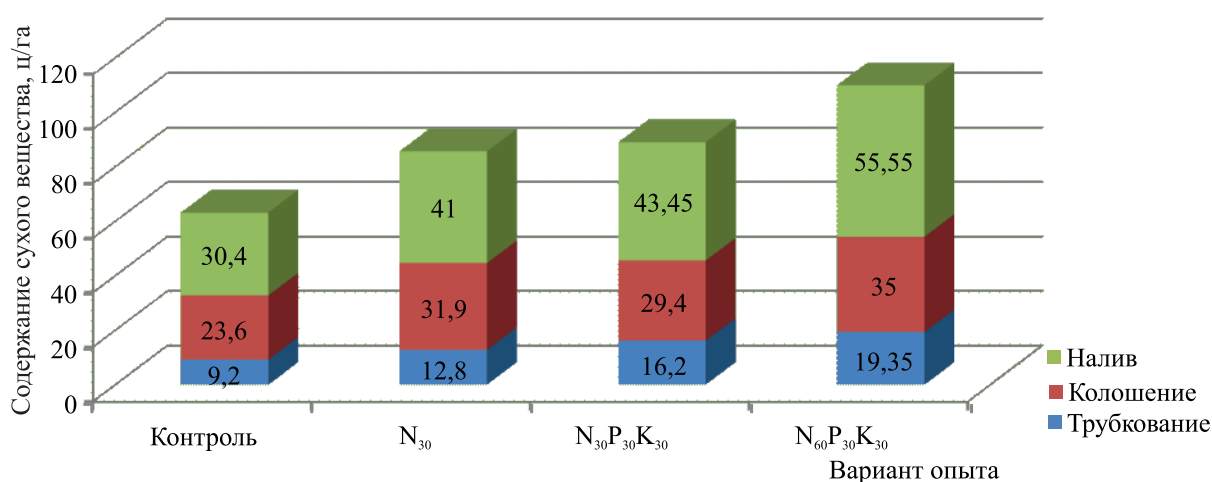


Рис. 1. Влияние последствия минеральных удобрений на накопление сухого вещества посевами ячменя

Fig. 1. Effect of mineral fertilizers on dry matter accumulation in barley crops

Табл. 1. Динамика элементов минерального питания в растениях ячменя по фазам развития
Table 1. Dynamics of mineral nutrition elements in barley plants by phases of development

Вариант опыта	Фаза развития ячменя								
	трубкование			колошение			налив		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₀	2,32	1,48	5,59	1,47	1,06	2,58	1,16	1,11	1,68
N ₃₀	2,66	1,24	5,42	1,37	0,95	2,66	1,37	0,89	1,50
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,42	1,37	4,56	1,57	1,02	2,42	1,33	0,98	1,63
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	2,43	1,2	4,59	1,30	0,93	2,63	1,27	0,96	1,47

Последствие минеральных удобрений проявилось в улучшении азотного питания ячменя и, как следствие, способствовало формированию большей наземной массы по сравнению с неудобренным вариантом уже на начальных этапах развития ячменя (см. рис. 2).

Посевы ячменя на вариантах с применением минеральных удобрений имели более интенсивную окраску и плотность стеблестоя.

В начале вегетации ячменя отмечено более высокое содержание нитратов в почве по сравнению с контролем (+2–5 мг/кг почвы к контролю). Тенденция повышенной обеспеченности азотом сохранилась и перед уборкой ячменя.

Корреляционно-регрессионный анализ показал сильную взаимосвязь между накоплением сухого вещества растений (y) и дозой азотных удобрений (x) в последствии. Линейная зависимость описывается уравнениями вида:

трубкование $y = 0,17x + 9,31$ ($R^2 = 0,90$); (1)

колошение $y = 0,19x + 24,27$ ($R^2 = 0,93$); (2)

налив $y = 0,42x + 30,0$ ($R^2 = 0,99$). (3)

Уравнение (3) показывает, что на каждые 10 кг д.в./га внесенного азота в последствии происходило увеличение накопления сухого вещества растений в среднем на 4,2 ц/га.

Продуктивность ячменя существенно зависела от последствия минеральных удобрений, вносимых под подсолнечник в предшествующем году, причем пропорционально уровню минерального питания (см. табл. 2).

Несмотря на то, что посев ячменя в 2022 г. проводили на 8 дней раньше, чем в 2021 г., полной спелости культура из-за повышенного выпадения осадков достигла на 9 дней позже (5 августа).

В 2021 г. в связи с поздним сроком сева и засушливыми условиями июня сформировалась низкая продуктивность ячменя. Несмотря на это, выявлено существенное последствие минеральных удобрений. Прибавка зерна к контролю составила 0,24–0,33 т/га (20,7–28,5%), причем различия между удо-

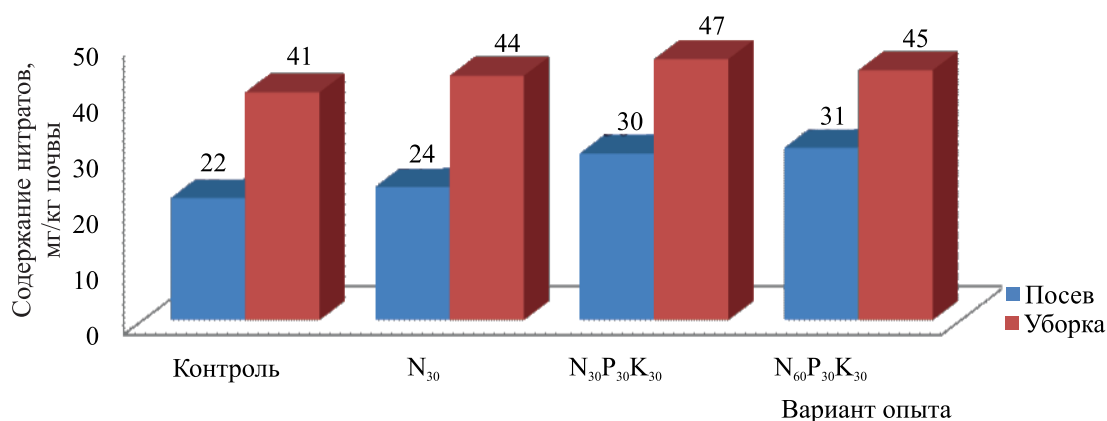


Рис. 2. Содержание нитратов в почве в зависимости от последствия минеральных удобрений, мг/кг почвы

Fig. 2. Nitrate content in soil depending on the after-effect of mineral fertilizers, mg/kg of soil

Табл. 2. Влияние последействия минеральных удобрений на продуктивность и качество ячменя (2021, 2022 гг.)**Table 2.** Impact of the mineral fertilizers after-effect on productivity and quality of barley (2021, 2022)

Вариант опыта	Урожайность зерна, т/га				Масса 1000 зерен, г	Сырой белок, %	Валовой сбор белка, кг/га
	2021	2022	Среднее	± т/га			
Контроль	1,16	0,95	1,06	—	44,4	11,5	122
N ₃₀	1,4	1,31	1,36	+0,3	46,0	11,8	161
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,43	1,45	1,44	+0,38	45,9	11,9	172
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	1,49	2,72	2,11	+1,05	48,4	12,7	268
НСР ₀₅ 2021 г. $p = 3,05\%$, 2022 г. $p = 3,95\%$	0,14	0,19					

бренными вариантами были незначительными. В 2022 г. также выявлена достоверная прибавка урожая ячменя по всем уровням минерального питания. Наибольшую отзывчивость ячмень проявил на последействие N₆₀P₃₀K₃₀ кг д.в./га (+1,77 т/га).

В среднем за годы исследований возделывание ячменя после подсолнечника в зависимости от доз минеральных удобрений в последействии позволило получить дополнительно 0,30–1,05 т зерна/га относительно неудобренного варианта.

Нами установлена прямая положительная взаимосвязь между накоплением сухой биомассы растений и продуктивностью ячменя, которая описывается линейным уравнением вида

$$y = 0,42x - 2,97 \quad (R^2 = 0,96),$$

где y – урожайность ячменя; т/га, x – сухая биомасса растений, ц/га.

Применение минеральных удобрений способствовало повышению количественных и качественных показателей зерна. Так, масса 1000 зерен на контроле составила 44,4 г, на удобренных вариантах – 46,0–48,4 г. Наиболее крупное зерно получено на варианте с последействием повышенной дозы минеральных удобрений (N₆₀P₃₀K₃₀).

В среднем за 2021, 2022 гг. по содержанию сырого белка в зерне преимущество было также за опытными вариантами. Выявлена прямая положительная зависимость между содержанием сырого белка в зерне ячменя и дозой минерального азота. Уравнение имеет вид

$$y = 0,02x + 11,36 \quad (R^2 = 0,91),$$

где y – содержание сырого белка в зерне, %; x – доза азотных удобрений, кг д.в./га (уравнение действительно при содержании сырого белка 11,5–12,7% и дозах азота 0–60 кг д.в./га). Уравнение показывает, что с увеличением дозы азотных удобрений на каждые 10 кг д.в./га наблюдается повышение содержания белка на 0,2%.

Под влиянием последействия минеральных удобрений установлены существенные изменения в структуре урожая ячменя (см. табл. 3).

Последействие удобрений проявилось в формировании большего количества продуктивных стеблей на опытных вариантах (на 25–98 шт./м² выше контроля). Отмечено увеличение длины колоса на 0,4–2,4 см, массы зерна с колоса на 0,08–0,18 г и озерненности колоса на 1,4–3,3 шт./растение. Выявлено увеличение высоты растений прямо пропорционально дозам минеральных удобрений, вносимых под подсолнечник (на контроле 44 см, на опытных вариантах – 48–59 см).

Корреляционный анализ элементов продуктивности выявил прямую положительную связь урожайности ячменя с количеством продуктивных стеблей ($r = 0,99$), длиной колоса ($r = 0,98$) и озерненностью колоса ($r = 0,97$), а также массой зерна с одного колоса ($r = 0,96$) (см. табл. 4). Масса зерна напрямую зависела от его количества с одного колоса ($r = 1,0$).

Табл. 3. Структура урожая ячменя в зависимости от последствия минеральных удобрений

Table 3. Barley yield structure depending on the after-effect of mineral fertilizers

Вариант опыта	Показатель структуры урожая ячменя						
	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Коэффициент кущения	Длина колоса, см	Масса зерна с колоса, г	Количество зерен, шт./растение	Масса соломы, г/растение	Высота растений, см
Контроль	330	1,26	4,7	0,46	9,9	0,43	44
N ₃₀	355	1,30	5,1	0,54	11,3	0,52	50
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	375	1,43	5,0	0,57	11,8	0,56	48
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	428	1,47	6,3	0,64	13,2	0,59	59

Табл. 4. Матрица коэффициентов корреляции между продуктивностью и элементами структуры урожая

Table 4. Matrix of correlation coefficients between productivity and elements of the yield structure

Показатель	Урожайность, т/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Длина колоса, см	Масса зерна с одного растения, г	Количество зерен с одного растения, шт.	Масса соломы с одного растения, г	Высота растений, см
	1	2	3	4	5	6	7
1	1,0						
2	0,99*	1,0					
3	0,98*	0,95*	1,0				
4	0,96*	0,97*	0,89	1,0			
5	0,97*	0,98*	0,91	1,0**	1,0		
6	0,87	0,9	0,77	0,97*	0,96*	1,0	
7	0,98*	0,95	0,99*	0,92	0,94	0,82	1,0

*Значимо на уровне $p = 0,05$.

**Значимо на уровне $p = 0,01$.

ВЫВОДЫ

1. В исследованиях выявлена высокая отзывчивость ярового ячменя сорта Камашевский при возделывании на черноземе выщелоченном на последствие вносимых подсолнечник минеральных удобрений.

2. Посевы ячменя на фоне удобрений сформировали на 11–26 ц сухого вещества/га выше контроля. Опытные растения в течение всей вегетации имели более высокое содержание общего азота в зеленой массе.

3. Наибольшая продуктивность ячменя выявлена в последствии N₆₀P₃₀K₃₀ кг д.в./га, что обеспечило прибавку 1,05 т/га относительно неудобренного варианта. На опытных вариантах получено более крупное зерно (масса 1000 зерен 46–48,4 г, на контроле – 44,4 г) с высоким содержанием белка до 11,8–12,7% (на контроле 11,5%).

4. Проведение корреляционно-регрессионного анализа выявило прямую положи-

тельную взаимосвязь между накоплением сухого вещества и продуктивностью ячменя ($R^2 = 0,96$). Установлено, что с увеличением дозы азотных удобрений на каждые 10 кг д.в./га наблюдается повышение содержания сырого белка в зерне на 0,2%.

5. Возделывание ячменя после подсолнечника эффективно на фоне последствия минеральных удобрений в дозе N₃₀–P₃₀K₃₀ кг д.в./га, что проявляется в повышении продуктивности и качества зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н. Влияние элементов технологий возделывания на влагообеспеченность посевов ярового ячменя в условиях Курской области // Земледелие. 2023. № 2. С. 32–36. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-2-32-36.
2. Якубышина Л.И., Логинов Ю.П. Урожайность семян сортов ячменя в зависимости от уровня минерального питания в северной

- лесостепи Тюменской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 51–58.
3. Якубышина Л.И., Логинов Ю.П. Влияние предшественников на урожайность семян сортов ячменя в северной лесостепи Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2022. № 11 (188). С. 40–46. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-40-46.
 4. Олехов В.Р., Тетерлев И.С. Влияние предшественников и минеральных удобрений на урожайность и показатели качества зерна ячменя // Пермский аграрный вестник. 2019. № 4 (28). С. 59–65.
 5. Хоконова М.Б., Тиев Р.А. Влияние предшественников на фитосанитарное состояние посевов и урожайность зерна озимого ячменя // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. № 2 (36). С. 32–37. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-2-36-32-37.
 6. Постников П.А. Воздействие предшественников и метеорологических условий на урожайность ярового ячменя // Вестник КрасГАУ. 2018. № 4 (139). С. 48–53.
 7. Семинченко Е.В. Влияние предшественников и приемов биологизации на продуктивность севооборотов в условиях Нижнего Поволжья // Земледелие. 2021. № 1. С. 7–10. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10102.
 8. Арькова Ж.А., Машутиков Е.И., Арьков К.А. Влияние предшественников на формирование урожая ярового ячменя // Наука и образование. 2019. Т. 2. № 2. С. 271.
 9. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н., Дериглазова Г.М., Гаврилова Т.В. Эффективность возделывания яровых зерновых культур в различных видах полевых севооборотов в почвенно-климатических условиях Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5 (377). С. 17–20. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15083.
 10. Коробова О.Н. Влияние предшественников и фона питания на уровень продуктивности растений ячменя ярового // Промышленность и сельское хозяйство. 2023. № 5 (58). С. 31–37.
 11. Боинчан Б.П. В поиске регенеративных (агроэкологических) путей интенсификации сельского хозяйства // Аграрная Россия. 2022. № 2. С. 3–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-2-3-7.
 12. Шафран С.А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур. Сообщение 1. Азотные удобрения // Агрохимия. 2021. № 7. С. 27–35. DOI: 10.31857/S0002188121070097.
 13. Сабитов М.М. Приемы возделывания ячменя в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 3. С. 15–24. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-2.
 14. Смуров С.И., Григоров О.В., Ермолаев С.Н., Наумкин В.Н., Крюков А.Н. Агрофизические свойства почвы, засоренность и урожайность ярового ячменя в зависимости от предшественников и минеральных удобрений // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 2 (30). С. 122–134.
 15. Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е., Бобровский А.В., Крючков А.А. Влияние удобрений и средств защиты растений на биометрические показатели и урожайность ячменя в лесостепи Красноярского края // Земледелие. 2023. № 4. С. 26–30. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-26-30.
 16. Радайкина Л.М., Камалихин В.Е. Влияние предшественников на количество стеблей и кустистость ярового ячменя // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93–98. С. 163–165. DOI: 10.18411/trnio-01-2023-431.
- ## REFERENCES
1. Lazarev V.I., Minchenko Zh.N. The influence of cultivation technologies elements on the moisture supply of spring barley crops under the conditions of the Kursk region. *Zemledelie = Zemledelie*, 2023, no. 2, pp. 32–36. (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2023-2-32-36.
 2. Yakubyshina L.I., Loginov Yu.P. Seed yield of barley varieties depending on the level of mineral nutrition in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Orenburg State Agrarian University*, 2021, no. 6 (92), pp. 51–58. (In Russian).
 3. Yakubyshina L.I., Loginov Yu.P. Precursors influence on the yield of barley varieties seeds in the Tyumen region of the northern forest-steppe. *VestnikKrasGAU = Bulletin KrasSAU*, 2022, no. 11 (188), pp. 40–46. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-40-46.
 4. Olekhov V.R., Teterlev I.S. The influence of forecrops and mineral fertilizers on yield and

- grain quality of barley. *Permskii agrarnyi vestnik* = *Perm Agrarian Journal*, 2019, no. 4 (28), pp. 59–65. (In Russian).
5. Khokonova M.B., Tiev R.A. The influence of precursors on phytosanitary state of crops and yield of winter barley grain. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova* = *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*, 2022, no. 2 (36), pp. 32–37. (In Russian). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-2-36-32-37.
 6. Postnikov P.A. The influence of predecessors and meteorological conditions on spring barley productivity. *Vestnik KrasGAU* = *Bulletin KrasSAU*, 2018, no. 4 (139), pp. 48–53. (In Russian).
 7. Seminchenko E.V. Influence of forecrops and methods of biologization on the productivity of crop rotations in the conditions of the Lower Volga region. *Zemledelie* = *Zemledelie*, 2021, no. 1, pp. 7–10. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10102.
 8. Ar'kova Zh. A., Mashutikov E.I., Ar'kov K.A. Influence of precursors on the formation of the spring barley harvest. *Nauka I Obrazovanie* = *Science and Education*, 2019, vol. 2, no. 2, p. 271. (In Russian).
 9. Lazarev V.I., Minchenko Zh.N., Deriglazova G.M., Gavrilova T.V. The efficiency of cultivation of spring cereals in a variety of field crop rotation in the soil and climatic conditions of the Kursk region. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* = *International Agricultural Journal*, 2020, no. 5 (377), pp. 17–20. (In Russian). DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15083.
 10. Korobova O.N. Influence of precursors and nutrition background on the productivity level of spring barley plants. *Promyshlennost' I sel'skokhozyaistvo* = *Industry and agriculture*, 2023, no. 5 (58), pp. 31–37. (In Russian).
 11. Boinchan B.P. In search of regenerative (agro-ecological) ways of intensification of agriculture. *Agrarnaya Rossiya* = *Agrarian Russia*, 2022, no. 2, pp. 3–7. (In Russian). DOI: 10.30906/1999-5636-2022-2-3-7.
 12. Shafran S.A. Contribution of mineral fertilizers to the formation of field crop yields. Message 1. Nitrogen fertilizers. *Agrokimiya* = *Agricultural Chemistry*, 2021, no. 7, pp. 27–35. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188121070097.
 13. Sabitov M.M. Barley cultivation practices in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 3, pp. 15–24. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-2.
 14. Smurov S.I., Grigorov O.V., Ermolaev S.N., Naumkin V.N., Kryukov A.N. Agrophysical properties of the soil, weeding and yield of spring barley depending on precursors and mineral fertilizers. *Innovatsii v APK: problemy I perspektivy* = *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*, 2021, no. 2 (30), pp. 122–134. (In Russian).
 15. Surin N.A., Gerasimov S.A., Lyakhova N.E., Bobrovskii A.V., Kryuchkov A.A. The influence of fertilizers and plant protection products on biometric indicators and barley yield in the forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory. *Zemledelie* = *Zemledelie*, 2023, no. 4, pp. 26–30. (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-26-30.
 16. Radaikina L.M., Kamalikhin V.E. The influence of precursors on the number of stems and bushiness of spring barley. *Tendentsii razvitiya nauki I obrazovaniya* = *Trends in the development of science and education*, 2023, no. 93–98, pp. 163–165. (In Russian). DOI: 10.18411/trnio-01-2023-431.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Никифорова С.А., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19; e-mail: nikiforova11@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Svetlana A. Nikiforova, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher; **address:** 19, Institutsкая St., Timiryazevsky, Ulyanovsk District, Ulyanovsk Region, 433315, Russia, e-mail: nikiforova11@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 12.09.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 24.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ *FORESTIERA NEO-MEXICANA* A. GRAY И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Калмыкова Е.В., Передриенко А.И.

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук

Волгоград, Россия

e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

Изучены вопросы расширения ассортимента древесных и кустарниковых лесных насаждений в лесоразведении засушливых регионов. *Forestiera neo-mexicana* A. Gray является интродуцированным и маловстречаемым экзотическим тропическим растением в агролесомелиорации Волгоградской области. Место проведения исследования – коллекционные участки Волгоградского селекционно-семеноводческого комплекса в Кировском участковом лесничестве Волгограда, где произрастает *Forestiera neo-mexicana*. Проведена биоэкологическая оценка использования кустарника *Forestiera neo-mexicana* A. Gray в озеленении и защитном лесоразведении Нижнего Поволжья. С помощью методики фенологических наблюдений, разработанной сотрудниками Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН), определены общая масса семян, морфометрические показатели плодов, динамика физиологического состояния кустарника. Биоэкологические свойства оценивали по пяти признакам: засухоустойчивость (шестибалльная шкала С.С. Пятницкого), зимостойкость (семибалльная шкала ГБС РАН), оценка интенсивности цветения и плодоношения методом В.Г. Каппера (пятибалльная шкала), жизненность (трехбалльная шкала). Согласно фенологическим наблюдениям, *Forestiera neo-mexicana* A. Gray в климатических условиях Волгоградской области проходит все фенологические фазы. При биоэкологической оценке свойств форестьеры по пяти признакам растение имеет высокий балл по интенсивности цветения и плодоношения (5 баллов), жизненности (5 баллов). Растение зимостойко (1 балл) и засухоустойчиво (1 балл). *Forestiera neo-mexicana* A. Gray может возделываться на участках, непригодных для общего землепользования, на пастбищных угодьях и использоваться в защитном лесоразведении.

Ключевые слова: *Forestiera neo-mexicana* A. Gray, интродукция, биоэкология, лесоразведение, ассортимент, перспективность

BIOLOGY AND ECOLOGY OF *FORESTIERA NEO-MEXICANA* A. GRAY AND PROSPECTS FOR USE IN THE LOWER VOLGA REGION

Kalmykova E.V., Peredrienko A.I.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences

Volgograd, Russia

e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

The issues of expanding the assortment of tree and shrub forest plantations in afforestation of arid regions are studied. *Forestiera neo-mexicana* A. Gray is an introduced and under-recognized exotic tropical plant in the agroforestry of the Volgograd region. The study site was the collection plots of the Volgograd breeding and seed production complex in the Kirovsky district forestry of Volgograd where *Forestiera neo-mexicana* grows. Bioecological assessment of the use of *Forestiera neo-mexicana* A. Gray shrub in landscaping and protective afforestation of the Lower Volga region was carried

out. Using the methodology of phenological observations developed by the staff of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS), the total seed weight, morphometric indices of fruits and the dynamics of the physiological state of the shrub were determined. The bioecological properties were evaluated according to five traits: drought resistance (six-point scale of Pyatnitsky S.S.), winter hardiness (seven-point scale of the MBG RAS), evaluation of flowering and fruiting intensity by the method of V.G. Kapper (five-point scale), vitality (three-point scale). According to phenological observations, *Forestiera neo-mexicana* A. Gray passes all phenological phases in climatic conditions of the Volgograd region. In bioecological evaluation of the *Forrestiera* properties for five traits, the plant has a high score for flowering and fruiting intensity (5 points), vitality (5 points). The plant is winter hardy (1 point) and drought tolerant (1 point). *Forestiera neo-mexicana* A. Gray can be cultivated on the areas unsuitable for general land use, on pasture lands and can be used in protective forestry.

Keywords: *Forestiera neo-mexicana* A. Gray, introduction, bioecology, afforestation, assortment, prospects

Для цитирования: Калмыкова Е.В., Передриенко А.И. Биология и экология *Forestiera neo-mexicana* A. Gray и перспективы использования в Нижнем Поволжье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 14–22. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-2>

For citation: Kalmykova E.V., Peredrienko A.I. Biology and ecology of *Forestiera neo-mexicana* A. Gray and prospects for use in the Lower Volga region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 14–22. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследования выполнены по теме государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № 121041200195-4 «Формирование полифункциональных кластерных дендрологических экспозиций и их реновации в биоресурсные искусственные и озелененные ландшафтные пространства рекреационного типа в малолесных регионах России».

Acknowledgments

The research was carried out on the topic of the State assignment of the Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: No. 121041200195-4 “Formation of multifunctional cluster dendrological expositions and their renovation into bioresource artificial and green landscape spaces of recreational type in sparsely forested regions of Russia”.

ВВЕДЕНИЕ

Работы по зеленому строительству и агролесомелиорации в Нижнем Поволжье неразрывно связаны с использованием разнообразного ассортимента древесных растений [1–3]. Введение в защитное лесоразведение новых долговечных древесно-кустарниковых пород является актуальной задачей и требует глубокого изучения их биологии, хозяйственной ценности, способов размножения и внедрения [4–6].

В условиях дефицита водных ресурсов в сухой степи и полупустыне ассортимент древесных пород для создания противоэрозионных и пастбищезащитных полос может быть расширен за счет интродукции кустарников для озеленения и улучшения мелиоративного состояния урболандшафтов [7–11].

Forestiera neo-mexicana A. Gray представляет теоретический и практический интерес в отношении устойчивости к трудным лесорастительным условиям этого региона за счет морфофизиологических особенностей и хозяйственно-биологических свойств.

Род *Forestiera* Poir. семейства Oleaceae Lindl. включает около 20 видов, распространенных в Северной и Центральной Америке. *Forestiera neo-mexicana* A. Gray относится к многоствольному кустарнику высотой до 3,5 м с обратно-яйцевидной кроной. Листья простые, продолговатые или обратно-яйцевидные, кожистые, серо-зеленые, длиной до 40 мм и шириной 8–18 мм. Интересной особенностью форестьеры является ориентация листьев по отношению к солнцу: они поворачиваются вслед за ним так, что солнечные

лучи скользят вдоль поверхности пластинок, не перегревая их^{1,2} [12].

Биоэкология *Forestiera neo-mexicana* A. Gray в зоне недостаточного увлажнения мало изучена. Кустарник довольно редко встречается в дендрологических коллекциях. На Северном Кавказе имеется лишь в Ростове-на-Дону, в Сочи^{3,4}, в Нижнем Поволжье – в коллекциях ФНЦ агроэкологии РАН, г. Волгоград⁵. Изредка культивируется как декоративный кустарник на приусадебных участках и в садах на территории природного парка «Нижнехопёрский» [13].

Цель исследования – провести биоэкологическую оценку кустарника *Forestiera neo-mexicana* A. Gray для определения перспективности использования в озеленении и улучшении мелиоративного состояния урбандо-ландшафтов Нижнего Поволжья.

Задачи исследования:

- провести биоэкологическую оценку *Forestiera neo-mexicana* A. Gray по пяти признакам, которые приняты в исследовании интродуцентов;
- выявить динамику физиологического состояния кустарника в течение вегетационного периода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследования – растения *Forestiera neo-mexicana* A. Gray. В коллекционных участках Волгоградского селекционно-семеноводческого комплекса в Кировском лесничестве Волгограда проведено многолетнее интродукционное испытание этого вида. Для региона характерен резко континентальный климат, отличающийся засушливостью, резкими колебаниями температуры воздуха

(годовая амплитуда температуры – 32,0 °С, среднегодовая – 7,6 °С), неустойчивым режимом увлажнения и большой его изменчивостью (среднегодовое количество осадков – 350 мм). Для летнего периода характерна низкая относительная влажность воздуха (до 12–16%) с сильными ветрами и суховеями (до 55 сут в году). Почвы коллекционных участков – светло-каштановые среднесуглинистые с низким содержанием гумуса (0,54–0,94%). Совокупность этих факторов препятствует интродукции многих древесных и кустарниковых растений.

В 1998 г. было высажено 54 растения, прижилось 53, с сохранностью 98,1%. Размещение посадочных мест 5 × 5 м. По состоянию на май 2023 г. сохранилось более 78%. Возраст растений составляет на сегодняшний день 24 года. В исследованиях применялась методика фенологических наблюдений ГБС РАН (1975 г.). Определение средней массы плода проведено взвешиванием 100 плодов в трехкратной повторности на весах ВК-300. Морфометрические показатели плодов – длину и ширину – определяли с точностью до 0,01 мм (100 измерений для каждого вида). Согласно ГОСТ 13056.4–67 «Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян» путем взвешивания образца по 250 семян на электронных весах ВК-300 в двух повторностях определяли массу 1000 шт. семян.

Биоэкологические свойства выбранных объектов визуально оценивали по пяти признакам, традиционно используемым при оценке интродуцентов: засухоустойчивость (шестибалльная шкала С.С. Пятницкого), зимостойкость (семибалльная шкала ГБС РАН),

¹Огородникова Т.К., Федоринова О.И., Козловский Б.Л., Куропятников М.В. Особенности роста и развития *Forestiera neo-mexicana* Gray при интродукции в Ростове-на-Дону // Теоретические и прикладные аспекты интродукции растений как перспективного направления развития науки и народного хозяйства: Материалы Международной научной конференции, посвященной 75-летию со дня образования Центрального ботанического сада НАН Беларуси. В 2-х томах. (Минск, 12–15 июня 2007 г.). Т. 1. Минск: Общество с ограниченной ответственностью "Эдит ВВ", 2007. С. 256–258.

²Guy L. Nesom Taxonomy of *Forestiera pubescens* and *Forestiera neo-mexicana* (Oleaceae) // Lundellia. 2009. Vol. 12. P. 8–14, (1 December 2009) <https://doi.org/10.25224/1097-993X-12.1.8>.

³Карпун Ю.Н. и др. Каталог культивируемых древесных растений Северного Кавказа. Сочи, 2002. 98 с.

⁴Коллекции растений Ботанического сада ЮФУ: каталог растений, прошедших интродукционное испытание / под ред. В.В. Федяевой; Южный фед. ун-т. Ростов н/Д: Изд-во Южного фед. ун-та, 2014. 436 с.

⁵Семенютина А.В. Рекомендации по обогащению агролесомелиоративных комплексов кустарниками многоцелевого назначения / А.В. Семенютина, Т.И. Острая, А.А. Долгих, В.А. Шутилов. М.: Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 1999. 63 с.

оценка интенсивности цветения и плодоношения методом В.Г. Каппера (пятибалльная шкала), жизненность (трехбалльная шкала).

Динамика физиологического состояния кустарника в течение вегетационного периода по показателям пигментной системы зеленого листа (хлорофилла, флавоноидов, антоцианов) определена устройством DUALEX SCIENTIFIC [14].

Полученные данные натурных и лабораторных исследований обрабатывались статистически согласно методике Г.Н. Зайцева и с помощью пакета анализа Microsoft Excel 2023 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная температура за 2023 г. отмечалась в августе (+38 °С), минимальная – в январе (–20 °С). Летом температура воздуха варьировала от +38 до +16 °С. За зимние месяцы 2023 г. шкала термометра опускалась до –20 °С и поднималась до +9 °С. Относительная влажность воздуха за 2023 г. находилась в диапазоне от 38 до 87%. В августе фиксировался спад до 38%, самый высокий показатель отмечался в январе и феврале 2023 г. (87%). Сумма осадков за первую половину 2023 г. составила 228 мм. Наибольшее суммарное количество осадков выпало в мае (51,5 мм), меньше всего осадков наблюдается в июне (27,5 мм). Средняя скорость ветра за первые полгода – 4,9 м/с.

Данные по росту и состоянию растений свидетельствуют о высокой устойчивости к экстремальным факторам среды. Растения проходят полный цикл развития. Сроки прохождения фенологических фаз представлены в табл. 1.

Начало вегетации (массовое набухание почек) отмечается в I–II декадах апреля, ранней весной, когда нет угрозы ранневесенних заморозков. Облиствление начинается во II декаде апреля параллельно с ростом побегов, который продолжается до конца июня. После того, как куст покрывается листьями, наблюдается цветение: мужские прозрачно-желтова-

Табл. 1. Данные сезонного развития *Forestiera neo-mexicana* A. Gray

Table 1. Data on the seasonal development of *Forestiera neo-mexicana* A. Gray

Фенологическая фаза		Среднегодовые даты наступления фазы
Массовое набухание почек		05.04 ± 4,2
Распускание почек		11.04 ± 3,8
Полное облиствление		17.04 ± 4,0
Окончание роста побегов		25.06 ± 3,9
Полное вызревание побегов		23.07 ± 4,1
Начало цветения	мужские	12.04 ± 3,6
	женские	15.04 ± 4,0
Конец цветения	мужские	26.04 ± 3,9
	женские	30.04 ± 3,7
Массовое созревание плодов		27.07 ± 3,8
Массовый листопад		11.10 ± 4,1
Продолжительность вегетации, сут		189

тые цветки зацветают раньше на 2–3 сут, чем женские.

Период цветения колеблется от 15 до 20 сут: при прохладной погоде он удлиняется и сокращается при сухой солнечной.

Растение двудомное, цветковые почки закладываются на укороченных 2-летних побегах (см. рис. 1). Осенний листопад фиксируется в середине октября. Интродуцированная форестьера обильно цветет и плодоносит, обладает хорошей побегообразовательной способностью. Так, годовой прирост за 2023 г. составил в среднем около 120 мм. Засухоустойчивые древесные породы никогда не имеют крупных листьев и густых крон.

Forestiera neo-mexicana относительно постоянна по диагностическим признакам строения и формы листьев на большей части своего ареала на юго-западе США, от Калифорнии до Нью-Мексико и в Западном Техасе⁶. В условиях региона исследования листья неопушенные, округло-овальной формы до удлиненных, 10–40 мм длиной и 5–18 мм шириной (см. рис. 2).

⁶Guy L. Nesom Taxonomy of *Forestiera pubescens* and *Forestiera neo-mexicana* (Oleaceae) // Lundellia. 2009. № 12. С. 8–14. DOI: 10.25224/1097-993X-12.1.8.



Рис. 1. Генеративные органы

Fig. 1. Generative organs



Средняя ширина листа – 11,6 мм

Средняя длина
листа – 26,1 мм

Рис. 2. Листовые пластины

Fig. 2. Laminas

Интенсивность роста, прежде всего, связана с влажностью почвы, воздуха и биологическими особенностями вида. В 2023 г. плоды изучаемого кустарника сформировались более крупного размера относительно среднеголетних данных за счет благоприятных условий, сложившихся в период вегетации. Масса 1000 шт. плодов составила 55,6 г, что выше среднеголетних показателей на 3,2 г (см. табл. 2).

Эколого-биологическое изучение интродуцированной *Forestiera neo-mexicana* A. Gray свидетельствует о том, что многоцелевая субтропическая культура успешно ак-

климатизировалась по совокупности устойчивости к биотическим и абиотическим факторам. В целом кустарник достаточно зимостоек (1 балл) и засухоустойчив (1 балл), что указывает на возможность использования в защитном лесоразведении и озеленении региона (см. табл. 3). Таким образом, степень адаптации данного кустарника к климатическим условиям высокая. Для выращивания сеянцев осенью семена не требуют специальной предварительной обработки, их можно высевать в грунт поздней осенью или ранней весной. Хорошо размножается вегетативно как летними, так и одревесневшими черенками.

Табл. 2. Характеристика плодов
Table 2. Characteristics of the fruits

Масса 1000 шт., г				Размер плодов, мм			
плодов		семян					
Средняя	2023 г.	Средняя	2023 г.	Средняя		2023 г.	
				длина	ширина	длина	ширина
52,4 ± 0,06	55,6 ± 0,04	8,8 ± 0,03	8,9 ± 0,02	5,8 ± 0,02	3,7 ± 0,03	6,1 ± 0,01	4,2 ± 0,02

Табл. 3. Эколого-биологическая характеристика *F. neo-mexicana*
Table 3. Ecological and biological characteristics of *F. neo-mexicana*

Высота, м	Зимостой- кость	Засухоустой- чивость	Цветение	Плодоношение	Жизненность
2,5–3,0	Не об- мерзает (1 балл)	Не реа- гирует на засуху (1 балл)	Обильное – на растении 100% распустившихся цветков или со- цветий (5 баллов)	Полное, обильное – после обильного цве- тения почти все 100% цветков завязали пло- ды, которые вызрели (5 баллов)	Хорошая, растение хорошо раз- вито, имеет здоровый вид, хо- рошо развитые побеги, почки и листья, нормализует их окраску, обильно или хорошо цветет и плодоносит (5 баллов)

Одним из ценных хозяйственных качеств *Forestiera neo-mexicana* A. Gray является отсутствие корневой поросли⁷.

При подборе ассортимента хозяйственно ценных древесных растений многоцелевого назначения для создания агролесомелиоративных комплексов и полифункциональных озеленительных посадок сухостепной зоны особое внимание уделяется декоративным признакам (см. табл. 4).

У *Forestiera neo-mexicana* A. Gray декоративные признаки начинают проявляться в период массового цветения мужских соцветий ярко-желтого цвета. Наибольшая декоративность проявляется по мере созревания множества сизовато-синих веретенообразных плодов. В конце вегетации перед листопадом посадки форестьеры приобретают ярко-желтые оттенки.

Сохранение жизнедеятельности растений при недостаточном водоснабжении тесно связано с функционированием пигментных систем (см. рис. 3).

Растения с высокой устойчивостью к засухе теряют меньше воды и у них более стабилен хлорофилл – белковолипидный комплекс пластид.

Сезонные изменения в содержании хлорофиллов, каротиноидов, антоцианов подтверждают вышесказанное. К концу вегетации наблюдается снижение содержания суммы хлорофиллов *a + b* и уровень индекса азотного баланса (NBI). Увеличение значений Flav на 10,9% и Anth на 57,7% указывает на специфическую защитную реакцию на комплекс неблагоприятных условий произрастания.

Табл. 4. Оценка декоративности *Forestiera neo-mexicana* A. Gray
Table 4. Assessment of decorativeness of *Forestiera neo-mexicana* A. Gray

Цветки	Плоды	Листья		Ствол и ветви	Крона
		Форма	Окраска		
Собраны в короткие кисти по 4–5, женские – неприметные зеленоватые с редуцированными тычинками, мужские – выделяются длинными тычинками с яркими желтыми пыльниками	Небольшие сизовато-синие веретенообразные	Простые, неопушенные, кожистые, округло-овальной формы до удлинённых, серо-зеленые	Летом зеленые, осенью желтые	Многоствольный кустарник с обратнойвидной кроной	Раскидистая, округлой формы, средней густоты

⁷Семенютина А.В. Рекомендации по обогащению агролесомелиоративных комплексов кустарниками многоцелевого назначения / А.В. Семенютина, Т.И. Острая, А.А. Долгих, В.А. Шутилов. М.: Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 1999. 63 с.

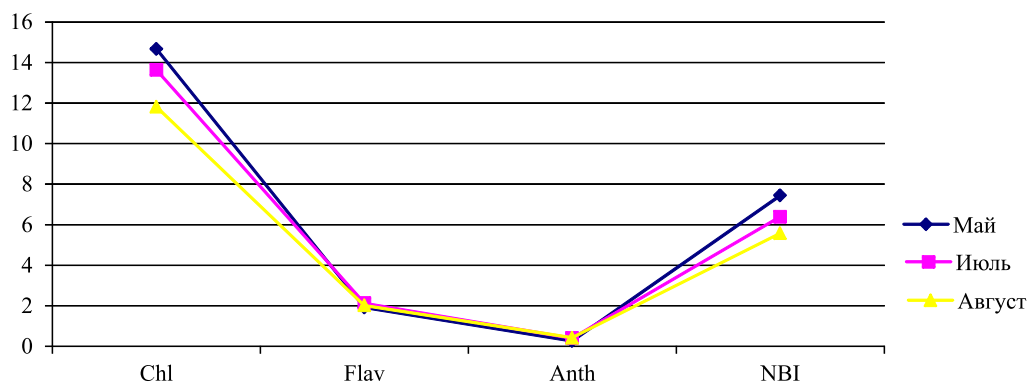


Рис. 3. Динамика физиологического состояния кустарника в течение вегетационного периода по показателям пигментной системы зеленого листа (Chl – хлорофилл, Flav – флавоноиды, Anth – антоцианы, NBI – индекс азотного баланса)

Fig. 3. Dynamics of the physiological state of the shrub during the growing season according to the indicators of the pigment system of the green leaf (Chl – chlorophyll, Flav – flavonoids, Anth – anthocyanins, NBI – nitrogen balance index)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования и анализ многолетнего внедрения интродуцента *Forestiera neo-mexicana* A. Gray позволяют определить высокую степень декоративности, отметить устойчивость растения к действию засухи, высоких и низких температур. Динамика физиологического состояния кустарника в течение вегетационного периода по показателям пигментной системы зеленого листа отмечает выраженные защитные реакции саморегулирования за счет особенностей водообмена – сохранения высокой поглотительной способности корневых клеток для воды, экономного расходования влаги на транспирацию, а также благодаря быстрому восстановлению физиологических функций при нормализации условий внешней среды. Все это имеет приспособительное значение для повышения сопротивляемости экстремальным факторам среды.

Анализ многолетнего внедрения интродуцента *Forestiera neo-mexicana* A. Gray позволяет рекомендовать кустарник для использования в зеленом строительстве для укрепления устойчивости агролесоландшафтов с целью экологической оптимизации защитного лесоразведения Нижнего Поволжья, а также расширения разнообразия растительного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелихов В.В., Кулик К.Н. Защитное лесоразведение как основной элемент комплексных мелиораций и фактор экологической и продовольственной безопасности РФ // Орошаемое земледелие. 2020. № 1. С. 6–7. DOI: 10.35809/2618-8279-2020-1-1.
2. Кулик К.Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель // Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 8–13. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13.
3. Maji Saikat, Rathore Surya, Khati Kanchan. Analyzing Integrated Wastelands Development Program in West Bengal: An ecological sustainability perspective // Indian Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 50 (1). P. 61–65. DOI: 10.18805/ijare.v0iOF.8436.
4. Долгих А.А. Результаты интродукции древесных растений в Кулундинском дендрарии для защитного лесоразведения и озеленения // Новости науки в АПК. 2019. № 1–1 (12). С. 35–39. DOI: 10.25930/zsx0-6e06.
5. Конопля Н.И., Домбровская С.С. Интродукция как прием экологической оптимизации агроландшафтов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2018. № 13. С. 85–88.
6. Sousa V., Miranda I., Quilhó T., Pereira H. The Diversity of Wood and Non-Wood Forest Products: Anatomical, Physical, and Chemical Properties, and Potential Applications // Forests. 2023. Vol. 14. P. 1988. DOI: 10.3390/f14101988.

7. Пугачева А.М., Беляев А.И., Трубакова К.Ю., Ромадина О.Д. Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 4 (93). С. 13–21. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-13-21.
8. Митина Л.В., Хархота Л.В., Виноградова Е.Н., Лихацкая Е.Н., Демкович Е.Н., Орлатая М.Л., Гузеев Ю.В., Жижко Н.Н. Научные исследования по интродукции древесных растений в Донецком ботаническом саду (1966–2016) // Промышленная ботаника. 2021. Т. 21. № 1. С. 53–66.
9. Yu C., Ren S., Huang Y., Wang G., Liu S., Li Z., Yuan Y., Huang X., Wang T. Biotic Factors Drive Woody Plant Species Diversity across a Relative Density Gradient of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim in the Warm –Temperate Natural Oak Forest, Central China // Forests. 2023. Vol. 14. P. 1956. DOI: 10.3390/f14101956.
10. Wang H., Zhang M., Nan H. Abiotic and biotic drivers of species diversity in understory layers of cold temperate coniferous forests in North China // Journal of Forestry Research. 2019. Vol. 30. P. 2213–2225. DOI: 10.1007/s11676-018-0795-2.
11. Lett C. Biodiversity faces its make-or-break year, and research will be key // Nature. 2022. Vol. 601 (7893) P. 298. DOI: 10.1038/d41586-022-00110-w
12. Jesús Alejandro Ruiz-Valencia, Monserrat Vázquez-Sánchez, Mireya Burgos-Hernández, Jorge Gutiérrez, Teresa Terrazas. Wood anatomy of *Forestiera* (Oleaceae) species in Mexico // Acta botánica mexicana. 2021. Vol. 128. DOI: 10.21829/abm128.2021.1924.
13. Бялт В.В., Сагалаев В.А., Фирсов Г.А. Конспект дендрофлоры Нижнехопёрского природного парка (Волгоградская область, Россия): монография. М.: издательство РОСА. 2023. 168 с.
14. Калмыкова Е.В., Мельник К.А., Кузьмин П.А. Видовые различия в содержании фотосинтетических пигментов у растений аридных территорий юга России // Аграрный вестник Урала. 2023. № 3 (232). С. 32–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-32-42.
- curity of the Russian Federation. *Oroshaemoe zemledelie = Irrigated Agriculture*, 2020, no. 1, pp. 6–7. (In Russian). DOI: 10.35809/2618-8279-2020-1-1.
2. Kulik K.N. The current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of droughts and land desertification. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal = Scientific Agronomy Journal*, 2022, no. 3 (118), pp. 8–13. (In Russian). DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13.
3. Maji Saikat, Rathore Surya, Khati Kanchan. Analyzing Integrated Wastelands Development Programme in West Bengal: An ecological sustainability perspective. *Indian Journal of Agricultural Research*, 2016, vol. 50 (1), pp. 61–65. DOI: 10.18805/ijare.v0i0F.8436.
4. Dolgih A.A. Results of the introduction of woody plants in the Kulunda Arboretum for protective afforestation and landscaping. *Novosti nauki v APK = Science news in the agro-industrial complex*, 2019, no. 1–1 (12), pp. 35–39. (In Russian). DOI: 10.25930/zsx0-6e06.
5. Konoplja N.I., Dombrovskaja S.S. Introduction as a method of ecological optimization of agricultural landscapes. *Novye i netradicionnye rastenija i perspektivy ih ispol'zovanija = New and nontraditional plants and prospects of their utilization*, 2018, no. 13, pp. 85–88. (In Russian).
6. Sousa V., Miranda I., Quilhó T., Pereira H. The Diversity of Wood and Non-Wood Forest Products: Anatomical, Physical, and Chemical Properties, and Potential Applications. *Forests*, 2023, vol. 14, p. 1988. DOI: 10.3390/f14101988.
7. Pugacheva A.M., Belyaev A.I., Trubakova K.Y., Romadina O.D. Regional climate changes in arid steppes and their connection with droughts. *Aridnye jekosistemy = Arid ecosystems*, 2022, vol. 28, no. 4 (93), pp. 13–21. (In Russian). DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-13-21.
8. Mitina L.V., Kharkhota L.V., Vinogradova E.N., Likhatskaya E.N., Demkovich E.N., Orlataya M.L., Guzeev Yu.V., Zhizhko N.N. Introduction research on arboreal plants in the Donetsk Botanical Garden (1966–2016) *Promyshlennaja botanika = Industrial Botany*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. 53–66. (In Russian).
9. Yu C., Ren S., Huang Y., Wang G., Liu S., Li Z., Yuan Y., Huang X., Wang T. Biotic Factors Drive Woody Plant Species Diversity across a Relative Density Gradient of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim. in the Warm–Temperate

REFERENCES

1. Melikhov V.V., Kulik K.N. Protective afforestation as the main element of complex land reclamation and a factor of ecological and food se-

- Natural Oak Forest, Central China, *Forests*, 2023, vol. 14, p. 1956. DOI: 10.3390/f14101956.
10. Wang H., Zhang M., Nan H. Abiotic and biotic drivers of species diversity in understory layers of cold temperate coniferous forests in North China. *Journal of Forestry Research*, 2019, vol. 30, pp. 2213–2225. DOI: 10.1007/s11676-018-0795-2.
11. Lett C. Biodiversity faces its make-or-break year, and research will be key. *Nature*. 2022. vol. 601 (7893), p. 298. DOI: 10.1038/d41586-022-00110-w.
12. Jesús Alejandro Ruiz-Valencia, Monserrat Vázquez-Sánchez, Mireya Burgos-Hernández, Jorge Gutiérrez, Teresa Terrazas. Wood anatomy of *Forestiera* (Oleaceae) species in Mexico. *Acta botánica Mexicana*, 2021, vol. 128. DOI: 10.21829/abm128.2021.1924.
13. Byalt V.V., Sagalaev V.A., Firsov G.A. *Synopsis of the dendroflora of the Nizhnekhopersky Nature Park (Volgograd region, Russia)*. Moscow, ROSA Publishing House, 2023, 168 p. (In Russian).
14. Kalmykova, E.V., Melnik K.A., Kuzmin P.A. Species differences in the content of photosynthetic pigments in plants of arid territories of the South of Russia. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2023, no. 3 (232), pp. 32–42. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-32-42.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Калмыкова Е.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 400062, Волгоград, пр. Университетский, 97; e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

Передриенко А.И., лаборант-исследователь

AUTHOR INFORMATION

✉ **Elena V. Kalmykova**, Doctor of Science in Agriculture, Associate Professor, Head Researcher, Laboratory Head; **address:** 97, Universitetskiy Ave., Volgograd 400062, Russia; e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru

Anna I. Peredrienko, Research Assistant

Дата поступления статьи / Received by the editors 30.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 23.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА НА ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗАБАЙКАЛЬЕ

✉ Андреева О.Т.

Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук

Чита, Россия

✉ e-mail: chita@sfsca.ru

Представлены результаты полевых и лабораторных исследований за 2020–2022 гг. по созданию агрофитоценозов ценных и перспективных лекарственных растений: расторопши пятнистой (*Silybum marianum*), фенхеля обыкновенного (*Foeniculum vulgare*) и скорцонеры испанской (*Scorzonera hispanica* L.). Исследования выполнены на лугово-черноземной мучнисто-карбонатной почве (по гранулометрическому составу – легкий суглинок) на опытном поле при разных сроках посева в условиях лесостепной зоны Забайкалья. Работа посвящена изучению влияния сроков посева (II декада мая, II декада июня, II декада июля) на продолжительность межфазных периодов развития растений, линейный рост, облиственность, полевую всхожесть, сохранность растений и урожайность лекарственного сырья. Установлена возможность формирования различной урожайности лекарственных культур за счет различных сроков посева. Наибольшая урожайность лекарственного сырья сформирована в посевах 15 мая и 15 июня. У расторопши пятнистой урожайность зеленой массы составила 15,4–16,0 т/га, сухой массы – 2,46–2,56 т/га, семян – 1,69–1,71 т/га; фенхеля обыкновенного – зеленой массы – 43,0–43,2 т/га, сухой массы – 6,66–6,71 т/га; скорцонеры испанской – с сырой массой корнеплодов – 32,1 т/га, листьев – 10,7 т/га. Высота растений к моменту уборки расторопши пятнистой была 163–166 см, облиственность – 54–57%; фенхеля обыкновенного – 144–147 см и 50–54%; скорцонеры испанской – 39 см и 98% соответственно. Отмечено отсутствие пораженности лекарственных растений болезнями и вредителями. Все культуры устойчивы к полеганию и засухе (5 баллов) в условиях Забайкалья.

Ключевые слова: лекарственные растения, расторопша пятнистая, фенхель обыкновенный, скорцонера испанская, межфазные периоды, урожайность, адаптивность, развитие растений, сроки посева

INFLUENCE OF SOWING DATES ON THE PHENOLOGICAL DEVELOPMENT AND YIELD OF MEDICINAL CROPS IN TRANSBAIKALIA

✉ Andreeva O.T.

Scientific Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Chita, Russia

✉ e-mail: chita@sfsca.ru

The results of field and laboratory studies for 2020, 2022 on the creation of agrophytocenosis of valuable and promising medicinal plants: milk thistle (*Silybum marianum*), common fennel (*Foeniculum vulgare*) and scorzonera (*Scorzonera hispanica* L.) are presented. The studies were carried out on meadow-chernozem mealy carbonate soil (light loam by granulometric composition) in the experimental field at different sowing dates in the conditions of the forest-steppe zone of Transbaikalia. The work is devoted to the study of the sowing dates influence (II ten-day period of May, II ten-day period of June, II ten-day period of July) on the duration of the interphase periods of plant development, linear growth, foliage, field germination, plant safety and yield of medicinal raw materials. The possibility of formation of different yields of medicinal crops due to different sowing dates has been established. The highest yield of medicinal raw material was formed in the crops of May 15 and June 15. Milk thistle had the yield of the herbage of 15.4–16.0 t/ha, dry mass – 2.46–2.56 t/ha, seeds – 1.69–1.71 t/ha; common fennel herbage – 43.0–43.2 t/ha, dry mass – 6.66–6.71 t/ha; scorzonera – with wet weight of root crops – 32.1 t/ha, leaves – 10.7 t/ha. Plant height by the time of harvesting of milk

thistle was 163–166 cm and 54–57%; common fennel – 144–147 cm and 50–54%; scorzonera – 39 cm and 98%, respectively. There was no infestation of medicinal plants by diseases and pests. All crops were resistant to lodging and drought (5 points) in the conditions of Transbaikalia.

Keywords: medicinal plants, milk thistle, common fennel, scorzonera, interphase periods, yield, adaptability, plant development, sowing dates

Для цитирования: Андреева О.Т. Влияние сроков посева на фенологическое развитие и урожайность лекарственных культур в Забайкалье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-3>

For citation: Andreeva O.T. Influence of sowing dates on the phenological development and yield of medicinal crops in Transbaikalia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-3>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Большое значение в народном хозяйстве имеют лекарственные растения. Благодаря широкому распространению и ценным свойствам лекарственные растения используются с древнейших времен. Арсенал лекарственных растительных препаратов создан в результате длительного исторического опыта народов мира и поисковых работ многочисленных ученых [1–5]. Препараты из растений по сравнению с синтетическими обладают достаточной широтой и мягкостью терапевтического действия, меньшей токсичностью и минимальными побочными противопоказаниями. Экопродукция, основанная на лекарственных растениях, используется не только в производстве медицинских, ветеринарных лекарственных препаратов, но и в пищевой промышленности, в косметологии, в парфюмерии и т.д. Огромный спрос в Китае на лекарственное сырье вызван тем, что у китайского народа такой способ лечения «в крови», так как страна уже существует на протяжении многих тысячелетий и традиционная медицина стала частью китайской философии. В книге о лекарственных растениях «Бень Цао», датированной 2600 г. до н.э., приведено описание 900 растений. Многие из них находят широкое применение и в настоящее время во многих странах. Сейчас мировой рынок лекарственных препаратов и БАДов исчисляется сотнями миллиардов долларов, его объемы капитализации растут с каждым го-

дом. В мировой медицинской практике отмечается устойчивая тенденция использования лечебных и профилактических препаратов растительного происхождения. В России потребность в отечественной фарминдустрии в лекарственном сырье удовлетворяется не полностью. Значительные объемы растительного лекарственного сырья импортируются, хотя многие виды ранее выращивались и заготавливались в нашей стране и, в частности в Забайкалье. В этой связи возрождение и развитие лекарственного растениеводства в Российской Федерации на современном этапе и в перспективе является актуальной задачей. Выращивание лекарственных культур имеет большое народнохозяйственное значение, так как не только решает вопрос обеспечения фармацевтической промышленности, но и имеет социальное значение, связанное с занятостью населения и импортозамещением [4].

Одними из перспективных источников лекарственных средств являются расторопша пятнистая (*Silybum marianum*), фенхель обыкновенный (*Foeniculu vulgaris*) и скорцонера испанская (*Scorzonera hispanica* L.). Лекарственное сырье этих видов растений обладает лечебными свойствами от многих заболеваний. Так, расторопша пятнистая (*Silybum marianum*) используется для лечения болезней печени, желчного пузыря, улучшения обмена веществ, при отравлении. Терапевтическими свойствами обладают не только плоды, но также листья, стебли и корни растения. В плодах расторопши пятнистой

содержится около 3% силимарина, он присутствует также в стеблях, корнях и листьях^{1, 2} [6, 7]. Скорцонера испанская (*Scorzonera hispanica* L.) является полезной и лечебной. Лечебные свойства ее заключаются в следующем: оказывает успокаивающее действие на нервную систему, избавляет от бессонницы, нормализует наличие сахара в крови, приводит в норму сердечный ритм, останавливает развитие артроза и подагры, при онкологических заболеваниях, циррозе печени, атеросклерозе. Лекарственное сырье скорцонеры испанской (корни, листья) – источник антиоксидантных средств³ [8–12]. Фенхель обыкновенный (*Foeniculu vulgaris*) – это растение выводит шлаки, токсины и вредные вещества из организма. Препараты, созданные с использованием фенхеля обыкновенного, широко используются в медицине. Применяются разные формы: настои, отвары, порошок, масло. Измельченные сухие листья – это хорошее отхаркивающее средство⁴ [13].

Содержание в органах растений биологически активных веществ существенно зависит от условий произрастания, времени вегетации, массы и размеров этих органов. В комплексе технологических приемов возделывания лекарственных культур большое значение имеют сроки посева. Сроки посева оказывают влияние на урожайность и качество продукции в той степени, в какой они совпадают с благоприятными условиями среды (по влаге и теплообеспеченности) для роста, развития растений и формирования урожая. За счет различных сроков посева возможно уменьшить зависимость растений от неблагоприятных факторов среды и сформировать хорошую урожайность лекарственного сырья.

В условиях Забайкальского края сроки

посева лекарственных растений ранее не изучались. В связи с этим в целях быстрого внедрения в производство, исследования по определению оптимальных сроков посева лекарственных культур – расторопши пятнистой, фенхеля обыкновенного и скорцонеры испанской – своевременны, актуальны и имеют научную и практическую ценность.

Цель исследований – определить оптимальные сроки посева, позволяющие получать высокие урожаи лекарственного сырья (расторопши пятнистой, фенхеля обыкновенного, скорцонеры испанской) в лесостепной зоне Забайкалья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в 2020–2022 гг. на опытном поле Научно-исследовательского института ветеринарии Восточной Сибири – филиала Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, расположенном в Ингодинско-Читинской лесостепи. Изучали влияние сроков посева на рост, развитие и урожайность лекарственных растений расторопши пятнистой, фенхеля обыкновенного и скорцонеры испанской.

Почва опытного участка лугово-черноземная мучнисто-карбонатная, гранулометрический состав – легкий суглинок. По реакции почвенного раствора пахотный горизонт является слабокислым, подпахотный – нейтральным. Содержание органического вещества в слое почвы 0–20 см – 3,67%, общего азота – 0,21%. Обеспеченность подвижным фосфором низкая, обменным калием средняя. Посевная площадь делянки – 20 м², учетной – 10 м², повторность четырехкратная. Расположение систематическое.

Минеральные удобрения внесли под по-

¹Кишикаткина А.Н., Аленин П.Г., Кишикаткин С.А., Воронова И.А. Расторопша пятнистая: Вопросы биологии, культивирования, применения. Пенза: РИО ПГСХА, 2016. 325 с.

²Аленин П.Г., Кишикаткин С.А., Воронова И.А. Продукционный процесс семенных агрофитоценозов расторопши пятнистой, черноголовника многобрачного в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Нива Поволжья. 2017. № 1 (42). С. 2–9.

³Галюк Н.Г. Переработка инулинсодержащего сырья на инулин и его производные / Н.Г. Гулюк, Н.Д. Лукин, Т.С. Пучкова, Д.М. Пихало // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 8. С. 76–79.

⁴Кароматов И.Д., Музаффарова С.К., Тураев П.Т. Лечебные свойства фенхеля // Биология и интегрированная медицина. 2017. № 9. С. 23–43.

севную культивацию в норме $N_{60}P_{60}K_{60}$. Посев провели по пару в три срока: во II декаде мая, во II декаде июня и во II декаде июля. Посев проводили механизировано сеялкой СН-16 рядовым способом с междурядьями 30 см. Норма высева семян расторопши пятнистой – 18 кг/га, фенхеля обыкновенного – 10 кг/га, скорцонеры испанской – 12 кг/га, глубина заделки семян – 3–4 см. Для равномерного высева семена при посеве смешали с гранулированным суперфосфатом (из расчета 1 : 3). Все учеты и наблюдения выполнены согласно методическим руководствам^{5–10}.

Климат зоны резко континентальный с малоснежной холодной зимой, жарким летом и недостатком атмосферных осадков. Среднегодовое количество осадков 330–380 мм, основное их количество (85–90%) выпадает в теплый период, максимальное – в июле – августе, минимальное – в мае – июне. В целом режим характеризуется изменчивостью увлажнения. Годы с хорошей влагообеспеченностью сменяются удовлетворительными, чаще – засушливыми. Сумма температур выше 10 °C за летние месяцы составляет 1500...1800°, при высокой среднесуточной температуре июля 19,1 °C.

Погодные условия вегетационных периодов 2020–2022 гг. в основном были дождливыми и теплыми. За апрель – сентябрь выпало 320,2; 349,0 и 406,0 мм при среднемноголетней норме 276,0 мм. Превышение среднемноголетнего показателя составило 44,2; 73,6; 130 мм, или 16,0; 26,6; 47,0%. Среднесуточная температура воздуха за этот период превышала норму на 0,7; 0,9 и 1,9 °C при среднемноголетнем показателе 11,2 °C. Гидротермические коэффициенты (ГТК) по месяцам вегетационных периодов в среднем составили: в мае – 1,0, июне – 1,2, июле – 2,6, августе – 1,1, сентябре – 2,4 единицы. Согласно этим коэффициентам май, июнь и август

характеризуются достаточно увлажненными, июль и сентябрь – избыточно увлажненными.

В целом погодные условия, сложившиеся в период вегетации, способствовали своевременному появлению всходов, хорошему развитию растений и формированию в агрофитоценозах достаточно высокой урожайности изучаемых культур.

Изучаемые лекарственные культуры устойчивы к болезням и вредителям. Заболевания и повреждения вредителями и болезнями не отмечены.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено, что на развитие растений изучаемых культур, на время наступления и продолжительность фенологических фаз большое влияние оказали гидротермические условия и биологические особенности культуры.

При весеннем сроке посева 15 мая среднесуточная температура воздуха в период посев – всходы составила 8,8 °C, что в большой степени оказало влияние на прогревание почвы и разницу появления всходов. Всходы лекарственных растений в посевах 15 мая появились на 23–25-й день после посева. Июньские посевы лекарственных трав ускорили появление всходов на 8–9 дней, июльские – на 16–18 дней (см. табл. 1). Период всходы – бутонизация (ветвление) у расторопши пятнистой составил от 50 до 55 дней, у фенхеля обыкновенного – от 52 до 62 дней. Продолжительность периода всходы – цветение при майских и июньских сроках посева у расторопши пятнистой была 70–73 дня, у фенхеля обыкновенного – 77–81 день; в июньских сроках посева этот период у расторопши пятнистой был на 3 дня короче, у фенхеля обыкновенного – на 4 дня. В июльских посевах фаза цветения у растений не наступила. Созревание семян растения расторопши пят-

⁵Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М., 1983. 197 с.

⁶Опытное дело в полеводстве. Л., 1982. 190 с.

⁷Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985. 357 с.

⁸Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. 267 с.

⁹Инструкция для зональных агрохимических лабораторий по анализу кормов и растений. М., 1968. 56 с.

¹⁰ГОСТ 34221–2017 Семена лекарственных и ароматических культур. Сортовые и посевные качества. Технические условия. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2017. 23 с.

Табл. 1. Продолжительность межфазных периодов лекарственных растений, дни (среднее за 2020–2022 гг.)

Table 1. Duration of the interphase periods of medicinal plants, days (average for 2020–2022)

Культура	Периоды							
	По- сев – всхо- ды	Всходы – 4–6 пар настоящих листьев	Всходы – смыкание растений в рядах	Всходы – бутониза- ция (вет- вление)	Всхо- ды – цвете- ние	Всходы – созревание семян, начало плодообразо- вания	Всходы – роетка ли- стьев форми- рование корне- плодов	Всхо- ды – уборка
<i>Посев 15 мая</i>								
Расторопша пятнистая	23	–	–	55	73	95	–	95
Фенхель обыкновенный	25	–	–	62	81	85	–	85
Скорцонера испанская	25	26	48	–	–	–	118	118
<i>Посев 15 июня</i>								
Расторопша пятнистая	14	–	–	51	70	91	–	91
Фенхель обыкновенный	17	–	–	52	77	81	–	81
Скорцонера испанская	17	22	44	–	–	–	110	110
<i>Посев 15 июля</i>								
Расторопша пятнистая	7	–	–	55	–	–	–	55
Фенхель обыкновенный	7	–	–	55	–	–	–	55
Скорцонера испанская	7	21	41	–	–	55	–	55

нистой достигли только при майском и июньском сроках посева, период которого составил 91–95 дней.

Межфазный период всходы – формирование корнеплодов у скорцонеры испанской при майском посеве составил 118 дней, при июньском – 110 дней. В июльском посеве уборку провели через 55 дней от всходов (в период смыкания растений в рядах – начало формирования корнеплодов).

В посевах расторопши пятнистой и фенхеля обыкновенного полевая всхожесть составила от 77–78 до 86–87%, скорцонеры испанской – от 75 до 81% (см. рис. 1) и увеличивалась от раннего срока посева (15 мая) к более поздним (15 июня – на 3–4 и на 6–9% к посеву 15 июля). Сохранность растений лекарственных трав была достаточно высокой и составила 98–99%.

Засоренность в весенних посевах в период всходов (с одной предпосевной культивацией) была высокой и составила 97–114 шт./м²; 15 июня (с двумя предпосевными культивациями) – 73–80 шт./м²; 15 июля (с тремя предпосевными культивациями) – 32–37 шт./м². Перед уборкой общий уровень засоренности в посевах был невысоким и составил (в зависимости от сроков посева) от 15–16 до

2–8 шт./м² и уменьшался от раннего срока посева к более поздним.

Максимальная высота лекарственных растений к моменту уборки достигнута в посевах 15 мая и 15 июня: у расторопши пятнистой – 163–166 см, фенхеля обыкновенного – 144–147 см, скорцонеры испанской – 39 см, что выше, чем на посевах 15 июля, на 97–100, 82–85 и 12–13 см соответственно культурам; облиственность при этом составила 54–57, 50–54 и 98%. При позднем сроке посева (15 июля) высота растений была наименьшей и составила по культурам: 66, 62 и 27 см, облиственность при этом была высокой – 64, 61 и 98% (см. рис. 2).

При оценке реакции растений к засухе, предусмотренной методикой, где за основу берется пожелтение прикорневых листьев и потеря тургора, отмечено, что изучаемые культуры не страдали от засухи (засухоустойчивость – 5 баллов).

По оценке лекарственных культур установлено, что в создавшихся условиях вегетационных периодов расторопша пятнистая и фенхель обыкновенный в посевах 15 мая и 15 июня сформировали максимальную продуктивность: зеленой массы – 15,40–16,00; 43,00–43,20 т/га; сухого вещества – 2,46–

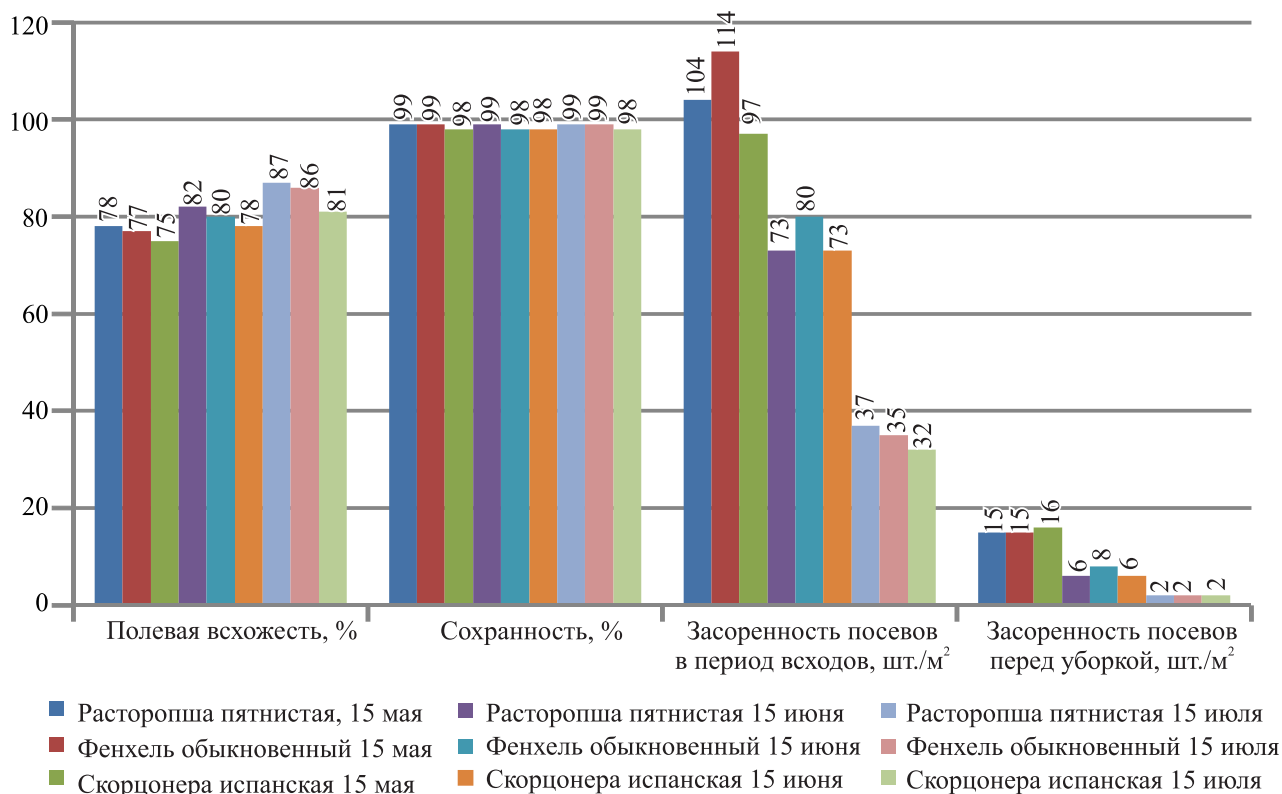


Рис. 1. Полевая всхожесть, сохранность и засоренность посевов лекарственных растений в разные сроки посева: 15 мая, 15 июня, 15 июля (среднее за 2020–2022 гг.)

Fig. 1. Field germination, safety and contamination of medicinal plant crops at different sowing dates: May 15, June 15, July 15 (average for 2020–2022)

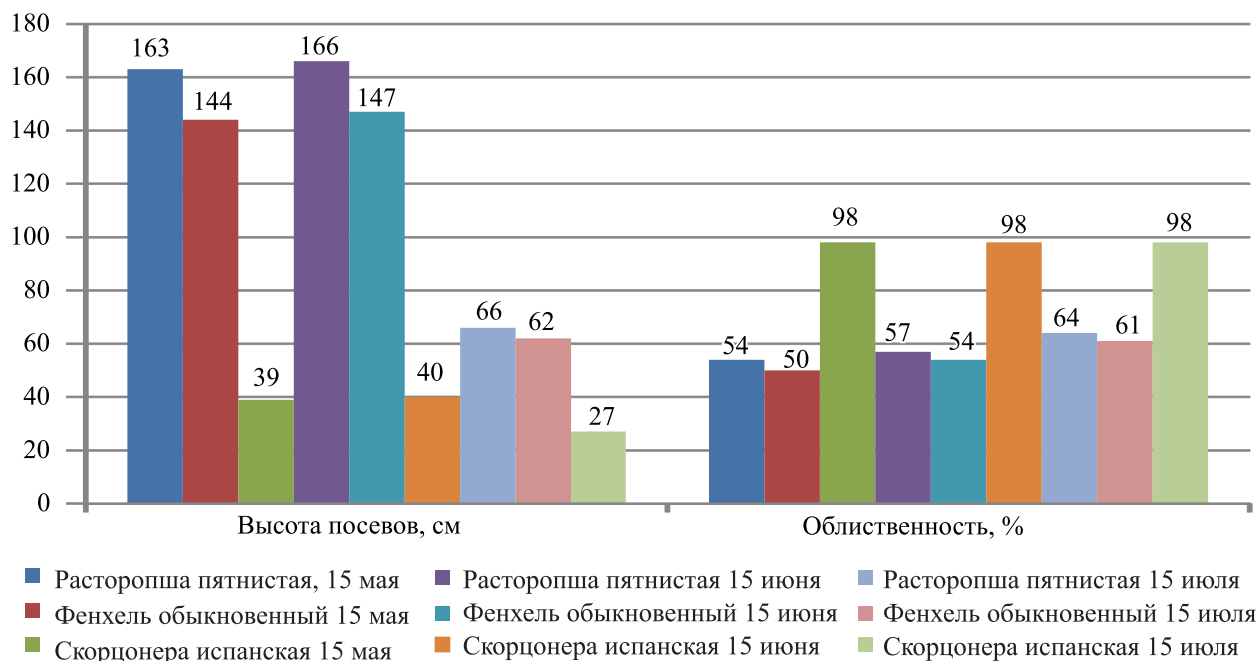


Рис. 2. Высота и облиственность лекарственных растений в разные сроки посева: 15 мая, 15 июня, 15 июля (среднее за 2020–2022 гг.)

Fig. 2. Height and foliage of medicinal plants at different sowing dates: May 15, June 15, July 15 (average for 2020–2022)

Табл. 2. Урожайность лекарственного сырья расторопши пятнистой и фенхеля обыкновенного (среднее за 2020–2022 гг.)

Table 2. Yield of medicinal raw materials of milk thistle and fennel (average for 2020–2022)

Культура	Срок посева	Урожайность, т/га			Масса 1000 семян, г	Содержание жира в семенах, %
		Зеленая масса	Сухое вещество	Семена		
Расторопша пятнистая	15 мая	15,40	2,46	1,69	32,0	25,2
	15 июня	16,00	2,56	1,71	31,0	23,6
	15 июля	2,89	0,46	–	–	–
НСР _{0,5}		2,22	0,28			
Фенхель обыкновенный	15 мая	43,00	6,66	–	–	–
	15 июня	43,20	6,71	–	–	–
	15 июля	10,47	1,54	–	–	–
НСР _{0,5}		1,88	0,96			

Табл. 3. Структура и урожайность биомассы скорцонеры испанской (среднее за 2020–2022 гг.)

Table 3. Structure and yield of scorzonera biomass (average for 2020–2022)

Культура	Срок посева	Урожайность, т/га			Длина корнеплода, см	Диаметр корнеплода, мм
		Корнеплоды	Листья	Общий вес		
Скорцонера испанская	15 мая	32,1	10,7	42,8	28	19,0
	15 июня	24,9	8,4	33,3	25	17,2
	15 июля	1,6	12,2	13,8	10	7,0
НСР _{0,5}		1,42				

2,56; 6,66–6,71 т/га; семян (расторопши пятнистой) – 1,69–1,71 т/га, с хорошими качествами – массой 1000 семян – 31–32 г, содержанием жира в семенах – 23,6–25,2% (см. табл. 2, 3).

В посевах 15 июля урожайность лекарственного сырья получена меньше: зеленой массы на 12,5–13,1 т/га (или на 81,7–81,9%); сухого вещества на 2,00–2,10 т/га (или на 81,3–82,0%); семена при этом сроке посева у расторопши пятнистой не сформировались.

В агроценозах скорцонеры испанской учитывали корнеплоды и листья (см. табл. 3). Наибольшая общая урожайность лекарственного сырья (42,8 т/га) скорцонеры испанской сформирована при весеннем (15 мая) сроке посева: в том числе корнеплодов – 32,1 т/га, листьев – 10,7 т/га, общая биомасса 42,8 т/га, превышающая более поздние посевы на 9,5–29,0 т/га (или на 22,2–68,0%).

Важными показателями структуры урожая корнеплодов скорцонеры испанской являются их диаметр и длина. Наиболее крупными (18,5 мм) в диаметре корнеплоды и боль-

шей длины (28 см) сформированы в посевах 15 мая (за 118 дней вегетации) (см. табл. 3).

В посевах 15 мая сформирована наибольшая урожайность корнеплодов – 32,1 т/га, что выше на 22,4%, чем на посевах 15 июня, и на 95%, чем на позднем (15 июля) посеве, что подтверждает структура урожая. Отмечена тесная положительная корреляция ($r = 0,98$) между урожаем и диаметром корнеплодов и урожаем и длиной корнеплодов.

ВЫВОДЫ

1. В лесостепной зоне Забайкалья наиболее благоприятные условия для роста, фенологического развития и формирования урожайности лекарственного сырья – расторопши пятнистой (*Silybum marianum*) и фенхеля обыкновенного (*Foeniculu vulgaris*) – II декада мая (15 мая) и II декада июня (15 июня), скорцонеры испанской (*Scorzonera hispanica* L.) – II декада мая (15 мая). Данные сроки посева обеспечивают у культур наибольшую урожайность лекарственного сырья расторопши пятнистой – зеленой массы

15,4–16,0 т/га, сухой массы – 2,46–2,56 т/га, семян – 1,69–1,71 т/га; фенхеля обыкновенного – зеленой массы – 43,0–43,2 т/га; сухой массы – 6,66–6,71 т/га; скорцонеры испанской урожайность с сырой массой корнеплодов – 32,1 т/га, листьев – 10,7 т/га.

2. Продолжительность межфазных периодов лекарственных растений при этих сроках посева составила у расторопши пятнистой: посев – всходы – 14–23 дня, всходы – бутонизация – 51–55 дней, всходы – цветение – 70–73 дня, всходы – созревание семян (уборка) – 91–95 дней. У фенхеля обыкновенного соответственно – 17–25, 52–62, 77–81 день; у скорцонеры испанской: посев – всходы – 17 дней, всходы – 4–6 пар настоящих листьев – 21 день, всходы – смыкание растений в рядах – 41 день, всходы – формирование корнеплодов (уборка) – 118 дней.

3. Высота растений к моменту уборки расторопши пятнистой составила 163–166 см, облиственность – 54–57%; фенхеля обыкновенного соответственно 144–147 см и 50–54%; скорцонеры испанской – 39 см и 98%.

4. Лекарственные растения не поражались болезнями и вредителями. Все культуры устойчивы к полеганию и засухе (5 баллов) в условиях Забайкалья.

5. Засоренность посевов (в зависимости от сроков посева) составила от 15–16 до 2–8 шт./м² и уменьшалась от раннего срока посева к более поздним.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли М., Ткаченко К.Г., Цицилин А.Н., Чурилов Л.П. Традиционно китайские лекарственные средства и российская медицина: прошлое, настоящее и будущее // Клиническая патофизиология. 2019. Т. 25. № 4. С. 3–25.
2. Маланкина Е.Л., Цицилин А.Н. Лекарственные и эфиромасличные растения: монография. М.: ИНФРА. М., 2018. 368 с.
3. Сидельников Н.И., Тхаганов Р.Р., Хазиева Ф.М. Особенности применений микроудобрений на лекарственных культурах // Агрохимический вестник. 2018. № 6. С. 57–60.
4. Аникина А.Ю., Басалаева И.В., Бушкова Л.М., Быкова О.В., Грязнов М.Ю. Лекарственные и эфиромасличные культуры: особенности возделывания на территории

Российской Федерации: монография. М., 2021. 248 с.

5. Цицилин А.Н. Необходимость и важность применения САСР в России при получении лекарственного сырья // Фармация. 2018. Т. 67. № 4. С. 13–17.
6. Джашеев А.-М.С., Джашеева З. А.-М., Акбаева Ф.А., Токова Ф.М. Опыт возделывания расторопши пятнистой (*Silybum marianum* L.), в условиях предгорной зоны Северного Кавказа // Успехи современного естествознания. 2019. № 7. С. 7–13.
7. Кишикаткин С.А., Аленин П.Г., Воронова И.А., Поликарпова Н.Н. Экологически безопасная технология возделывания расторопши пятнистой // Нива Поволжья. 2021. № 3 (60). С. 60–66.
8. Сампиев А.М., Шевченко А.И., Хочаева Е.Б., Быкова О.А. Исследования флавоноидов, фенолкарбоновых и органических кислот скорцонеры испанской (*Scorzonera hispanica* L.) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2018. № 21 (1). С. 25–29.
9. Хочава М.Р., Шевченко А.И., Никифорова Е.Б., Быкова О.А. Морфолого-анатомическое исследование скорцонеры испанской // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2018. № 21 (5). С. 34–42.
10. Онбыш Т.Е., Хочава М.П., Доркина Е.Г. Гипохолестеринемическое действие скорцонеры испанской на модели острой гиперлипидемии, индуцированной эталоном // Здоровье и образование в XXI веке. 2018. № 20 (5). С. 113–116.
11. Кайшев В.Г., Кайшев В.Г., Лукин Н.Д., Серегин С.Н., Корниенко А.В. Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства // Пищевая промышленность. 2018. № 5. С. 8–17.
12. Орбинская В.Н. Использование инулиносодержащих растений в качестве источника биологически активных соединений антиоксидантного типа // Современная наука и инновации. 2016. Вып. 2. С. 87–94.
13. Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л. Влияние фитобиотических препаратов на морфохимические показатели крови телят при диспепсии // Сибирский вестник сельскохозяй-

ственной науки. 2022. Т. 52. № 5. С. 98–104.
DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-12.

REFERENCES

1. Li M., Tkachenko K.G., Tsitsilin A.N., Churilov L.P. Traditional Chinese medicines and Russian medicine: Past, present and future. *Klinicheskaya patofiziologiya = Clinical pathophysiology*, 2019, vol. 25, no.4, pp. 3–25. (In Russian).
2. Malankina E.L., Tsitsilin A.N. *Medicinal and essential oil plants: textbook*. Moscow, INFRA – M, 2018, 368 p. (In Russian).
3. Sidelnikov N.I., Tkhanaganov R.R., Khazieva F.M. Particularities of micro fertilizers application for medicinal plants. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*, 2018, no. 6, pp. 57–60. (In Russian).
4. Anikina A.Yu., Basalaeva I.V., Bushkovskaya L.M., Bykova O.V., Gryaznov M.Yu. *Medicinal and essential oil crops: peculiarities of cultivation in the territory of the Russian Federation*. Moscow, 2021, 248 p. (In Russian).
5. Tsitsilin A.N. The necessity and importance of the use of SASR in Russia in obtaining medicinal raw materials. *Farmatsiya = Pharmacy*, 2018, vol. 67, no. 4, pp. 13–17. (In Russian).
6. Dzhasheev A.M.S., Dzhasheeva Z.A-M., Akbaeva F.A., Tokova F.M. Experience of milk thistle (*Silybum marianum* L.) cultivation in the Northern Caucasus piedmont conditions. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in current natural sciences*, 2019, no. 7, pp. 7–13. (In Russian).
7. Kshnikatin S.A., Alenin P.G., Voronova I.A., Polikarpova N.N. Environmentally friendly technology of milk thistle cultivation. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*, 2021, no. 3 (60), pp. 60–66. (In Russian).
8. Sampiev A.M., Shevchenko A.I., Khochaeva E.B., Bykova O.A. The researching of flavonides, phenol carbonic and organic acids in *Scorzonera hispanica* L. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii = Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*, 2018, no. 21 (1), pp. 25–29. (In Russian).
9. Khochava M.R., Shevchenko A.I., Nikiforova E.B., Bykova O.A. The morphological and anatomical study of *Scorzonera hispanica* L. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii = Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*, 2018, no. 21 (5), pp. 34–42. (In Russian).
10. Onbysh T.E., Khochava M.P., Dorkina E.G. Hypocholisterinemic action of the Spanish scorzonera on the model of acute hyperlipidemia induced by ethanol. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke = Health and education in the XXI century*, 2018, no. 20(5), pp. 113–116. (In Russian).
11. Kaishev V.G., Kaishev V.G., Lukin N.D., Seregin S.N., Kornienko A.V. Inulin market in Russia: possibilities of raw materials base development and necessary resources for creation of modern domestic production. *Pishchevaya promyshlennost' = Food industry*, 2018, no. 5, pp. 8–17. (In Russian).
12. Orbinskaya V.N. The use of inulin-containing plants as a source of biologically active compounds of the antioxidant type. *Sovremennaya nauka i innovatsii = Modern Science and Innovations*, 2016, is. 2. pp. 87–94. (In Russian).
13. Savelyeva L.N., Bondarchuk M.L. The effect of phytobiotic preparations on morphochemical blood parameters of calves with dyspepsia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 5, pp. 98–104. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Андреева О.Т.** кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 672010, Забайкальский край, Чита-10, ул. Кирова, 49, а/я 470; e-mail: chita@sfsca.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Olga T. Andreeva**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** PO Box 470, 49, Kirova St., Chita-10, Trans-Baikal Territory, 672010, Russia; e-mail: chita@sfsca.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 30.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 03.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023

НАСЛЕДОВАНИЕ ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ГИБРИДНЫХ КОМБИНАЦИЙ МЕСТНЫХ И ИНОСТРАННЫХ СОРТОВ ОВСА В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ

✉ Любимова А.В.¹, Ерёмина Д.В.²

¹Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал
Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук»

Тюменская область, п. Московский, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья
Тюмень, Россия

✉ e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Представлены результаты изучения характера наследования ценных признаков гибридов первого поколения, полученных от скрещивания иностранных и отечественных сортов овса в условиях Северного Зауралья. Эксперимент проводили на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья в 2019 и 2020 гг. Объектом исследования являлись 18 гибридных популяций F1 и шесть родительских сортов: Талисман, Отрада, Фома, Sang, Solidor и Ensiler. Оценка элементов продуктивности осуществляли согласно методике Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Для статистической обработки данных использовали методику Б.А. Доспехова. Характер наследования фенотипических признаков определяли по G.M. Beil, R.E. Atkins. Анализ элементов структуры урожая продемонстрировал отсутствие преимущества сортов иностранной селекции перед генотипами, полученными в Северном Зауралье. Установлено, что по озерненности метелки и массе 1000 зерен сорт Отрада не уступает сортам Sang, Solidor и Ensiler, а Фома – превосходит их. Определено, что скрещивания между сортами местной и иностранной селекции имеют высокий процент удач (42–68%), что обуславливает их перспективность в селекционном процессе. Выявлено, что 50% гибридных комбинаций характеризуются депрессией по признаку «высота растений» – степень фенотипического доминирования в данном случае варьирует от –22,2 до –3,1 ед. Скрещивание Фомы с иностранными сортами обеспечило сверхдоминирование по высоте метелки, ее озерненности и массе 1000 зерен. По степени фенотипического доминирования элементов продуктивности выделены следующие перспективные гибридные комбинации: Ensiler × Отрада, Sang × Отрада, Фома × Sang. У перечисленных комбинаций отбор высокопродуктивных генотипов можно проводить со второго поколения. Осуществлять отбор перспективных линий среди гибридных комбинаций, где одной из родительских форм являлся сорт Фома, рекомендуется в более поздних поколениях. Гибриды первого поколения, полученные от скрещивания сорта Талисман с сортами Ensiler, Sang и Solidor, не имеют преимуществ перед родительскими формами и неперспективны для селекционного процесса.

Ключевые слова: гибридизация, характер наследования, элементы продуктивности, гетерозис, генетическая депрессия, модель сорта

INHERITANCE OF VALUABLE PRODUCTIVITY TRAITS OF HYBRID COMBINATIONS OF LOCAL AND FOREIGN OAT VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE TRANS-URAL REGION

✉ Lyubimova A.V.¹, Eremina D.V.²

¹Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region – Branch
of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences

Moskovsky, Tyumen region, Russia

²State Agrarian University of the Northern Trans-Urals

Tyumen, Russia

✉ e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

The results of studying the character of inheritance of valuable traits of the first-generation hybrids obtained from crossing foreign and domestic varieties of oats in the conditions of the Northern

Trans-Urals are presented. The experiment was conducted on the experimental field of the Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region in 2019 and 2020. The object of the study were 18 F1 hybrid populations and 6 parent varieties: Talisman, Otrada, Foma, Sang, Solidor and Ensiler. Productivity elements were evaluated according to the methodology of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. B.A. Dospekhov's methodology was used for statistical data processing. Inheritance of phenotypic traits was determined according to G.M. Beil and R.E. Atkins. Analysis of the yield structure elements demonstrated the lack of advantage of foreign selection varieties over the genotypes obtained in the Northern Trans-Urals. It has been established that the Otrada variety is not inferior to Sang, Solidor and Ensiler varieties in terms of panicle ear grain content and the thousand-kernel weight, and Foma is superior to them. It has been determined that crosses between the varieties of local and foreign selection have a high percentage of success (42–68%), which makes them promising in the breeding process. It has been revealed that 50% of hybrid combinations are characterized by depression in the trait "plant height" – the degree of phenotypic dominance in this case varies from –22.2 to –3.1 units. Crossing of Foma with foreign varieties ensured overdominance in the panicle height, its grain content and the thousand-kernel weight. According to the degree of phenotypic dominance of the productivity elements, the following promising hybrid combinations have been identified: Ensiler × Otrada, Sang × Otrada, Foma × Sang. In the above combinations, selection of high-yielding genotypes can be carried out from the second generation onwards. It is recommended to select promising lines among hybrid combinations, where one of the parental forms is the Foma variety, in the later generations. Hybrids of the first generation obtained from crossing the Talisman variety with Ensiler, Sang and Solidor varieties have no advantages over the parental forms and are unpromising for the breeding process.

Keywords: hybridization, nature of inheritance, elements of productivity, heterosis, genetic depression, variety model

Для цитирования: Любимова А.В., Ерёмина Д.В. Наследование ценных признаков продуктивности гибридных комбинаций местных и иностранных сортов овса в условиях Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 32–45. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-4>

For citation: Lyubimova A.V., Eremina D.V. Inheritance of valuable productivity traits of hybrid combinations of local and foreign oat varieties in the conditions of the Trans-Ural region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 32–45. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Acknowledgements

The work was carried out according to the state task No. 122011300103-0 and with the support of the world-class West Siberian Interregional Research and Education Center.

ВВЕДЕНИЕ

В основе продовольственной безопасности любой страны лежит полноценное обеспечение сельскохозяйственной продукцией, в том числе кормами для животноводства и птицеводства. Поэтому в настоящее время зернофуражные культуры по своей значимости находятся на одном уровне с пшеницей, рисом, соей и кукурузой. За последние 70 лет урожайность сельскохозяйственных культур выросла более чем в 3 раза благодаря внедре-

нию научно обоснованной системы земледелия. Столь существенные достижения агропромышленного комплекса стали возможны только при переходе на современные сорта интенсивного типа, генетический потенциал продуктивности которых несоизмеримо выше.

По данным Росстата, в 2022 г. в Российской Федерации размер посевных площадей овса составил 2,16 млн га, в том числе в Уральском федеральном округе – 235,5 тыс. га. Для

удовлетворения растущих потребностей животноводства и птицеводства валовой сбор овса необходимо существенно увеличивать. Следовательно, потребуются увеличение посевных площадей и повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Однако в настоящее время наиболее плодородные поля занимают стратегические либо маргинальные культуры, и уменьшать их посевные площади нецелесообразно. Поэтому расширение посевных площадей овса или других зернофуражных культур возможно только в результате распахки менее плодородных земель. Повышение урожайности за счет применения агрохимикатов (в том числе минеральных удобрений) наиболее перспективно в современном мире. Решение задачи по увеличению валового сбора зерна заключается в создании новых сортов, способных формировать высокий урожай и использующих биоклиматический потенциал региона.

В Государственном реестре селекционных достижений на долю иностранных сортов овса приходится 10%. Данные сорта характеризуются высокой урожайностью и качеством зерна. Современные отечественные сорта овса также обладают высокой потенциальной продуктивностью, практически не уступающей продуктивности иностранных сортов. Однако фактическая урожайность по разным регионам страны остается довольно низкой, не говоря уже о качестве собираемого зерна. Причин этого достаточно много, но в целом они сводятся к несоблюдению технологии возделывания и отсутствию пластичности сорта к широкому спектру почвенно-климатических условий. По мнению Г.А. Баталовой с соавт.¹, причина низкой продуктивности современных сортов овса заключается также в их некорректном районировании по регионам допуска. Один из путей решения проблемы низкой урожайности овса – использование в качестве родительских форм сортов местной селекции, характеризующихся хорошей устойчивостью к

неблагоприятным почвенно-климатическим условиям, имеющих высокую экологическую пластичность, а также высокоурожайных иностранных сортов, обладающих необходимыми хозяйственно ценными свойствами (высокая озерненность метелки и крупность зерна, короткостебельность и др.).

Современный сорт должен эффективно реализовывать свой генетический потенциал при различных естественных и техногенных факторах окружающей среды, обладать значительной устойчивостью к стрессу абиотической и биотической природы [1].

Цель исследования – создание перспективных гибридных популяций путем скрещивания овса иностранной и отечественной селекции с их последующей оценкой по основным хозяйственно ценным свойствам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на базе Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья в условиях лесостепной зоны Зауралья согласно методике государственного сортоиспытания². Почва опытного участка – темно-серая лесная оподзоленная с характерными для региона морфологическими признаками и основными физико-химическими свойствами [2, 3]. Почвенно-климатические условия местности максимально приближены к сельскохозяйственной зоне Уральского федерального округа, что дает возможность оценить перспективность гибридных комбинаций и сортов овса, участвующих в селекционной работе.

В опыте использовали шесть сортов местной и зарубежной селекции (см. табл. 1). Комбинации скрещиваний подбирали по принципу эколого-географической отдаленности родительских форм.

Гибридизацию проводили в полевых условиях. В фазу начала выметывания (при появлении двух-трех колосков из листового влагалища) осуществляли механическую кастрацию. На метелке удаляли верхние и

¹Баталова Г.А., Лисицын Е.М., Changzhong Ren, Андреев Н.Р., Тулякова М.В., Шевченко С.Н., Малько А.М. Селекция овса на Европейском Северо-Востоке России // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 1. С. 21–24.

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 1. 270 с.

Табл. 1. Сорта овса отечественной и иностранной селекции, используемые в гибридизации

Table 1. Oat varieties of domestic and foreign selection used in hybridization

Номер в опыте	Сорт	Разновидность	Страна происхождения	Источник описания
1	Ensiler	<i>mutica</i>	США	4
2	Sang	»	Швеция	4
3	Solidor	»	Германия	4
4	Отрада	»	Россия	5
5	Талисман	»	»	6
6	Фома	»	»	7

нижние колоски, оставляя четыре – шесть наиболее развитых колосков в средней части. Кастрацию проводили утром – с 5 до 8 ч по местному времени. На 4–5-е сутки делали принудительное опыление, согласно схеме гибридизации. Пыльцу отбирали в день опыления в период с 9 до 12 ч. В каждый цветок закладывали по три созревших пыльника. Далее метелку помещали в бумажный изолятор. Скрещивание проводили на десяти метелках каждого сорта. Полученное зерно гибридных комбинаций высевали на следующий год по схеме ♀ – F1 – ♂ в трехкратном повторении. На каждом рядке размещали по десять зерен родительских сортов и гибридов. Расстояние между рядками составляло 20 см, глубина посева – 5–6 см. Срок посева – II декада мая. Агротехника в опытах – общепринятая для северной лесостепи Зауралья [8].

Фенологические наблюдения, оценку состояния посевов и учет элементов структуры урожая проводили согласно методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса³.

Характер наследования признаков рассчитывали по формуле G.M. Beil, R.E. Atkins:

$$h_p = (F1 - MP) / (HP - MP),$$

где h_p – степень фенотипического доминирования; F1 – величина выраженности признака у растений F1; MP – средний по степени выраженности признак обеих родительских

форм; HP – наиболее выраженный признак родительской формы.

Группировку гибридов по степени проявления фенотипических признаков осуществляли по классификации G.M. Beil, R.E. Atkins⁴, согласно которой возможными являются следующие типы взаимодействия генов: $h_p > 1$ – гетерозис (положительное сверхдоминирование); $0,5 < h_p < 1,0$ – положительное доминирование; $-0,5 < h_p < 0,5$ – промежуточное наследование; $-1 \leq h_p \leq -0,5$ – отрицательное доминирование; $h_p < -1$ – депрессия (отрицательное сверхдоминирование).

Для статистической обработки результатов исследования использовали метод дисперсионного анализа в соответствии с методикой Б.А. Доспехова⁵.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гибридизацию отечественных и иностранных сортов овса проводили в 2019 г., который характеризовался благоприятными погодными условиями на протяжении всего периода вегетации. В результате было получено 18 гибридных комбинаций (см. табл. 2). Процент удачи оказался достаточно высоким для овса и варьировал от 42 (Solidor × Талисман) до 68% (Отрада × Solidor).

Отмечено, что при использовании сорта Ensiler в качестве материнского растения при скрещивании с местными сортами за-

³Методические указания по изучению мировой коллекции ячменя и овса. СПб., 2012. 64 с.

⁴Beil G.M., Atkins R.E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum // Iowa State Journal Science. 1965. Vol. 39. N 6. P. 165–179.

⁵Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Табл. 2. Гибридные комбинации

Table 2. Hybrid combinations

Каталог скрещиваний	Гибридная комбинация (♀ × ♂)	Процент удаchi
1 × 4	Ensiler × Отрада	65
1 × 5	Ensiler × Талисман	68
1 × 6	Ensiler × Фома	61
2 × 4	Sang × Отрада	54
2 × 5	Sang × Талисман	51
2 × 6	Sang × Фома	60
3 × 4	Solidor × Отрада	45
3 × 5	Solidor × Талисман	42
3 × 6	Solidor × Фома	48
4 × 1	Отрада × Ensiler	57
4 × 2	Отрада × Sang	55
4 × 3	Отрада × Solidor	68
5 × 1	Талисман × Ensiler	56
5 × 2	Талисман × Sang	52
5 × 3	Талисман × Solidor	60
6 × 1	Фома × Ensiler	51
6 × 2	Фома × Sang	47
6 × 3	Фома × Solidor	50

вязываемость гибридных семян максимальная (61–68%), тогда как при использовании того же сорта в качестве отцовского результат был достоверно ниже и составлял 51–57% ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$). Минимальный процент удаchi (42–48%) зафиксирован в комбинациях, где в качестве материнского растения выступал сорт Solidor. Однако при использовании его в комбинациях с Талисманом и Отрадой в качестве отцовского растения завязываемость возрастала до 60 и 68% соответственно. В комбинации Фома × Solidor процент удаchi оставался низким.

Наиболее высокую завязываемость (55–68%) наблюдали в комбинациях, где в качестве материнских растений выступали местные сорта. При этом прослеживались сортовые особенности: Фома (♀) при опылении иностранными сортами имел меньшую завязываемость (47–51%), тогда как у Отра-

ды данный показатель варьировал от 55 до 68%. Причин снижения завязываемости гибридных зерен достаточно много. Прежде всего это неподходящие погодные условия: в период цветения овса в Сибири обычно бывает жаркая и сухая погода, что ведет к преждевременной стерилизации пыльцы. В нашем случае гибридизация проходила в короткие сроки, что нивелировало разность погоды. По мнению Г.Л. Петрова и Е.Ю. Петровой⁶, успех гибридизации овса также зависит от анатомических особенностей строения цветка.

Высота растений – важный фенотипический признак, который используют в селекции злаковых растений. Для овса указанный признак имеет большое значение, так как от него зависит устойчивость растений к полеганию [9]. При этом современные исследования показали прямую зависимость между короткостебельностью и зерновой продуктивностью [10]. Поэтому селекционерам приходится лавировать между устойчивостью к полеганию и урожайностью овса.

Средняя высота сортов местной селекции составила 77–80 см при достаточно высокой степени варьирования: Отрада – от 72 до 98 см, Талисман – от 75 до 85 см (см. рис. 1). Сорт Фома обладал минимальным разбросом значений высоты – от 74 до 80 см.

Иностранные сорта по высоте не имели существенных отличий от местных генотипов. Средние показатели были следующими: Ensiler – 82 см, Solidor – 85, Sang – 87 см. Однако диапазон варьирования высоты в опыте был достоверно меньше, составив ± 5% от средних значений.

Полученные популяции гибридов первого поколения (F1) характеризовались различной высотой относительно друг друга и родительских форм. Наиболее высокими являлись гибридные комбинации 6 × 3; 4 × 1; 4 × 3; 6 × 1; 3 × 6; 2 × 6; 5 × 3; 1 × 6, у которых наследование данного признака проходило по типу сверхдоминирования ($h_p > 1,0$). Высота таких гибридов варьировала от 88 (Отрада ×

⁶Петров Г.Л., Петрова Е.Ю. Изучение биологии цветения и методов опыления овса в условиях Северного Зауралья // Естественные и технические науки. 2017. № 2 (104). С. 13–14.

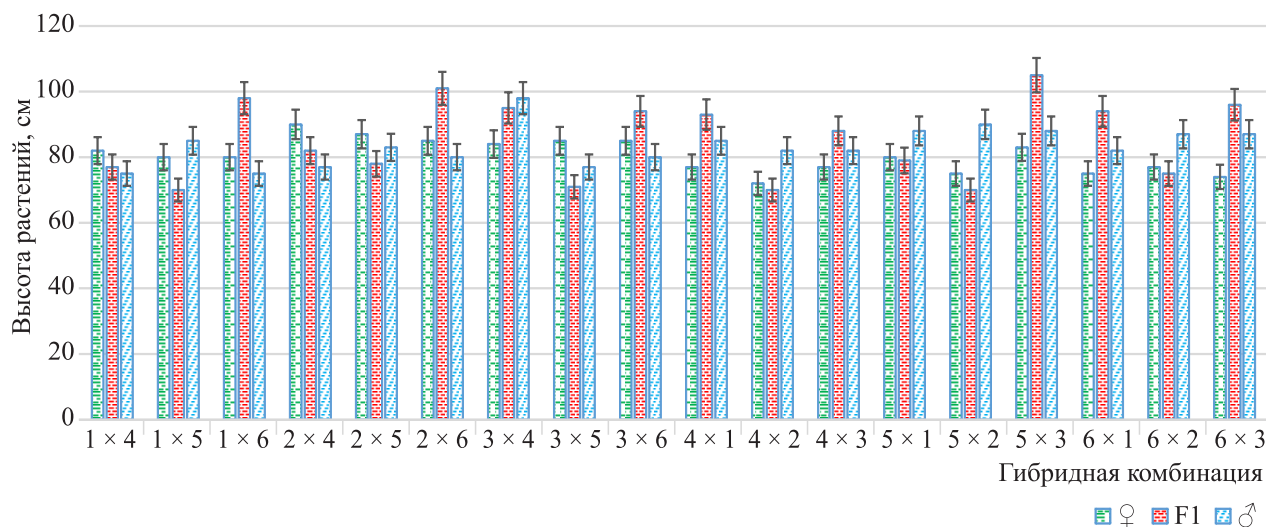


Рис. 1. Высота растений у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности
Fig. 1. Plant height of the parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

Solidor) до 105 см (Талисман × Solidor), при этом степень фенотипического доминирования составляла 3,4 и 7,8 ед. соответственно.

Депрессия, обусловленная эффектом отрицательного сверхдоминирования ($h_p < -1$), отмечена у F1 следующих гибридных комбинаций: 1×5 ; 2×5 ; 3×5 ; 5×2 ; 4×2 ; 6×2 ; 5×1 , что может свидетельствовать о проявлении гена короткостебельности. В результате скрещивания Ensiler × Талисман и Sang × Талисман отмечена максимальная степень депрессии: h_p был равен $-5,0$ и $-3,5$ ед. соответственно. Высота данных гибридов составила 70 и 78 см соответственно.

Гибриды, полученные при скрещивании местных сортов (♀) и сорта Sang (♂), сохраняли высоту на уровне материнских форм, что делает их перспективными для дальнейшего селекционного процесса в условиях Западной Сибири [11]. Аналогичный эффект отмечен у комбинаций 1×4 и 2×4 , где отцовской формой выступал сорт Отрада. Высота гибридов была равна 77 и 82 см. Степень фенотипического доминирования составила $-0,4$ и $-0,2$ ед., что соответствует промежуточному наследованию и делает перечисленные комбинации перспективными для селекционного процесса.

Длина метелки у сорта Талисман варьировала от 23 до 27 см (в среднем по опыту –

25 см), что является максимальным результатом среди изучаемых сортов местной селекции (см. рис. 2). Сорта Отрада и Фома характеризовались меньшей длиной метелки – от 17 до 20 см (в среднем по опыту – 19 см). Сорт Ensiler по фенотипическому признаку «длина метелки» приближался к Талисману: величина показателя составила 20–25 см, средняя длина по опыту – 22 см. Максимальная средняя длина метелки зафиксирована у сорта Sang – 25 см при варьировании от 23 до 27 см, что идентично значениям местного сорта Талисман. Solidor отличался существенным варьированием длины метелки – от 18 до 24 см, что нежелательно для современных сортов интенсивного типа. Средняя длина метелки была равна 21 см.

Гибриды первого поколения, полученные в ходе исследования, имели достаточно широкий диапазон длины метелки. Минимальная величина (16 см) зафиксирована у гибридов Solidor × Талисман, у которых проявлялся эффект отрицательного сверхдоминирования. Аналогичное проявление депрессии ($h_p < -1$) отмечено у гибридных комбинаций 3×5 ; 5×1 ; 5×2 ; 5×3 ; 6×3 . Также были выделены гибриды с гетерозисным эффектом ($h_p > 1$), чья метелка достоверно превышала длину метелки у родительских сортов ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$). К ним относятся комбинации

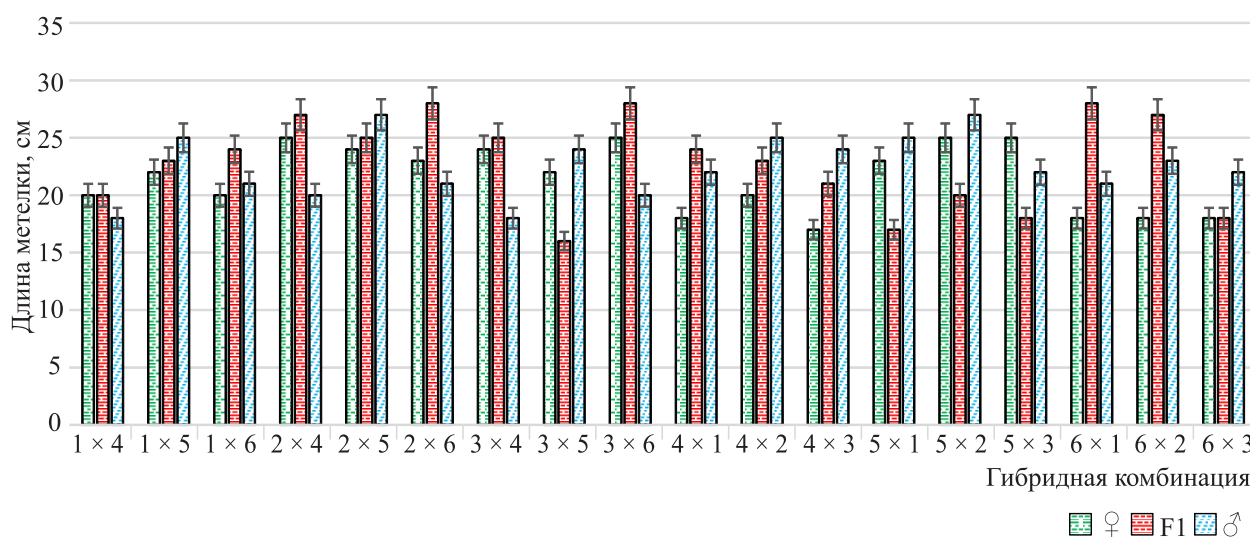


Рис. 2. Длина метелки у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности
Fig. 2. Panicle length of the parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

1 × 4; 3 × 4; 2 × 4; 4 × 1; 3 × 6; 6 × 2; 6 × 1; 2 × 6; 1 × 6. Наибольший эффект фенотипического сверхдоминирования наблюдали у гибридных комбинаций, где в качестве одного из родителей выступал сорт Фома – 6 × 1; 2 × 6 и 1 × 6. Длина метелки у них составила 24–28 см.

Промежуточное наследование длины метелки выявлено у гибридов, полученных в результате скрещивания Ensiler × Талисман, Sang × Талисман, Отрада × Solidor, Отрада × Sang. Длина метелки у таких гибридов варьировала от 21 до 25 см, что соответствовало сорту Талисман.

М.Н. Фомина с соавт. [11] доказали, что с урожайностью овса тесно коррелирует показатель «озерненность главной метелки». Поэтому при создании новых сортов для Западной Сибири селекционеры уделяют этому признаку большое внимание [12].

Средняя озерненность метелки Талисмана в опыте составила 33 шт. при варьировании в диапазоне 28–38 шт. Современный сорт Отрада характеризовался более высокими значениями: количество зерен в главной метелке доходило до 35–42 шт. при среднем значении 39 шт. Максимальная озерненность метелки среди местных сортов зафиксирована у Фомы – 43 шт. при разбросе значений от 38 до 47 шт., что достоверно выше Отрады ($HCP_{05} = 3$ шт.).

Сорта иностранной селекции в условиях лесостепи Зауралья не имели преимуществ перед местными генотипами по озерненности метелки. Минимальное количество зерна отмечено у Ensiler и Sang – 34 и 32 шт. соответственно. Данные сорта также выделяются большим размахом по количеству зерна в метелке – 8 и 12 шт. соответственно. Сорт Solidor по озерненности находился на уровне Отрады как по среднему значению, так и по диапазону варьирования.

По признаку «озерненность главной метелки» более чем у половины гибридов наблюдали сверхдоминирование ($h_p > 1$). Максимальная степень фенотипического доминирования отмечена у комбинаций 2 × 6; 3 × 4 и 6 × 3 (см. рис. 3). Количество зерен в главной метелке у данных гибридов варьировало от 44 до 57 шт. Наиболее интересной оказалась гибридная популяция, полученная при скрещивании Ensiler и Фомы, так как в ней удалось сохранить количество зерна в метелке на уровне местного сорта. Степень фенотипического доминирования была равна 1,0 ед.

Гибриды первого поколения комбинаций 5 × 1; 3 × 5; 2 × 5; 5 × 3 и 4 × 3 характеризовались отрицательным сверхдоминированием ($h_p < 1,0$). Максимальный эффект генетической депрессии зафиксирован у гибридов Талисман × Ensiler, Solidor × Талисман, Sang ×

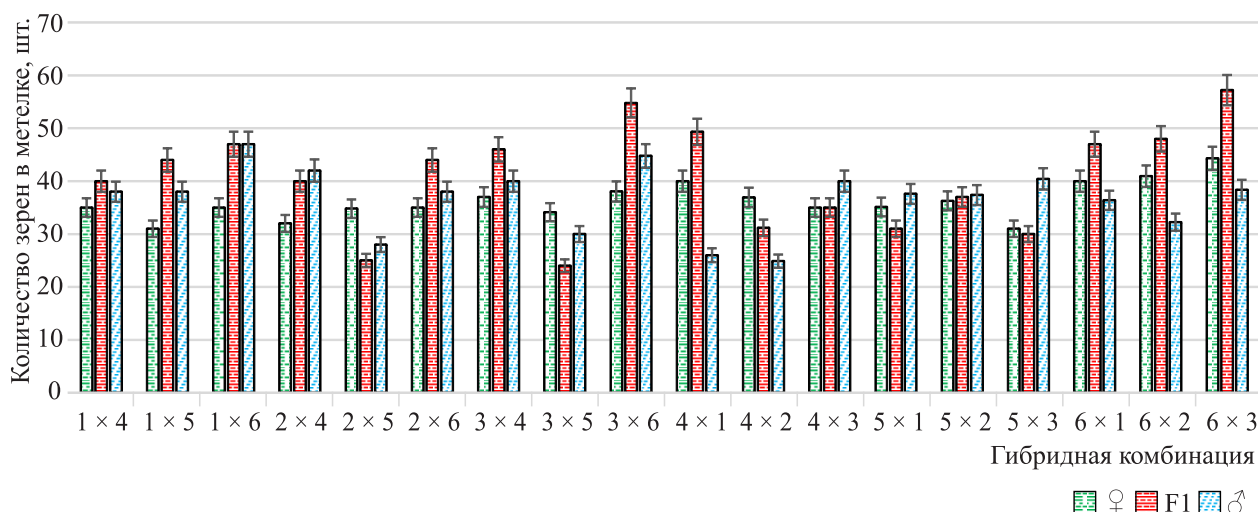


Рис. 3. Озерненность главной метелки у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности

Fig. 3. Grain content of the main panicle of parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

Талисман: h_p составил $-4,31$ и $-3,91$ ед. Необходимо отметить комбинацию 4×3 , где в качестве родительских форм были взяты Отрада и Solidor: в данном случае количество зерна в метелке оставалось на уровне местного сорта.

Гибриды первого поколения, полученные от скрещивания Отрады и иностранного сорта Sang (4×2 ; 2×4), характеризовались положительным доминированием ($0,5 < h_p < 1,0$) и промежуточным наследованием признака ($-0,5 < h_p < 0,5$), что позволяет включить их в селекционный процесс со второго поколения [13].

Аналогично проявила себя комбинация 5×2 , где в качестве материнской формы был взят сорт Талисман. Гибриды, полученные при таком скрещивании, обладали той же озерненностью, что и родительские формы.

Масса зерна с метелки – показатель, напрямую коррелирующий с продуктивностью. Поэтому его всегда учитывают при разработке модели сортов зерновых и зернобобовых культур [14, 15]. Среди изучаемых сортов овса минимальная масса зерна с метелки была у Талисмана (1,0 г) при достаточно хорошей выравненности значений (см. рис. 4).

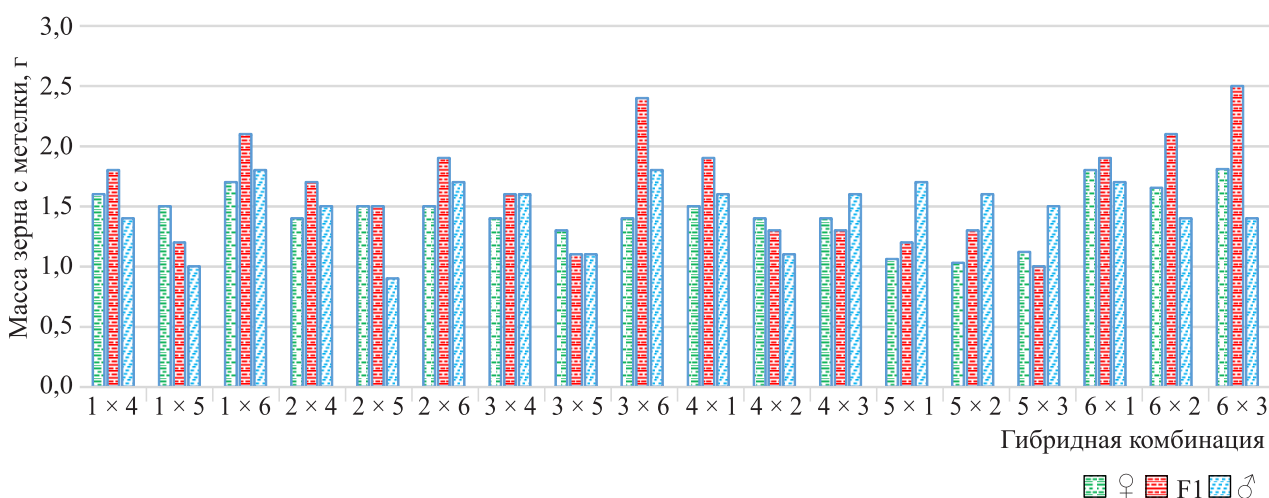


Рис. 4. Средняя масса зерна с метелки у родительских форм и гибридов первого поколения

Fig. 4. Average grain weight per panicle in parental forms and hybrids of the first generation

Разница между минимумом и максимумом составила 0,2 г. Отрада и Фома характеризовались более высокими значениями – 1,5 и 1,8 г соответственно ($НСР_{05} = 0,2$). Средние показатели массы зерна в метелке у иностранных сортов варьировали незначительно – от 1,4 (Sang) до 1,6 г (Ensiler). Они же отличались большим разбросом значений – размах вариации составил 0,5 г.

Наследование признака «масса зерна с главной метелки» у 11 из 18 гибридных популяций F1 проходило по типу сверхдоминирования – h_p варьировал от 1,0 (2×5 ; 3×4) до 7,0 (1×6). Необходимо отметить, что истинный гетерозис проявлялся при скрещивании любого иностранного сорта с Фомой: степень фенотипического доминирования варьировала от 3,0 до 7,0 ед.

Кроме того, были выделены три гибридные комбинации (4×3 ; 5×3 ; 3×5) с эффектом отрицательного доминирования, у которых h_p находился в диапазоне от –1,00 до –2,12 ед. В этих комбинациях в качестве одной из родительских форм использовали сорт Solidor. Также отрицательное доминирование проявилось у гибридов из комбинаций 5×1 ; 1×5 и 5×2 , в которых в качестве

одной из родительских форм выступал местный сорт Талисман.

В селекции овса актуально использование генотипов с крупным зерном. По данным ряда ученых⁷ [16, 17], размеры зерна и его геометрическая характеристика на 70–75% зависят от генотипа. Масса 1000 зерен определяет не только кормовое достоинство сорта, но и его пищевую ценность для человека. К тому же выращивание крупнозерных сортов овса значительно уменьшает потери урожая при уборке и сортировке [18]. В условиях рискованного земледелия посев овса с массой 1000 зерен более 35 г обеспечивает дружные и равномерные всходы, что позволяет снизить негативное влияние абиотических факторов [19, 20]. Особенно это актуально для Уральского федерального округа, где площади овса постепенно увеличиваются.

Используемый в опыте сорт Талисман характеризовался низкой массой 1000 зерен (см. рис. 5). В среднем по опыту данный показатель составил 29,1 г при варьировании от 27,3 до 30,4 г. Талисман по массе 1000 зерен показал себя как достаточно выравненный сорт, тогда как Отрада, несмотря на большую массу (35,3 г), имела достаточно широкий диапазон между минимумом и максимумом.

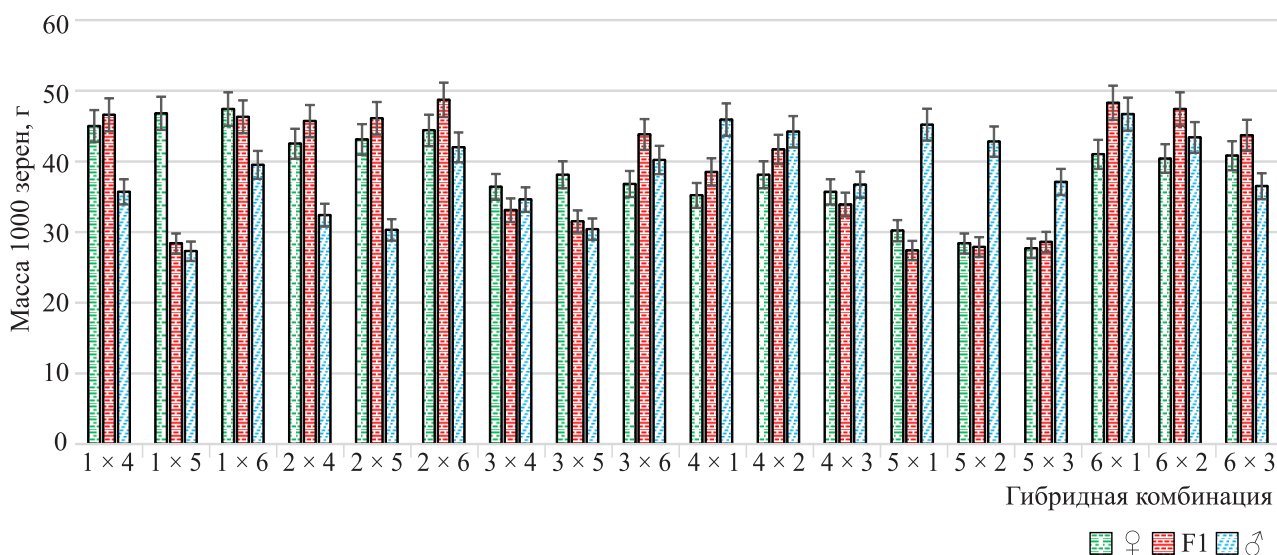


Рис. 5. Масса 1000 зерен у родительских сортов и гибридов первого поколения при 5%-й погрешности
Fig. 5. Thousand kernel weight of the parent varieties and hybrids of the first generation of oats at a 5% error limit

⁷Иванова Ю.С., Фомина М.Н., Лоскутов И.Г. Исходный материал для создания высокобелковых сортов овса в зоне Северного Зауралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178. № 2. С. 38–47.

Среди местных сортов Фома был самым крупнозерным – средняя масса 1000 зерен составила 40,7 г при незначительном варьировании (39,5–42,0 г). Столь выдающиеся показатели характеризуют Фому как сорт интенсивного типа.

Зерно иностранных сортов было крупнее, чем у местных генотипов. В условиях лесостепи Зауралья у сорта Solidor масса 1000 зерен была равна в среднем 36,9 г при варьировании от 36,9 до 38,1 г. Sang и Ensiler относятся к крупнозерным сортам овса: в их случае масса 1000 зерен в среднем составила 43,4 и 46,2 г. Выявленная вариабельность значений считается низкой, поэтому эти сорта можно отнести к интенсивному типу.

Гибриды первого поколения, имевшие явные признаки гетерозиса и высокую степень фенотипического доминирования ($h_p > 1,0$), отличались очень большой массой 1000 зерен – от 43,7 (6 × 3; 3 × 6) до 48,7 г (6 × 2; 2 × 6). В данных гибридных комбинациях участвовал местный сорт Фома и два иностранных сорта – Sang и Solidor.

В ходе гибридизации были получены популяции (4 × 3; 3 × 4; 5 × 1; 5 × 2), в кото-

рых проявляется эффект отрицательного сверхдоминирования ($h_p < -1$). У них масса 1000 зерен изначально была ниже значений родительских форм – от 27,4 до 33,9 г. Максимальная депрессия отмечена у потомства сортов Отрада и Solidor. В ходе гибридизации Отрады (♀) с сортами Solidor и Sang (♂) получены гибриды с промежуточным наследованием, вызванным аддитивным эффектом генов: h_p составил –0,4 и 0,18 ед. соответственно. Гибридные комбинации 1 × 5; 5 × 3; 3 × 5 характеризовались отрицательным доминированием – масса 1000 зерен гибридов первого поколения была близка к отцовским родительским формам (Талисман и Solidor).

Проведенные исследования показали, что наиболее ценными комбинациями в селекции овса являются те, у которых у гибридов первого поколения доминируют признаки, связанные с продуктивностью и высотой растений.

Согласно корреляционному анализу степени фенотипического доминирования, основные показатели продуктивности овса (масса 1000 зерен, озерненность, масса зерна в метелке) не имеют тесной зависимости от высоты растений – $r = 0,19...0,33$ (см. табл. 3).

Табл. 3. Степень фенотипического доминирования по некоторым показателям продуктивности у гибридов овса первого поколения

Table 3. The degree of phenotypic dominance for some indicators of productivity in the hybrids of the first-generation oats

Каталог скрещиваний	Гибридная комбинация	Высота растений, см	Длина метелки, см	Количество зерен в метелке, шт.	Масса зерна с метелки, г	Масса 1000 зерен, г
1 × 6	Ensiler × Отрада	–0,4	1,0	2,3	3,0	11,0
1 × 5	Ensiler × Талисман	–5,0	–0,3	2,7	–0,2	–0,3
1 × 4	Ensiler × Фома	8,2	7,0	1,0	7,0	8,8
2 × 4	Sang × Отрада	–0,2	1,8	0,6	5,0	2,0
2 × 5	Sang × Талисман	–3,5	–0,3	–1,9	1,0	–10,3
2 × 6	Sang × Фома	7,4	6,0	5,0	3,0	11,7
3 × 4	Solidor × Отрада	0,6	1,3	5,0	1,0	2,5
3 × 5	Solidor × Талисман	–2,5	–7,0	–3,9	–1,0	–8,7
3 × 6	Solidor × Фома	4,6	2,2	4,0	4,0	2,9
4 × 1	Отрада × Ensiler	3,0	2,0	2,3	6,1	3,7
4 × 2	Отрада × Sang	–1,4	0,2	0,0	0,3	–0,4
4 × 3	Отрада × Solidor	3,4	0,1	–1,0	–2,1	1,9
5 × 1	Талисман × Ensiler	–1,3	–7,0	–4,3	–0,6	–3,0
5 × 2	Талисман × Sang	–1,7	–6,0	0,3	–0,1	–4,6
5 × 3	Талисман × Solidor	7,8	–3,7	–1,2	–1,6	–0,1
6 × 1	Фома × Ensiler	4,4	5,7	4,9	3,0	2,1
6 × 2	Фома × Sang	–1,4	2,6	2,6	4,5	8,2
6 × 3	Фома × Solidor	2,4	–1,0	5,3	4,4	3,7

Поэтому отбор гибридологического материала можно вести по элементам продуктивности с учетом их потенциальной короткостебельности. По комплексу свойств были выделены гибриды первого поколения, полученные путем скрещивания иностранных и местных сортов овса. Перспективными для селекционного процесса оказались: Ensiler × Отрада (1 × 6), Sang × Отрада (2 × 4), Фома × Sang (6 × 2). Данные гибридные комбинации обладали меньшей высотой по сравнению с родительскими формами и преимущественно гетерозисным эффектом по элементам продуктивности. Гибридные популяции от скрещиваний Solidor × Фома (3 × 6), Фома × Ensiler (6 × 1), Фома × Solidor (6 × 3), Solidor × Фома (3 × 6) и Sang × Фома (2 × 6) были достоверно выше родительских форм, но также характеризовались положительным сверхдоминированием элементов структуры урожая, что делает их перспективными для селекции в условиях лесостепи Зауралья.

Остальные гибриды первого поколения, полученные в ходе исследования, можно рассматривать как источники отдельных хозяйственно ценных признаков. Наименее ценными оказались гибриды, полученные путем скрещивания Отрады (♀) с сортом Solidor (♂), а также Талисмана со всеми иностранными сортами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что используемые в исследовании иностранные и местные сорта достаточно хорошо скрещиваются и дают жизнеспособные семена. Процент удаchi по опыту в целом составил 45–65%. Наиболее удачные скрещивания происходят при использовании сортов Ensiler и Отрада в качестве материнской формы – 65 и 60% соответственно. Минимальный процент удаchi отмечен, когда в качестве материнского сорта применяли Solidor и Фому – 45 и 49% соответственно. В результате были выделены наиболее перспективные для дальнейшей селекционной работы гибридные комбинации: Ensiler × Отрада, Sang × Отрада, Фома × Sang, в которых отбор высокопродуктивных геноти-

пов можно проводить со второго поколения. Степень фенотипического доминирования данных гибридов варьировала в диапазоне от 3,0 до 5,0, что соответствует положительному сверхдоминированию. Количество зерна с главной метелки составило 40–48 шт. при массе 1000 зерен 45,7–47,4 г. В комбинациях Ensiler × Фома, Фома × Ensiler, Solidor × Фома, Sang × Фома отбор будет эффективнее в более поздних поколениях. Полученные гибриды характеризовались ярко выраженным гетерозисным эффектом лишь по отдельным элементам структуры урожая. Масса зерна с главной метелки у данных гибридов варьировала от 1,9 до 2,4 г, озерненность – от 44 до 55 шт. Скрещивание Талисмана с иностранными сортами (Ensiler, Sang, Solidor) не является перспективным, так как полученные при этом гибриды F1 не обладают эффектом улучшения хозяйственно ценных свойств в первом поколении. В гибридных комбинациях, где в качестве одной из родительских форм выступал сорт Талисман, отмечалось отрицательное сверхдоминирование по основным показателям продуктивности: количество зерен, масса зерна с растения, масса 1000 зерен. Остальные гибридные комбинации овса можно использовать только в селекции по отдельным признакам и свойствам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Canega B.A., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность и адаптивность сортов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Северного Зауралья // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (64). С. 67–75. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.
2. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского плато // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2022. Т. 15. № 4. С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399.
3. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Гумусовое состояние темно-серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. № 10 (187). С. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.

4. Ахадова Э.Т., Баташева Б.А., Блинова Е.В., Лоскутов И.Г. Каталог мировой коллекции ВИР. СПб., 2019. Вып. 897: Овес: агробиотехнологическая характеристика образцов в условиях Дагестанского филиала ВИР. 36 с. DOI: 10.30901/978-5-907145-27-6.
5. Любимова А.В., Еремин Д.И., Мамаева В.С., Брагин Н.А., Белоусов С.А., Брагина М.В., Кочнева Д.А., Таутекенова А.К. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (182). С. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
6. Любимова А.В., Иваненко А.С. Овес в Тюменской области: монография. Тюмень, 2021. 172 с.
7. Наумов И.В., Полковская М.Н. Анализ сортоиспытаний ярового овса в Иркутской области // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 102. С. 35–44. DOI: 10.51215/1999-765-2021-102-35-44.
8. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Влияние систем обработки на агрофизические параметры темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье // Земледелие. 2023. № 1. С. 27–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.
9. Моисеева М.Н., Еремин Д.И. Проблема полегания и урожайности овса при различном уровне минерального питания в лесостепи Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 46–50.
10. Loskutov I.G. Advances in cereal crops breeding // Plants. 2021. Vol. 10. N 8. P. 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
11. Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагин Н.А., Брагина М.В. Качество зерна перспективных линий овса на заключительном этапе селекционного процесса в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 3. С. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_34.
12. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В., Зюте С.А. Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 1. С. 57–75. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
13. Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I., Loskutov I.G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. N 2. P. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
14. Таутекенова А.К., Мамаева В.С., Еремин Д.И. Модель сорта как основа маркерной селекции овса посевного для Западной Сибири (аналитический обзор) // Эпоха науки. 2022. № 31. С. 188–194. DOI: 10.24412/2409-3203-2022-31-188-194.
15. Казак А.А., Логинов Ю.П. Научные основы разработки модели сорта яровой мягкой пшеницы для Западной Сибири // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (31). С. 9–12.
16. Еремин Д.И., Любимова А.В., Таутекенова А.К., Кочнева Д.А. Элементы продуктивности и характер их наследования гибридами F1 овса ярового (*Avena sativa* L.) в Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 7. С. 25–30. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_25.
17. Иванова Ю.С., Фомина М.Н., Пай О.А. Морфологические особенности и геометрическая характеристика зерна голозерных образцов овса // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2019. Т. 37. Спецвыпуск. С. 29.
18. Тулякова М.В., Баталова Г.А., Пермякова С.В. Адаптивный потенциал генофонда овса пленчатого по массе 1000 зерен // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5 (77). С. 3–8. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-3-8.
19. Снигирева О.М., Ведерников Ю.Е. Влияние сроков сева и уборки на урожайность и посевные качества семян ярового овса Сапсан // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 3. С. 230–237. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.3.230-237.
20. Еремин Д.И., Моисеева М.Н., Любимова А.В. Генетические и агротехнологические особенности формирования посевных качеств овса при различном уровне минерального питания // Аграрный вестник Урала. 2022. № 8 (223). С. 27–38. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-27-38.

REFERENCES

1. Sapaga V.A., Tursumbekova G.Sh. Yield and adaptability of spring wheat varieties of different maturity groups under forest-steppe conditions of the Northern Trans-Urals.

- Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU*, 2022, no. 3 (64), pp. 67–75. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.
2. Kayugina S.M., Eremin D.I. Physicochemical properties of gray forest soils on the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya = Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 471–490. (In Russian). DOI: 10.17516/1997-1389-0399.
3. Kayugina S.M., Eremin D.I. Dark gray forest soils humus state of the Northern Trans-Urals. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KrasSAU*, 2022, no. 10 (187), pp. 35–42. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.
4. Akhadova E.T., Batasheva B.A., Blinova E.V., Loskutov I.G. *Catalogue of the VIR global collection*. St. Petersburg, 2019, Is. 897: Oats: agrobiological characteristics of accessions for the environments of the Dagestan branch of VIR, 36 p. (In Russian). DOI: 10.30901/978-5-907145-27-6.
5. Lyubimova A.V., Eremin D.I., Mamaeva V.S., Bragin N.A., Belousov S.A., Bragina M.V., Kochneva D.A., Tautekenova A.K. Siberian oat varieties' biochemical passports catalog. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KrasSAU*, 2022, no. 5 (182), pp. 73–83. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
6. Lyubimova A.V., Ivanenko A.S. *Oats in the Tyumen region*. Tyumen, 2021, 172 p. (In Russian).
7. Naumov I.V., Polkovskaya M.N. Analysis of variety testing of spring oats in the Irkutsk region. *Vestnik IrGSKhA = Vestnik IrGSHA*, 2021, no. 102, pp. 35–44. (In Russian). DOI: 10.51215/1999-765-2021-102-35-44.
8. Perfil'ev N.V., V'yushina O.A. Influence of tillage systems on agrophysical parameters of dark grey forest soil in the Northern Trans-Urals. *Zemledelie = Zemledelie*, 2023, no. 1, pp. 27–31. (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.
9. Moiseeva M.N., Eremin D.I. The problem of lodging and productivity of oats at different levels of mineral nutrition in the forest-steppe of the Trans-Urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2022, no. 4 (96), pp. 46–50. (In Russian).
10. Loskutov I.G. Advances in cereal crops breeding. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 8, P. 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
11. Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragin N.A., Bragina M.V. Grain quality of promising oat lines at the final stage of the breeding process in the conditions of the northern Trans-Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2023, vol. 37, no. 3, pp. 34–38. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_34.
12. Polonskiy V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V., Zute S.A. Adaptive potential of oat accessions in the context of their chemical and physical grain characteristics. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2022, vol. 183, no. 1, pp. 57–75. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-57-75.
13. Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I., Loskutov I.G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
14. Tautekenova A.K., Mamaeva V.S., Eremin D.I. The model of the variety as the basis of marker selection of oats for Western Siberia (analytical review). *Epokha nauki = Era of Science*, 2022, no. 31, pp. 188–194. (In Russian). DOI: 10.24412/2409-3203-2022-31-188-194.
15. Kazak A.A., Loginov Yu.P. Scientific areas of spring soft wheat for Western Siberia. *Vestnik Kurganskoi GSKhA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, 2019, no. 3 (31), pp. 9–12. (In Russian).
16. Eremin D.I., Lyubimova A.V., Tautekenova A.K., Kochneva D.A. Elements of productivity and the nature of their inheritance by F1 hybrids of spring oat (*Avena sativa* L.) in Western Siberia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2022, vol. 36, no. 7, pp. 25–30. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_25.
17. Ivanova Yu.S., Fomina M.N., Pai O.A. Morphological features and geometric characteristics of grain of naked oat samples. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya = Molecular genetics, microbiology and virology*, 2019, vol. 37, special edition, p. 29. (In Russian).

18. Tulyakova M.V., Batalova G.A., Permyakova S.V. Adaptive potential of the hulled oats gene pool according to 1000-grain weight. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2021, no. 5 (77), pp. 3–8. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-3-8.
19. Snigireva O.M., Vedernikov Yu.E. Influence of sowing and harvesting time on productivity and sowing qualities of spring oat Sapsan seeds. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 230–237. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.3.230-237.
20. Eremin D.I., Moiseeva M.N., Lyubimova A.V. Genetic and agrotechnological features of the formation of sowing qualities of oats at different levels of mineral nutrition. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2022, no. 8 (223), pp. 27–38. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-27-38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Любимова А.В.**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 625501, Тюменская область, п. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Ерёмина Д.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

AUTHOR INFORMATION

✉ **Anna V. Lyubimova**, Candidate of Science in Biology, Laboratory Head; **address:** 2, Burlaki St., Moskovsky, Tyumen Region, 625501, Russia; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

Diana V. Eremina, Candidate of Science in Agriculture, Associate Professor

Дата поступления статьи / Received by the editors 08.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.09.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-5>

УДК: 633.853.52:632.7:632.951:632.937

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ СОИ ОТ ФИТОФАГОВ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

✉ Коваленко Т.К.¹, Гришечкина С.Д.², Кочева Н.С.³

¹Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений – филиал Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки Приморский край, с. Камень-Рыболов, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

³Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки Приморский край, Уссурийск, Россия

✉ e-mail: tatyana_kovalenko55@mail.ru

Изучена эффективность предпосевной обработки семян сои и применения биорациональных инсектицидов в снижении численности основных вредителей сои в условиях Приморского края. Представлены результаты использования инсектицидов и биопрепаратов для регуляции численности доминантных вредителей сои. Исследования проведены в 2020 и 2021 гг. В полевых экспериментах изучена эффективность инсектицидных протравителей Имидор Про, КС (2,0 л/т) и Табу, ВСК (1,0 л/т), биоинсектицидов Фитоверм, КЭ (0,16 л/га), Проклэйм, ВРГ (0,3 кг/га), Бацикол, Ж (15 л/га), Биослип БВ, Ж (2 л/га), Биослип БТ, П (2 кг/га) против листоеда соевого полосатого (*Medythia nigrobilineatus* Motsch.) и плодожорки соевой (*Leguminivora glycinivorella* Mats.). Предпосевная обработка семян инсектицидами Имидор Про и Табу снижала поврежденность растений сои в фазу всходов жуками *Medythia nigrobilineatus* по сравнению с контролем на 94,0–98,2%. Протравливание семян препаратами на основе имидаклоприда обеспечивало эффективную защиту посевов культуры против вредителя в фазы всходы – ветвление. Высокую биологическую эффективность (71,1–98,8%) на 5–10-е сутки после обработки против листоеда соевого полосатого показали биорациональные инсектициды на основе аверсектина С и *Bacillus thuringiensis*. Поврежденность семян сои при использовании биоинсектицидов против *Leguminivora glycinivorella* составила 1,9–3,0% в сравнении с 5,6% в контроле. Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности применения препаратов биологического происхождения для контроля численности доминантных вредителей в посевах сои.

Ключевые слова: соя, насекомые-фитофаги, инсектициды, биорациональные инсектициды, биологическая эффективность

PROTECTION OF SOYBEAN PLANTS FROM PHYTOPHAGES UNDER CONDITIONS OF THE PRIMORSKY TERRITORY

✉ Kovalenko T.K.¹, Grishechkina S.D.², Kocheva N.S.³

¹The Far Eastern Research Institute of Plant Protection – Branch of Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki Kamen-Rybolov, Primorsky Territory, Russia

²All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology St. Petersburg, Russia

³Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki Timiryazevsky stl., Ussuryisk, Primorsky Territory, Russia

✉ e-mail: tatyana_kovalenko55@mail.ru

The effectiveness of pre-sowing treatment of soybean seeds and application of biorational insecticides in reducing the number of major pests of soybean in the conditions of the Primorsky Territory have been studied. The results of using insecticides and biopreparations to regulate the number

of dominant pests of soybean have been presented. The studies were conducted in 2020 and 2021. The efficiency of insecticidal protectants Imidor Pro, SC (2 l/t) and Tabu, WSC (1.0 l/t), bioinsecticides Fitoverm, EC (0, 16 l/ha), Proclaim, WSG (0.3 kg/ha), Batsikol, L (15 l/ha), Biosleep BW, L (2 l/ha), Biosleep BT, P (2 kg/ha) against two-striped leaf beetle (*Medythia nigrobilineatus* Motsch.) and soybean pod borer (*Leguminivora glycinivorella* Mats.) were studied. Pre-sowing seed treatment with insecticides Imidor Pro and Tabu reduced damage of soybean plants in the sprouting phase by *Medythia nigrobilineatus* beetles compared to the control by 94.0–98.2%. Seed dressing with imidacloprid-based preparations provided effective protection of crops against the pest in the sprouting – branching phase. Biorational insecticides based on avermectin C and *Bacillus thuringiensis* showed high biological efficacy (71.1–98.8%) on the 5–10th day after treatment against the two-striped leaf beetle. Soybean seed damage when bioinsecticides were used against *Leguminivora glycinivorella* was 1.9–3.0% compared to 5.6% in the control. The conducted studies testify to the prospect of using the preparations of biological origin to control the number of dominant pests in soybean crops.

Keywords: soybean, phytophagous insects, insecticides, biorational insecticides, biological effectiveness

Для цитирования: Коваленко Т.К., Гришечкина С.Д., Кочева Н.С. Защита растений сои от фитофагов в условиях Приморского края // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 46–52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-5>

For citation: Kovalenko T.K., Grishechkina S.D., Kocheva N.S. Protection of soybean plants from phytophages under conditions of the Primorsky Territory. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 46–52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-5>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Соя (*Glycine max* (L.) Merrill) – доминирующая сельскохозяйственная культура в Приморском крае. Посевные площади в регионе постепенно увеличиваются: в 2021 г. они составили 277 тыс. га, в 2022 г. – 345 тыс. га.

Основными факторами, ограничивающими рост урожайности этой культуры, являются вредные организмы: фитофаги различных семейств, фитопатогены грибной, бактериальной и вирусной природы, сорные растения. Фауна вредителей сои в крае представлена многоядными видами. К ним относятся луговой мотылек, совки, соевая желтушка, тли, клопы, листоед соевый многоядный. К числу доминирующих и наиболее распространенных относятся специализированные вредители культуры: листоед соевый полосатый (*Medythia nigrobilineatus* Motsch. (= *Paraluperodes suturalis nigrobilineatus* Motsch.)), плодоярка соевая (*Leguminivo-*

ra glycinivorella Mats.)¹. В других регионах России и за рубежом среди вредителей сои доминируют хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hbn.), огневка акациевая (*Etiella zinckenella* Tr.), клоп-щитник (*Nezara viridula* L.) [1–3].

Листоед соевый полосатый причиняет значительный вред всходам культуры. Вредят личинки и жуки. Жуки выгрызают ямки на семядолях с нижней стороны, иногда повреждают молодые стебельки. Вредоносность фитофага возрастает в сухую теплую погоду. Повреждения, причиняемые вредителем в эту фазу, могут привести к гибели растений. Личинки обитают в почве, внедряются в клубеньки и питаются их содержимым. Повреждение клубеньков сокращает обогащение почвы азотом, что снижает роль сои как предшественника в севообороте. Вред, наносимый посевам сои плодояркой соевой, заключается не только в потерях урожая, но и в снижении качества семян. Внутри бобов

¹Мащенко Н.В. Наиболее распространенные вредители сои в Приамурье и меры борьбы с ними: метод. пособие. Благовещенск: Изд-во ПКИ «Зезя», 2012. 32 с.

гусеницы выедают семена, повреждение рубчика и зародыша часто ведет к полной потере всхожести [4].

Повышение продуктивности сои и улучшение качества урожая зависит от эффективности защиты культуры от вредных организмов, поэтому проблема защиты сои от вредителей остается актуальной. Большинство защитных мероприятий, проводимых в отношении посевов сои, основывается на химических средствах, ассортимент которых постоянно совершенствуется, увеличивается доля комбинированных препаратов [5–7]. Предпосевная обработка семян – наиболее экологически безопасный и эффективный способ применения пестицидов для регулирования численности и снижения вредоносности фитофагов на ранних этапах развития растений [8–10]. Использование биологических средств защиты – один из путей снижения пестицидной нагрузки на агроценоз. Результаты проведенных исследований в нашей стране и за рубежом свидетельствуют о перспективности использования биоинсектицидов на основе актиномицетов, *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana* против вредителей в посевах сои [1, 8, 11–12].

Для включения препаратов биологического происхождения в систему защиты растений сои необходимо проводить исследования по оценке их эффективности в конкретных агроклиматических условиях.

Цель исследования – изучить эффективность предпосевной обработки семян сои и применения биорациональных инсектицидов в снижении численности основных вредителей сои в условиях Приморского края.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования по защите посевов сои от основных фитофагов проводили на базе Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Объекты исследования – *Medythia nigrobilineatus*

Motsch. (Coleoptera: Chrysomelidae), *Leguminivora glycinivorella* Mats. (Lepidoptera: Tortricidae). Изучали влияние предпосевной обработки семян сои препаратами Имидор Про, КС (имидаклоприд, 200 г/л; АО «Щелково Агрохим») и Табу, ВСК (имидаклоприд, 500 г/л; АО «Август») в нормах расхода 2,0 и 1,0 л/т на фитосанитарное состояние посевов сои. По вегетации растения обрабатывали в I декаде июня в фазе полных всходов и в I декаде августа в фазах цветения – образование бобов. Изучали следующие средства защиты посевов сои от фитофагов: Бацикол, Ж (*Bacillus thuringiensis*, ФГБНУ ВНИИСХМ), Биослип БВ, Ж (*Beauveria bassiana*, ООО «Органик парк»), Биослип БТ, П (*Bacillus thuringiensis*, ООО «Органик парк»), Фитоверм, КЭ (аверсектин С, 50 г/л, ООО НБЦ «Фармбио-метсервис»), Проклэйм, ВРГ (амафектин бензоат, 50 г/кг, ООО «Сингента»), БиоКилл, КЭ (абамектин, 10 г/л, ООО «Ваше хозяйство»).

Эффективность биоинсектицидов изучали в сравнении с применением инсектицида Эсперо, КС (имидаклоприд, 200 г/л + альфа-циперметрин, 120 г/л; АО «Щелково Агрохим»). В опыте использовали сорт сои Приморская 86. Посев проводили в III декаде мая 2020, 2021 гг. Предшественник – зерновые культуры, повторность четырехкратная, площадь делянки 10,8 м². Норма расхода рабочей жидкости при обработке семян 10 л/т, при опрыскивании вегетирующих растений 400 л/га. Учеты численности листоеда соевого полосатого и поврежденность бобов плодовой жоркой соевой осуществляли в соответствии с методическими указаниями². Расчет биологической эффективности проводили по формуле Аббота (см. сноску 2). Урожай убирали вручную в конце I декады октября. Биологическую урожайность семян сои (г/м²) определяли в четырех пробах с площади 0,25 м² в каждой повторности всех вариантов опыта и пересчитывали на 1 га. Статистическая обработка данных проведена по Б.А. Доспехову³.

²Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко. СПб.: ВИЗР, 2009. 321 с.

³Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 336 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заселение посевов сои листоедом соевым полосатым в 2020, 2021 гг. отмечено в начале I декады июня. Проведенные учеты показали, что обработка семян сои препаратами Табу и Имидор Про способствовала снижению поврежденности всходов вредителем по сравнению с контролем на 94,0 и 98,2% соответственно (см. табл. 1).

Высокий температурный режим и периодически выпадавшие осадки во II декаде июня в годы исследований способствовали активности и вредоносности фитофага.

Степень поврежденности листьев растений сои в контроле составила 1,7 балла, в то время в вариантах при обработке семян этот показатель был достоверно ниже на 1,4 балла. Биологическая эффективность инсектицидов против вредителя составила 81,0–83,7%. В 2020 г. прошедшие сильные дожди в конце III декады июня сдерживали активность фи-

тофага в посевах сои, а жаркая сухая погода в 2021 г. была благоприятной для развития листоеда. Эффективность инсектицидов на 14–21-е сутки в среднем находилась на уровне 73,2–76,0%. Существенных различий между вариантами не отмечено.

Проведенные учеты по поврежденности растений сои листоедом соевым полосатым показали, что протравливание семян препаратами на основе имидаклоприда обеспечивает эффективную защиту посевов культуры против вредителя в фазы всходы – ветвление.

При обработке вегетирующих растений сои в фазу полных всходов биоинсектициды Бацикол и Фитоверм на 5-е сутки после обработки проявили эффективность против *M. nigrobilineatus* на уровне химического препарата Эсперо (см. табл. 2). В вариантах с применением препарата Биослип на основе *B. bassiana* и *B. thuringiensis* эффективность была достоверно ниже – 61,7–76,2%. На 10-е сутки после обработки достаточно

Табл. 1. Биологическая эффективность обработок семян сои протравителями против *M. nigrobilineatus* Motsch. (среднее за 2020, 2021 гг.)

Table 1. Biological effectiveness of soybean treatments by protectants against *M. nigrobilineatus* Motsch. (average for 2020 and 2021)

Вариант опыта	Средний балл поврежденности растений после появления имаго в контроле по суткам учетов				Снижение поврежденности относительно контроля по суткам учетов, %			
	3-и	7-е	14-е	21-е	3-и	7-е	14-е	21-е
Контроль	1,1	1,7	0,5	0,7	–	–	–	–
Имидор Про, КС 2,0 л/т	0,05	0,3	0,1	0,2	94,0	83,7	76,0	74,0
Табу, ВСК, 1,0 л/т	0,03	0,3	0,2	0,1	98,2	81,0	73,2	75,9
НСР ₀₅	0,4	0,5	0,1	0,1	4,7	3,8	7,1	7,1

Табл. 2. Биологическая эффективность биоинсектицидов против *M. nigrobilineatus* Motsch. в посевах сои (среднее за 2020, 2021 гг.)

Table 2. Biological effectiveness of bioinsecticides against *M. nigrobilineatus* Motsch. on soybean sowings (average for 2020 and 2021)

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л/га, кг/га	Снижение численности вредителя относительно контроля после обработки по суткам учета, %		
		5-е	10-е	15-е
Эсперо, КС	0,2	100 ± 0	92,4 ± 1,2	63,1 ± 1,7
Биослип БВ, Ж	2,0	61,7 ± 1,0	54,3 ± 4,0	26,8 ± 1,5
Биослип БТ, П	2,0	76,2 ± 2,5	71,1 ± 1,2	46,3 ± 0,9
Бацикол, Ж	15,0	98,8 ± 0,7	75,5 ± 2,6	46,2 ± 1,4
Фитоверм, КЭ	0,16	96,7 ± 1,0	84,9 ± 1,1	41,5 ± 1,1
НСР ₀₅	–	4,5	6,3	4,0

Табл. 3. Биологическая эффективность препаратов в борьбе с соевой плодожоркой (среднее за 2020, 2021 гг.)

Table. 3. Biological effectiveness of preparations against *Leguminivora glycinivorella* Mats. (average for 2020 and 2021)

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л/га, кг/га	Повреждено бобов, %	Снижение поврежденности бобов относительно контроля, %	Урожайность, т/га
Контроль	—	5,6	—	1,6
Биослип БВ, Ж	2,0	3,0	46,4 ± 1,1	1,8
Биослип БТ, П	2,0	2,6	53,6 ± 1,6	1,8
Проклэйм, ВРГ	0,3	2,0	64,3 ± 1,2	1,9
Биокилл, КЭ	0,4	1,9	66,0 ± 0,4	2,0
Эсперо, КС	0,2	0,9	83,9 ± 1,3	2,2
НСР ₀₅	—	0,3	2,6	0,2

высокую эффективность (84,9%) показал Фитоверм, снижение численности вредителя в вариантах с использованием препаратов Биослип БТ и Бацикол составило 71,1 и 75,5% соответственно. Наименьшим (54,3%) этот показатель отмечен при применении Биослипа БВ. Проведенные учеты показали, что применение представленных выше препаратов обеспечивает эффективную защиту растений сои на самой уязвимой фазе всходов.

Обработка растений сои препаратами в фазах цветения – образование бобов направлена на снижение поврежденности плодожоркой соевой. Как показали исследования, при применении биоинсектицидов количество поврежденных бобов сои (1,9–3,0%) гусеницами соевой плодожорки было существенно меньше в сравнении с контролем (5,6%) (см. табл. 3). Наибольшую эффективность (64,3 и 66,0%) проявили препараты на основе амаектин бензоата (Проклэйм) и абамектина (БиоКилл). Существенной разницы между данными вариантами не отмечено. Эффективность Биослипа на основе *B. bassiana* и *B. thuringiensis* была ниже. Наблюдали существенные различия в снижении поврежденности бобов сои вредителем при применении этих двух препаратов. При использовании химического препарата Эсперо поврежденность бобов вредителем снижалась на 83,9% относительно контроля.

Применение биоинсектицидов обеспечило сохранение урожая зерна, прибавка урожайности составила 0,2–0,4 т/га.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлена эффективность протравителей инсектицидного действия и биоинсектицидов в снижении численности листоеда соевого полосатого и плодожорки соевой.

2. Применение препаратов Имидор Про, КС и Табу, ВСК способствовало снижению поврежденности всходов сои *M. nigrobilineatus* по сравнению с контролем на 94,0–98,8%. Протравители на основе имидаклоприда обеспечивали эффективную защиту посевов культуры против листоеда соевого полосатого в фазах всходы – ветвление.

3. Однократное опрыскивание всходов сои препаратами Фитоверм, Бацикол, Биослип БТ и Биослип БВ обеспечило снижение численности *M. nigrobilineatus* на 5–10-е сутки относительно контроля на 54,3–98,8%. Под действием препаратов Биослип БВ, Биослип БТ, Проклэйм, БиоКилл поврежденность бобов сои плодожоркой соевой снижалась на 46,4–66,0%. Лёт бабочек и яйцекладка плодожорки соевой растянуты, а период защитного действия биоинсектицидов составляет до 14 дней. В связи с этим при применении биорациональных инсектицидов необходимо увеличить кратность обработок: первую обработку против *L. glycinivorella* проводить в I декаде августа, вторую – через 2 нед.

4. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности использования биопрепаратов на основе актиномицетов *B. bassiana* и *B. thuringiensis* про-

тив вредителей в посевах сои в целях снижения пестицидной нагрузки на агроценоз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмаилов В.Я., Пушня М.В., Родионова Е.Ю., Снесарева Е.Г., Команцев А.А., Цыгичко А.А. Изучение возможности использования биопрепаратов и биологически активных веществ против доминантных вредителей сои // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 22–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10403.
2. Haile F., Nowatzki T., Storer N. Overview of pest status potential risk and management considerations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) for U.S. soybean production // Journal of Integrated Pest Management. 2021. Vol. 12. N 1. P. 1–10. DOI: 10.1093/jimp/pmaa030.
3. Пушня М.В., Снесарева Е.Г., Родионова Е.Ю. Использование приемов биологического контроля инвазийного вида щитника – зеленого овощного клопа *Nezara viridula* L. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 12. С. 50–63. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_12_50.
4. Дега Л.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Соя: болезни и вредители: монография. М., 2022. 128 с.
5. Долженко В.И., Липтиев А.Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность // Плодородие. 2021. № 3. С. 71–75. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.13.
6. Липтиев А.Б. Проблемы и тенденции развития защиты сои от вредных организмов // Защита и карантин растений. 2023. № 4. С. 10–14.
7. Коваленко Т.К., Лукашенко А.В. Эффективность применения инсектицидов против вредителей на сое в Приморском крае // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 4 (48). С. 88–92. DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14085.
8. Семеренко С.Ф., Бушинева Н.А. Эффективная защита всходов сои от проволочников в условиях центральной зоны Краснодарского края // Вестник защиты растений. 2018. № 3 (97). С. 80–83.
9. Resedde-Silva G.A., Bravim J.N., Haro M.M., Cutler G.C., Silva A.A., Guedes R.N. Imidacloprid seed treatment in soybean- associated arthropod food webs: Reason for concern, or justifiable neglect? // Journal of Pest Science. 2023. Vol. 96 (1). P. 129–139. DOI: 10.1007/s10340-022-01503-6.
10. Whalen D.A., Catchot A.L., Gore J., Cook D.R., Barton B.T., Brown R.L., Irby J.T., Speights C.J. Impacts of winter annual cover crops and neonicotinoid seed treatments on arthropod diversity in Mississippi soybean // Environmental Entomology. 2022. Vol. 51 (3). P. 578–585. DOI: 10.1093/ee/nvac016.
11. Агасьева И.С., Нефедова М.В. Биологические агенты контроля численности *Hylyomorpha halys* Stal. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (4). С. 561–569. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.561-569.
12. Swami H., Jain D.K., Lekha and Mahla M.K. Bioefficacy of different biopesticides against major foliage feeders on soybean *Glycine max* (L.) Merrill // Journal of Biological Control. 2019. Vol. 33 (4). P. 378–381. DOI: 10.18311/jbc/2019/22581

REFERENCES

1. Ismailov V.Y., Pushnya M.V., Rodionova E.Y., Snesareva E.G., Komantsev A.A., Tsygichko A.A. Possibility of using biological products and biologically active substances against dominant soybean pests. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2021, vol. 35, no. 4, pp. 22–28. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10403.
2. Haile F., Novatzki T., Storer N. Overview of pest status potential risk and management considerations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) for U.S. soybean production. *Journal of Integrated Pest Management*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 1–10. DOI: 10.1093/jimp/pmaa030.
3. Pushnya M.V., Snesareva E.G., Rodionova E.Y. Biological control techniques against the invasive species of green vegetable bug *Nezara viridula* L. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2021, vol. 35, no. 12, pp. 50–63. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2021_35_12_50.
4. Dega L.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. *Soybean: diseases and pests*. Moscow, 2022, 128 p. (In Russian).
5. Dolzhenko V.I., Laptiev A.B. Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodiye = Plodorodie*, 2021, no. 3, pp. 71–75. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.13.

6. Laptiev A.B. Problems and trends in developing the soybean protection from the pests. *Zashchita i quarantine rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2023, no. 4, pp. 10–14. (In Russian).
7. Kovalenko T.K., Lukashenko A.V. Effectiveness of insecticides against soybean pests on the Primorskiy territory. *Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*, 2018, no. 4 (48), pp. 88–92. (In Russian). DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14085.
8. Semerenko S.A., Bushneva N.A. Effectiveness of soybean sprout protection from wireworms in the central zone of the Krasnodar Territory. *Vestnik zashchity rastenii = Plant Protection News*, 2018, no. 3 (97), pp. 80–83. (In Russian).
9. Resedde-Silva G.A., Bravim J.N., Haro M.M., Cutler G.C., Silva A.A., Guedes R.N. Imidacloprid seed treatment in soybean- associated arthropod food webs: Reason for concern, or justifiable neglect? *Journal of Pest Science*, 2023, vol. 96 (1), pp. 129–139. DOI: 10.1007/s10340-022-01503-6.
10. Whalen D.A., Catchot A.L., Gore J., Cook D.R., Barton B.T., Brawn R.L., Irby J.T., Speights C.J. Impacts of winter annual cover crops and neonicotinoid seed treatments on arthropod diversity in Mississippi soybean. *Environmental Entomology*, 2022, vol. 51 (3), pp. 578–585. DOI: 10.1093/ee/nvab046.
11. Agasyeva I.S., Nefedova M.V. Biological control agents of the number of *Hylyomorpha halys* Stal. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2021, vol. 22 (4), pp. 561–569. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.561-569.
12. Swami H., Jain D.K., Lekha and Mahla M.K. Bioefficacy of different biopesticides against major foliage feeders on soybean *Glycine max* (L.) Merrill. *Journal of Biological Control*, 2019, vol. 33 (4), pp. 378–381. DOI: 10.18311/jbc/2019/22581.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Коваленко Т.К.**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 692684, Приморский край, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, 42а; e-mail: tatyana_kovalenko55@mail.ru

Гришечкина С.Д., кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник

Кочева Н.С., научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Tatyana K. Kovalenko**, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher; **address:** 42a, Mira St., Kamen-Rybolov, Primorsky Territory, 692684, Russia; e-mail: tatyana_kovalenko55@mail.ru

Svetlana D. Grishechkina, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher

Nina S. Kocheneva, Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 06.09.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 16.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИФА С МОЛОКОМ И СЫВОРОТКОЙ КРОВИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БРУЦЕЛЛЕЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Донченко Н.А.¹, (✉) Куренская Н.И.¹, Сизов А.А.¹, Стеблева Г.М.¹, Сизов Д.А.¹, Воробьев В.И.²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт

Алматы, Республика Казахстан

(✉)e-mail: kurenskaya-nat@mail.ru

Иммуноферментный анализ как более чувствительный метод позволяет выявить специфические антитела в пробах сборного молока. С учетом доступности и простоты выполнения данного метода исследование методом ИФА сборного молока в хозяйствах может стать важнейшим элементом в системе противобруцеллезных мероприятий по части контроля за эпизоотическим состоянием в хозяйствах. Для скрининговой экспресс-диагностики бруцеллеза крупного рогатого скота разработана методика постановки иммуноферментного анализа с молоком коров. Иммуноферментный анализ с сывороткой молока является специфичным, чувствительным, простым в постановке, учете и интерпретации результатов методом. Установлено, что условия хранения и транспортировки проб молока, соответствующие значениям комнатной температуры и приводящие к сквашиванию, не оказывают влияния на уровень специфических противобруцеллезных иммуноглобулинов в течение 8 сут, что снимает вопрос о применении холодовой цепи при транспортировке до места проведения анализа проб молока, подлежащих исследованию. При отработке оптимальной пробоподготовки разница в специфическом сигнале при постановке ИФА между сывороткой молока, полученной при высокоскоростном центрифугировании, и сывороткой молока, полученной методом сквашивания в течение 24 ч, составляла менее 10%. В связи с этим для подготовки проб сыворотки молока при исследовании ИФА выбрано скоростное центрифугирование. Изучены возможности применения ИФА с сывороткой молока на вакцинированном и не вакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота. Молоко и кровь для исследования в ИФА необходимо брать через 6 мес и более после вакцинации (в инструктивные сроки). Установлен высокий уровень корреляции между данными ИФА с молоком и данными ИФА с сывороткой крови вне зависимости от эпизоотического или иммунного статуса (благополучные и неблагополучные стада, привитые и непривитые животные), который составил 86,8–92,0%.

Ключевые слова: бруцеллез, крупный рогатый скот, поствакцинальная диагностика, сыворотка крови, молоко, иммуноферментный анализ

COMPARATIVE STUDY OF THE ELISA USE WITH MILK AND BLOOD SERUM FOR BOVINE BRUCELLOSIS DIAGNOSIS

Donchenko N.A.¹, (✉) Kurenskaya N.I.¹, Sizov A.A.¹, Stebleva G.M.¹, Sizov D.A.¹, Vorobyov V.I.²

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

²Kazakh Scientific Research Veterinary Institute

Almaty, Republic of Kazakhstan

(✉)e-mail: kurenskaya-nat@mail.ru

Enzyme immunoassay, being a more sensitive method, makes it possible to identify specific antibodies in samples of combined milk. The ELISA study of harvested milk in farms can become an

important element in the system of anti-brucellosis measures regarding the control of the epizootic state in farms taking into account the availability and ease of implementation of this method. For screening express-diagnostics of bovine brucellosis the method of enzyme immunoassay with milk of cows has been developed. ELISA with milk serum is specific, sensitive, easy to formulate, account for and interpret the results. It has been found that the conditions of storage and transportation of milk samples corresponding to room temperature values and leading to fermentation do not affect the level of specific anti-viral immunoglobulins for eight days, and the question of the use of a cold chain during transportation of milk samples to be examined to the place of analysis can be withdrawn from the agenda. When working out the optimal sample preparation, the difference in the specific signal when setting the ELISA between the milk serum obtained by high-speed centrifugation and the milk serum obtained by fermentation for 24 hours was less than 10%. Therefore, high-speed centrifugation was chosen for the preparation of milk serum samples during the ELISA study. The possibilities of using ELISA with milk serum on vaccinated and non-vaccinated cattle against brucellosis have been studied. Milk and blood for testing in the ELISA should be taken 6 months or more after vaccination (within the instructional time frame). A high level of correlation was established between ELISA data with milk and ELISA data with blood serum, regardless of epizootic or immune status (satisfactory and unfavorable herds, vaccinated and unvaccinated animals), which amounted to 86.8–92.0%.

Keywords: brucellosis, cattle, post-vaccination diagnostics, blood serum, milk, enzyme immunoassay

Для цитирования: Донченко Н.А., Куренская Н.И., Сизов А.А., Стеблева Г.М., Сизов Д.А., Воробьев В.И. Сравнительное изучение применения ИФА с молоком и сывороткой крови для диагностики бруцеллеза крупного рогатого скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 53–62. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-6>

For citation: Donchenko N.A., Kurenskaya N.I., Sizov A.A., Stebleva G.M., Sizov D.A., Vorobyov V.I. Comparative study of the ELISA use with milk and blood serum for bovine brucellosis diagnosis. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 53–62. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-6>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Бруцеллез сельскохозяйственных животных все еще имеет распространение в нашей стране. По-прежнему сохраняется опасность заражения людей, поэтому проблема полного искоренения этой инфекции остается актуальной.

Многочисленные прививки создают проблему поствакцинальной диагностики. В связи с этим для диагностики бруцеллеза используют целый комплекс тестов (реакция агглютинации (РА), реакция связывания комплемента (РСК), реакция непрямой гемагглютинации (РНГА), реакция иммунодиффузии (РИД) с О-ПС-антигеном, иммуноферментный анализ (ИФА) и др.), объектом исследования является сыворотка крови [1–3]. Важно изыскать несложные, легкодоступные экспресс-методы, с помощью которых можно

легко контролировать благополучие ферм по бруцеллезу [4]. Такими методами могут быть тесты с использованием молока¹. Исследование молока в кольцевой реакции (КР) и РНГА позволяет применять для диагностики бруцеллеза простой метод отбора проб, который не вызывает стрессового состояния у животных, а также вовлекать в диагностические исследования молочную железу, которая при бруцеллезе является одним из мест проникновения, локализации и распространения возбудителя инфекции [5, 6].

Наиболее перспективными методами исследований стали кольцевая реакция и иммуноферментный анализ с молоком, получившие высокую оценку отечественных и зарубежных исследователей [7–9]. Кольцевая реакция – наиболее апробированный и широко распространенный метод предварительного обследования на бруцеллез стад коров

¹Попова Т.Г. Диагностическое значение методов исследования на бруцеллез молока коров, реиммунизированных противобруцеллезными вакцинами (шт. 19 и шт. 82): автореф. дис. ... канд. вет. наук. Новосибирск, 1990. 16 с.

и отдельных животных. Колебания титров в отдельных четвертях вымени указывают на бруцеллезную инфекцию, одинаковый титр во всех четвертях вымени – скорее, на поствакцинальные титры. Комитет экспертов по бруцеллезу ФАО/ВОЗ рекомендует эту реакцию для широкого применения во всех странах в качестве дополнительного метода [5, 6, 10].

С помощью ИФА можно проводить как массовое обследование стад крупного рогатого скота, так и поставить окончательный диагноз у конкретного животного². Иммуноферментные тест-системы по сравнению с другими методами выявления антигенов и антител обладают следующими преимуществами: высокой чувствительностью, специфичностью, воспроизводимостью полученных результатов, стабильностью при хранении всех необходимых реагентов (до года и более), простотой проведения реакции и возможностью использования минимальных объемов исследуемого материала, наличием инструментального (в качественном и количественном варианте) учета реакции и возможностью автоматизации всех ее этапов [11, 12]. Материалом для исследования методом иммуноферментного анализа могут служить секрет вымени сухостойных коров, молозиво и молоко³. ИФА с молоком проводят так же, как и с сывороткой крови [13].

Уже доказано, что применение метода ИФА для диагностики бруцеллеза сельскохозяйственных животных является достаточно эффективным. При сравнительном исследовании коров с помощью этого теста в сыворотке крови выявлено антител на 50–72% больше, чем в РА, РСК, РА с риванолом и РБП, вместе взятых, в молоке в 5–6 раз больше, чем в кольцевой реакции [8, 13].

С помощью ИФА можно определить титр антител, что особенно важно при исследовании вакцинированных животных, когда требуется по высоте титров отличить поствак-

цинальные реакции от возникших при естественном течении бруцеллеза [11, 14, 15].

Иммуноферментный анализ – более чувствительный метод, поэтому позволяет выявить специфические антитела в пробах сборного молока. Если учесть доступность и простоту выполнения данного метода, то исследование методом ИФА сборного молока в хозяйствах может стать важнейшим элементом в системе противобруцеллезных мероприятий по части контроля за эпизоотическим состоянием в хозяйствах [11, 14].

Цель исследования – сравнительное изучение разработанного теста ИФА с молоком и с сывороткой крови при бруцеллезе крупного рогатого скота.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в лаборатории оптимизации противоэпизоотических систем Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока СФНЦА РАН.

Для разработки методики получения сыворотки молока для постановки ИФА с молоком при диагностике бруцеллеза крупного рогатого скота пробы молока отбирали от вакцинированных и не привитых против бруцеллеза коров. Для проведения сравнительного анализа от этих же животных одновременно отбирали пробы крови.

Из молока получали молочную сыворотку высокоскоростным центрифугированием и методом сквашивания, которую использовали для постановки ИФА. Сыворотку крови получали традиционным методом. Постановку ИФА с сывороткой молока и сывороткой крови осуществляли в классическом варианте. Результаты реакции регистрировали на спектрофотометре. Оптическую плотность измеряли при длине волны 450 нм.

Параллельно с исследованиями сыворотки крови и сыворотки молока в ИФА проводили обязательный для диагностики бруцеллеза

²Верковский О.А. Лабораторная диагностика инфекционных болезней крупного рогатого скота с использованием иммуноферментного анализа (лейкоз, ящур, бруцеллез) // Ветеринария Кубани. 2007. № 2. С. 11–12.

³Vanzini V.R., Aguirre N., Lugaesi C.I., Echaide S.T., Canavesio V.G., Guglielmone A.A., Marchesino M.D., Nielsen K. Evaluation of an indirect ELISA for the diagnosis of bovine brucellosis in milk and serum samples in dairy cattle in Argentina // Preventive veterinary medicine. 1998. № 3. P. 211–217. DOI: 10.1016/s0167-5877(98)00080-4.

комплекс серологических тестов – реакцию агглютинации, реакцию связывания компонента с S-антигеном и реакцию иммунодиффузии с О-ПС-антигеном.

Проведен эпизоотологический анализ по бруцеллезу крупного рогатого скота на основе статистических данных, материалов ветеринарных учета и отчетности, результатов лабораторных исследований, проводимых в ветеринарных лабораториях, и литературных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При отработке оптимальной пробоподготовки установлено, что разница в специфическом сигнале при ИФА между молочной сывороткой, полученной при высокоскоростном центрифугировании, и сывороткой, полученной методом сквашивания в течение 24 ч, составила менее 10%, что является неприципиальным для проведения анализа (см. табл. 1).

В ходе работы проведены исследования по длительности сохранности специфических иммуноглобулинов в сыворотке молока при транспортировке и хранении проб при комнатной температуре. Установлено, что уровень специфического сигнала положительных сывороток молока в ИФА сохраняется неизменным в течение 7–8 сут, затем наблюдается его снижение, вплоть до отсутствия реагирования в низкотитражных пробах (см. табл. 2).

В ходе работы проведены исследования по изучению корреляции между ИФА с молоком и ИФА с сывороткой крови. Ранее установлено, что ИФА является специфичным и чувствительным методом для диагностики бруцеллеза крупного рогатого скота. Также для сравнения взяли результаты обязательного комплекса серологических тестов.

В 1-й группе животных из благополучного хозяйства отобрано 50 коров, неоднократно вакцинированных против бруцеллеза. От них одновременно взяты пробы молока и кровь в ранние сроки (через 1,5 мес) после очередной ревакцинации.

При исследовании вакцинированных животных в ИФА с молоком получены поло-

Табл. 1. Уровень сигнала в ИФА специфических противобруцеллезных иммуноглобулинов молока при различных типах пробоподготовки

Table 1. The signal level in the ELISA of specific anti-brucellosis immunoglobulins of milk in various types of sample preparation

Номер пробы	Тип пробы	Высокоскоростное центрифугирование, D_{450} , О.Е.	Сквашивание, D_{450} , О.Е.
1	Отрицательная	0,154	0,168
2	»	0,122	0,136
3	»	0,126	0,132
4	»	0,137	0,144
5	Положительная	1,857	1,890
6	»	0,560	0,578
7	»	0,823	0,843
8	»	0,455	0,623
9	»	2,216	2,237
10	»	0,445	0,534
11	»	1,235	1,362
12	»	1,583	1,603
13	»	1,129	1,341
14	»	1,529	1,627
15	»	0,481	0,503
16	»	0,639	0,681
17	»	0,885	0,912
18	»	2,251	2,282
19	»	0,772	0,781
20	»	0,981	0,923
21	»	1,112	1,182
22	»	0,991	1,121
23	»	1,651	1,668
24	»	1,225	1,284

Табл. 2. Уровень сигнала в ИФА специфических противобруцеллезных иммуноглобулинов молока в различные сроки инкубации

Table. 2. Signal level in the ELISA of specific anti-brucellosis immunoglobulins of milk at different incubation periods

Инкубация, сут	Номер пробы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,857	0,560	0,823	0,455	2,216	0,445	1,235	1,583	1,129	1,529	0,481	0,639
2	1,861	0,564	0,818	0,455	2,231	0,443	1,238	1,579	1,220	1,534	0,501	0,649
3	1,868	0,568	0,842	0,458	2,239	0,454	1,309	1,603	1,258	1,561	0,534	0,651
4	1,867	0,561	0,839	0,463	2,225	0,461	1,287	1,591	1,129	1,553	0,498	0,648
5	1,849	0,571	0,835	0,458	2,258	0,449	1,277	1,599	1,209	1,549	0,511	0,643
6	1,872	0,567	0,846	0,465	2,256	0,462	1,289	1,584	1,131	1,551	0,489	0,650
7	1,864	0,564	0,829	0,467	2,273	0,458	1,301	1,595	1,142	1,521	0,490	0,649
8	1,853	0,569	0,801	0,461	2,254	0,449	1,278	1,601	1,132	1,499	0,488	0,647
9	1,812	0,559	0,811	0,435	2,234	0,438	1,263	1,584	1,113	1,541	0,485	0,635
10	1,801	0,551	0,802	0,448	2,012	0,421	1,235	1,579	1,108	1,488	0,451	0,621
11	1,785	0,502	0,783	0,425	1,983	0,398	1,176	1,521	0,961	1,112	0,455	0,599
12	1,631	0,463	0,731	0,385	1,832	0,335	0,890	1,381	0,633	0,899	0,401	0,457
13	1,402	0,364	0,632	0,322	1,788	0,301	0,670	1,278	0,563	0,654	0,378	0,384
14	1,299	0,320	0,554	0,301	1,701	0,256	0,598	1,012	0,488	0,599	0,322	0,341

Примечание. Жирным шрифтом выделены пробы с результатом в ИФА как не реагирующие.

жительные результаты в 46 пробах (92%), в ИФА с сывороткой крови – во всех 50 (100%). Только в четырех пробах с молоком результаты были сомнительными при положительных результатах в пробах с сывороткой крови, т.е. зарегистрирована корреляция в 92,0% исследованных проб (см. табл. 3).

При сопоставлении полученных результатов с исследованиями сывороток крови традиционными методами установлено, что лишь 16 животных реагировали в РА в низких титрах, что характерно для поствакцинальных реакций. Результаты РСК с S-антигеном и РИД с О-ПС-антигеном оказались отрицательными.

Данная группа животных была привита против бруцеллеза, а кровь и молоко от них взяли в ранние ненормативные сроки. В связи с этим результаты в ИФА с молоком и с сывороткой крови оказались положительными в большинстве случаев, что объясняется более высокой чувствительностью метода. Также становится очевидным, что молоко и кровь у привитых животных для иммуноферментного анализа следует брать через 6 мес и более после вакцинации.

Во 2-ю группу животных отобрано 39 коров, от них одновременно взяты пробы молока и крови. Данная группа животных никогда ранее не была привита противобруцеллезны-

Табл. 3. Результаты исследования молока и сыворотки крови на вакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота (благополучное стадо)

Table 3. Results of milk and blood serum testing on brucellosis-vaccinated cattle (satisfactory herd)

Но- мер п/п	Инвентарный номер	ИФА с молоком		ИФА с сывороткой крови		Другие серологические тесты		
		Показа- тель	Результат	Показа- тель	Результат	РА	РСК-S	РИД
1	KZF192340333	2,272	Положительный	1,861	Положи- тельный	Отрицательный	Отрица- тельный	Отрица- тельный
2	KZF191261907	1,744	»	2,011	То же	»	То же	То же
3	KZF192340331	2,232	»	2,288	»	50 МЕ*	»	»
4	KZF192340343	1,565	»	1,960	»	Отрицательный	»	»
5	KZF192340386	2,302	»	1,561	»	50 МЕ*	»	»
6	KZF192340334	1,852	»	2,080	»	Отрицательный	»	»
7	KZF192359717	1,828	»	2,148	»	»	»	»
8	KZF192037298	0,830	»	2,210	»	»	»	»
9	KZF192340335	1,527	»	2,040	»	50 МЕ*	»	»
10	KZF192340328	1,017	»	2,088	»	Отрицательный	»	»
11	KZF192359715	1,619	»	1,913	»	50 МЕ*	»	»
12	KZF192340382	0,897	»	1,419	»	Отрицательный	»	»
13	KZF191088986	1,428	»	1,875	»	»	»	»
14	KZF191088635	2,113	»	2,424	»	50 МЕ*	»	»
15	KZF191088978	0,770	»	1,866	»	50 МЕ*	»	»
16	KZF192340348	1,290	»	1,415	»	Отрицательный	»	»
17	KZF189138202	1,393	»	2,036	»	»	»	»
18	KZF192359721	2,283	»	2,016	»	»	»	»
19	KZF192340395	1,604	»	2,294	»	»	»	»
20	KZF191261835	2,296	»	1,898	»	»	»	»
21	KZF191089174	1,342	»	1,874	»	»	»	»
22	KZF191261922	1,016	»	2,108	»	»	»	»
23	KZF190473568	2,191	»	2,181	»	50 МЕ*	»	»
24	KZF192340332	0,540	Сомнительный	1,558	«	Отрицательный	«	«
25	KZF189857819	1,196	Положительный	1,771	«	50 МЕ*	«	«
26	KZF192340392	0,906	»	1,647	»	50 МЕ*	»	»
27	KZF189211198	1,959	»	2,191	»	Отрицательный	»	»
28	KZF191089171	1,898	»	2,023	»	50 МЕ*	»	»
29	KZF191089163	1,001	»	1,536	»	50 МЕ*	»	»
30	KZF189857842	0,946	»	2,126	»	50 МЕ*	»	»
31	KZF190096431	1,729	»	1,935	»	50 МЕ*	»	»
32	KZF190121536	2,113	»	2,086	»	Отрицательный	»	»
33	KZF191261920	1,955	»	2,364	»	50 МЕ*	»	»
34	KZF192340369	1,897	»	1,931	»	Отрицательный	»	»
35	KZF192340387	1,367	»	1,951	»	»	»	»
36	KZF192359725	0,843	»	1,502	»	»	»	»
37	KZF191089025	1,615	»	1,900	»	50 МЕ*	»	»
38	KZF191126039	1,529	»	2,089	»	Отрицательный	»	»
39	KZF192367987	1,908	»	2,258	»	»	»	»
40	KZF192340381	0,923	»	1,112	»	»	»	»
41	KZF189429652	0,648	Сомнительный	1,969	»	»	»	»
42	KZF192340337	2,074	Положительный	2,223	»	»	»	»
43	KZF190096491	1,161	»	1,512	»	»	»	»
44	KZF191261908	0,373	Сомнительный	1,409	»	»	»	»
45	KZF191261840	1,975	Положительный	1,914	»	»	»	»
46	KZF190096500	1,084	»	2,264	»	»	»	»
47	KZF189429656	0,317	Сомнительный	1,525	»	»	»	»
48	KZF190096419	0,720	Положительный.	2,043	»	»	»	»
49	KZF192340336	0,987	»	1,499	»	50 МЕ*	»	»
50	KZF192368020	2,212	»	1,967	Сыворот- ка отсут- ствует	Отрицательный	»	»

*Результат РА 50 МЕ на вакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота (в благополучном стаде) считается сомнительным.

ми вакцинами. Как показали исследования, в стаде выявлено большое количество больных животных, оно признано неблагополучным по бруцеллезу.

На невакцинированном поголовье крупного рогатого скота в ИФА с молоком получены положительные результаты в 34 пробах из 39 (87,2%), в ИФА с сывороткой крови – в 37 пробах из 38 (97,2%). Зарегистрирована кор-

реляция в 86,8% исследованных проб (33 из 39 проб) (см. табл. 4).

Анализируя полученные результаты, можно сделать заключение, что вне зависимости от эпизоотического или иммунного статуса (благополучные и неблагополучные стада, привитые и непривитые животные) корреляция между ИФА с молоком и ИФА с сывороткой крови колеблется от 86,8 до 92,0%.

Табл. 4. Результаты исследования молока и сыворотки крови на не вакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота (неблагополучное стадо)

Table 4. Results of milk and blood serum testing on bovine cattle not vaccinated against brucellosis (unfavorable herd)

Номер пробы	Инвентарный номер	ИФА с молоком		ИФА с сывороткой крови		Другие серологические тесты		
		Показатель	Результат	Показатель	Результат	РА	РСК-S	РИД
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	90097334**	2,139	Положительный	2,275	Положительный	Отрицательный	1 : 10+++	Отрицательный
2	90097053**	2,292	То же	2,321	То же	200 МЕ*	1 : 20++++	+48 ч
3	90633070**	2,193	»	2,317	»	Отрицательный	1 : 5+++	Отрицательный
4	90097363**	2,274	»	2,357	»	200 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
5	90097050**	2,146	»	2,322	»	200 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
6	90097064**	2,165	»	2,107	»	50 МЕ	1 : 5+++	Отрицательный
7	90097056**	2,132	»	2,151	»	200 МЕ*	1 : 10++	»
8	90321543	0,142	Отрицательный	1,208	»	Отрицательный	Отрицательный	»
9	90097357**	2,235	Положительный	2,112	»	50 МЕ	1 : 20++++	»
10	90097337**	2,310	То же	2,401	»	200 МЕ*	1 : 20++	+48 ч
11	90097095**	2,100	»	2,276	»	Отрицательный	1 : 20++++	Отрицательный
12	90097324**	2,293	»	2,311	»	50 МЕ	1 : 5++++	«
13	90097078**	2,369	»	2,391	»	200 МЕ **	1 : 20++++	+24 ч
14	90097089**	0,458	Сомнительный	1,553	»	50 МЕ	1 : 20++++	Отрицательный
15	90097079**	2,364	Положительный	2,382	»	200 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
16	90324551	0,072	Отрицательный	0,241	Отрицательный	Отрицательный	Отрицательный	Отрицательный
17	90097371**	2,214	Положительный	2,361	Положительный	100 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
18	91073268**	0,018	Отрицательный	2,252	То же	50 МЕ*	1 : 10++++	+48 ч
19	90097372	1,658	Положительный	2,151	»	Отрицательный	Отрицательный	Отрицательный
20	90097039**	2,098	То же	2,344	»	100 МЕ*	1 : 20+++	»
21	90097355**	2,417	»	2,334	»	200 МЕ *	1 : 20++++	»
22	90097336**	2,172	»	2,352	»	200 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
23	90097076**	2,390	»	2,453	»	200 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
24	90633071**	2,178	»	2,372	»	200 МЕ*	1 : 20+++	+24 ч
25	90097331**	2,035	»	2,450	»	50 МЕ	1 : 20+++	+24 ч
26	90097342**	2,207	»	2,208	»	50 МЕ	1 : 5++++	Отрицательный
27	90097333**	2,259	»	2,405	»	100 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
28	90097062**	2,285	»	2,322	»	100 МЕ**	1 : 20+++	+48 ч

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	90097325**	2,232	Положи- тельный	2,358	Положи- тельный	50 МЕ	1 : 20++++	Отрица- тельный
30	90321801**	2,302	То же	2,361	То же	50 МЕ	1 : 5++++	То же
31	90097055**	2,167	»	2,156	»	100 МЕ*	1 : 10++	»
32	90097362**	2,291	»	2,301	»	50 МЕ	1 : 20+++	»
33	90321768**	1,903	»	2,325	»	100 МЕ*	1 : 10+++	+48 ч
34	90097351**	2,203	»	2,260	»	200 МЕ*	1 : 20+++	+24 ч
35	90097356	0,670	Сомни- тельный	1,189	»	Отрица- тельный	Отрицательный	Отрица- тельный
36	90097048**	2,102	Положи- тельный	2,325	»	50 МЕ	1 : 10++	То же
37	97073220**	2,207	То же	2,421	»	100 МЕ*	1 : 20++++	+24 ч
38	91073265**	2,238	»	2,322	»	100 МЕ*	1:20++++	+48 ч
39	89202667**	2,330	»	2,347	Не исследо- вано	Отрица- тельный	1 : 10+++	Отрица- тельный

*Результат РА 100 МЕ и выше и/или РСК 1 : 5 и выше на невакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота (в неблагополучном стаде) считается положительным.

** Животные признаны больными и отправлены на убой.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что иммуноферментная диагностическая тест-система, разработанная ИЭВСиДВ СФНЦА РАН совместно с ООО НПФ «Сиббиотест», пригодна для определения специфических противобруцеллезных иммуноглобулинов в сыворотке молока.

2. Показано, что условия хранения и транспортировки проб молока, соответствующие значениям комнатной температуры и приводящие к сквашиванию, не оказывают влияния на уровень специфических противобруцеллезных иммуноглобулинов по крайней мере в течение 8 сут, что снимает вопрос о применении холодной цепи при транспортировании до места проведения анализа проб молока, подлежащих исследованию.

3. Установлено, что на вакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота корреляция между ИФА с молоком и ИФА с сывороткой крови составляет 92,0%. Следует отметить, что молоко и кровь для исследования в ИФА необходимо брать через 6 мес и более после вакцинации (в инструктивные сроки).

4. На не вакцинированном против бруцеллеза поголовье крупного рогатого скота корреляция между ИФА с молоком и ИФА с сывороткой крови составляет 86,8% (результаты совпали в 33 пробах из 39).

5. Вне зависимости от эпизоотического или иммунного статуса (благополучные и неблагополучные стада, привитые и непривитые животные) корреляция между ИФА с мо-

локом и ИФА с сывороткой крови колеблется от 86,8 до 92,0%.

6. Высокий процент корреляции дает основания для диагностики бруцеллеза использовать первоначально молоко, а затем при наличии положительных проб проводить взятие крови от таких животных для их комплексного исследования на бруцеллез.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелян П.К., Христенко Н.В., Гайворонская Ю.Е., Димова А.С., Димов С.К., Янченко Т.А. Технологичность разных схем иммунизации крупного рогатого скота против бруцеллеза с возможностью ранней поствакцинальной диагностики // Ветеринария. 2023. № 5. С. 11–16. DOI: 10.30896/0042-4846.2023.26.5.11-15.
2. Аракелян П.К., Гайворонская Ю.Е., Руденко А.В., Ильин Е.Н., Димова А.С., Димов С.К., Янченко Т.А. Серологическая реактивность здоровых овец, иммунизированных против бруцеллеза живой вакциной из штамма *B. abortus* 19 // Ветеринария. 2022. № 4. С. 21–25. DOI: 10.30896/0042-4846.2022.25.4.21-25.
3. Гордиенко Л.Н., Новиков А.Н., Куликова Е.В. Эффективность дифференциального теста при диагностике бруцеллеза северных оленей // Ветеринария. 2020. № 11. С. 7–10. DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.11.07-10.
4. Аракелян П.К., Христенко Н.В., Гайворонская Ю.Е., Трегубов А.Н., Вергун А.А., Димова А.С., Димов С.К., Янченко Т.А. Оценка эпизоотического благополучия по бруцелле-

- зу стад крупного рогатого скота при применении живых слабоагглютиногенных вакцин // Ветеринария. 2022. № 1. С. 9–14. DOI: 10.30896/0042-4846.2022.25.01.09-14.
5. Сакидибиров О.П., Джамбулатов З.М., Баратов М.О. Кольцевая реакция с молоком для диагностики бруцеллеза у лактирующих коров и коз // Ветеринария. 2020. № 11. С. 10–12. DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.11.10-12.
 6. Халиков А.А., Микаилов М.М., Яникова Э.А., Гулиева А.Т. Применение РНГА с молоком при диагностике бруцеллеза коров // Ветеринария и кормление. 2020. № 4. С. 50–53. DOI: 10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2020-4-18.
 7. Димова А.С., Сизов Д.А., Машинин А.В., Воробьев В.И. Эффективность тест-системы ИФА IDEXX для серологической диагностики бруцеллеза крупного рогатого скота в невакцинированных против данной инфекции стадах // Ветеринария. 2017. № 10. С. 14–16.
 8. Сизов А.А., Димова А.С., Димов С.К., Сизов Д.А., Аракелян П.К., Чекишев В.М. Эффективность использования О-ПС антигена в ИФА для дифференциальной экспресс-диагностики бруцеллеза крупного рогатого скота // Ветеринария. 2018. № 1. С. 9–14.
 9. Novoa M.B., Aguirre N.P., Valentini B., Torionide-Echaide S., Signorini M.L., Primo M.E., Elena S., Vanzini V.R. Development, validation and field evaluation of an indirect ELISA for the detection of antibodies against *Brucella abortus* in bulk and individual milk samples in dairy cattle // Preventive Veterinary Medicine. 2022. Vol. 208. P. 105740. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2022.105740
 10. Скляров О.Д., Климанов А.И., Калядин Д.В., Шунаева Н.А., Букова Н.К. Совершенствование теста для дифференциальной диагностики бруцеллеза животных // Ветеринария. 2019. № 1. С. 28–31. DOI: 10.30896/0042-4846.2019.22.1.28-31.
 11. Жанбырбаев М.С., Курбанова А.С., Оспанова М.С., Осербай А.Ж., Курбанова К.С. Диагностическая эффективность кольцевой реакции при исследовании молока на бруцеллез // Вестник науки Южного Казахстана. 2020. № 1 (9). С. 236–240.
 12. Аракелян П.К., Трегубов А.Н., Руденко А.В., Вергун А.А., Ильин Е.Н., Христенко А.С., Димова А.С., Димов С.К. Анализ эффективности борьбы с бруцеллезом крупного рогатого скота без вакцинации // Ветеринария. 2019. № 5. С. 9–12. DOI: 10.30896/0042-4846.2019.22.5.9-12.
 13. Аракелян П.К., Трегубов А.Н., Вергун А.А., Руденко А.В., Димова А.С., Димов С.К., Янченко Т.А. Бруцеллез сельскохозяйственных животных: почему научно управляемая инфекция может быть практически неуправляемой? (научно-аналитический обзор) // Вестник ветеринарии. 2020. № 4 (95). С. 51–58.
 14. Калядин Д.В., Матович Н.А., Чаус В.Ю., Кленов А.С., Вавилова О.В., Моторыгин А.В., Скляров О.Д. Сравнительное изучение чувствительности серологических тестов при диагностике бруцеллеза животных // Биотика. 2021. № 2 (39). С. 40–44.
 15. Wang Yu., Robertson I., Cheng S., Wang Y., Hou L., Wang G., Wu X., Li X., Chen Y., Guo A. Evaluation of a milk ELISA as an alternative to a serum ELISA in the determination of the prevalence and incidence of brucellosis in dairy herds in Hubei Province, China // Preventive Veterinary Medicine. 2020. Vol. 182. P. 105086. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105086.

REFERENCES

1. Arakelyan P.K., Khristenko N.V., Gaivoronskaya Yu.E., Dimova A.S., Dimov S.K., Yanchenko T.A. Manufacturability of different schemes of immunization of cattle against brucellosis with the possibility of early post-vaccination diagnosis. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2023, no. 5, pp. 11–16. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2023.26.5.11-15.
2. Arakelyan P.K., Gaivoronskaya Yu.E., Rudenko A.V., Ilyin E.N., Dimova A.S., Dimov S.K., Yanchenko T.A. Serological reactivity of healthy sheep immunized against brucellosis with a live vaccine from the B. abortus strain 19. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2022, no. 4, pp. 21–25. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2022.25.4.21-25.
3. Gordienko L.N., Novikov A.N., Kulikova E.V. Effectiveness of the differential test at using in the diagnosis of reindeer brucellosis. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2020, no. 11, pp. 7–10. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.11.07-10.
4. Arakelyan P.K., Khristenko N.V., Gaivoronskaya Yu.E., Tregubov A.N., Vergun A.A., Dimova A.S., Dimov S.K., Yanchenko T.A. Evaluation of epizootic welfare for brucellosis of cattle herds in conditions of using live weakly agglutinogenic vaccines. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2022, no. 1, pp. 9–14. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2022.25.01.09-14.
5. Sakidibirov O.P., Dzhambulatov Z.M., Baratov M.O. Ring reaction with milk for diagnostics of brucellosis in lactating cows and goats. *Vet-*

- erinariya = Veterinary medicine*, 2020, no. 11, pp. 10–12. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.11.10-12.
6. Khalikov A.A., Mikailov M.M., Yanikova E.A., Guliyeva A.T. The use of IHT with milk in the diagnosis of bovine brucellosis. *Veterinariya i kormlenie = Veterinaria i kormlenie*, 2020, no. 4, pp. 50–53. (In Russian). DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-4-18.
 7. Dimova A.S., Sizov D.A., Mashnin A.V., Vorobyov V.I. Efficiency of the idexx ELISA system for serological diagnostics of brucellosis in non-vaccinated cattle livestock. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2017, no. 10, pp. 14–16. (In Russian).
 8. Sizov A.A., Dimova A.S., Dimov S.K., Sizov D.A., Arakelyan P.K., Chekischev V.M. Efficiency of using O-polysaccharide antigen in ELISA for the rapid differential diagnosis of brucellosis in cattle. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2018, no. 1, pp. 9–14. (In Russian).
 9. Novoa M.B., Aguirre N.P., Valentini B., Torioni-de-Echay S., Signorini M.L., Primo M.E., Elena S., Vanzini V.R. Development, validation and field evaluation of indirect ELISA for the detection of antibodies against *Brucella abortus* in mass and individual milk samples from dairy cattle. *Preventive veterinary medicine*, 2022, vol. 208, p. 105740. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2022.105740.
 10. Sklyarov O.D., Klimanov A.I., Kalyadin D.V., Shunaeva N.A., Bukova N.K. Improvement of the test for differential diagnosis of animals' brucellosis. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2019, no. 1, pp. 28–31. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2019.22.1.28-31.
 11. Zhanbyrbaev M.S., Kurbanova A.S., Ospanova M.S., Oserbai A.Zh., Kurbanova K.S. Diagnostic effectiveness of the ring reaction in the study of milk for brucellosis. *Vestnik nauki Yuzhnogo Kazakhstana = Bulletin of Science of Southern Kazakhstan*, 2020, no. 1 (9), pp. 236–240. (In Russian).
 12. Arakelyan P.K., Tregubov A.N., Rudenko A.V., Vergun A.A., Ilyin E.N., Khristenko A.S., Dimova A.S., Dimov S.K. Efficiency of combating bovine brucellosis without vaccination. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2019, no. 5, pp. 9–12. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2019.22.5.9-12.
 13. Arakelyan P.K., Tregubov A.N., Vergun A.A., Rudenko A.V., Dimova A.S., Dimov S.K., Yanchenko T.A. Brucellosis of farm animals: why a scientifically controlled infection could be practically non-control? (scientific and analytical review). *Vestnik veterinarii = Vestnik Veterinarii*, 2020, no. 4 (95), pp. 51–58. (In Russian).
 14. Kalyadin D.V., Matovich N.A., Chaus V.Yu., Klenov A.S., Vavilova O.V., Motorygin A.V., Sklyarov O.D. Comparative study of the sensitivity of serological tests in the diagnosis of brucellosis of animals. *Biotika = Biotika*, 2021, no. 2 (39), pp. 40–44. (In Russian).
 15. Wang Yu., Robertson I., Chen S., Wang Yu., Hou L., Wang G., Wu H., Li H., Chen Yu., Guo A. Evaluation of milk ELISA as an alternative to serum ELISA in determining the prevalence and incidence of brucellosis in dairy herds in Hubei province, China. *Preventive veterinary Medicine*, 2020, vol. 182, p. 105086. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105086.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Донченко Н.А., член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук

✉ **Куренская Н.И.**, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 371; e-mail: kurenskaya-nat@mail.ru

Сизов А.А., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Стеблева Г.М., кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник

Сизов Д.А., научный сотрудник

Воробьев В.И., научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

Nikolay A. Donchenko, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine

✉ **Natalia I. Kurenskaya**, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher; **address:** PO Box 371, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501; e-mail: kurenskaya-nat@mail.ru

Alexander A. Sizov, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher

Galina M. Stebleva, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher

Dmitry A. Sizov, Researcher

Viktor I. Vorobyev, Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 22.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 06.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТКАНЕВОГО БИОСТИМУЛЯТОРА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ТЕЛОК

✉ Пушкарев И.А., Куренинова Т.В.

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий

Барнаул, Россия

✉ e-mail: pushkarev.88-96@mail.ru

Представлены материалы исследования эффективности применения тканевого биостимулятора в технологии выращивания ремонтных телок. Эксперимент проведен в условиях Алтайского края на четырех группах телочек приобского типа черно-пестрой породы живой массой $51,3 \pm 1,48$ кг в возрасте 1 мес. В каждой группе было по 10 гол. Продолжительность опыта составила 18 мес. Животным контрольной группы каждый месяц вводили подкожно физиологический раствор: с 1-го по 5-й месяц – в дозе 3,0 мл/гол., с 6-го по 11-й месяц – 6 мл/гол., с 12-го по 15-й месяц – 12,0 мл/гол. и с 16-го по 18-й месяц – 15,0 мл/гол. Телкам опытных групп делали инъекции тканевого биостимулятора по следующим схемам: в 1-й опытной группе – с 1-го по 5-й месяц – в дозе 2,0 мл/гол., с 6-го по 11-й месяц – 4 мл/гол., с 12-го по 15-й месяц – 8,0 мл/гол. и с 16-го по 18-й месяц – 10,0 мл/гол.; во 2-й опытной группе – с 1-го по 5-й месяц – в дозе 3,0 мл/гол., с 6-го по 11-й месяц – 6 мл/гол., с 12-го по 15-й месяц – 12,0 мл/гол. и с 16-го по 18-й месяц – 15,0 мл/гол.; в 3-й опытной группе – с 1-го по 5-й месяц – в дозе 4,0 мл/гол., с 6-го по 11-й месяц – 8,0 мл/гол., с 12-го по 15-й месяц – 16,0 мл/гол., с 16-го по 18-й месяц – 20,0 мл/гол. Биостимулятор изготовлен из боенских отходов и субпродуктов пантовых оленей. Схема его использования, применяемая во 2-й опытной группе животных, оказалась наиболее эффективной и способствовала повышению массы тела у ремонтных телок до 14% ($p < 0,001$), среднесуточного прироста – до 33% ($p < 0,001$), абсолютного прироста – до 23% ($p < 0,001$) и относительного прироста – до 2% ($p < 0,05$).

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ремонтные телки, тканевый препарат, живая масса, абсолютный прирост, среднесуточный прирост, относительный прирост, интенсивность роста

EFFICIENCY OF TISSUE BIOSTIMULANT APPLICATION IN GROWING HEIFERS

✉ Pushkarev I.A., Kureninova T.V.

Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies

Barnaul, Russia

✉ e-mail: pushkarev.88-96@mail.ru

The materials of research on the effectiveness of tissue biostimulant application in the technology of breeding replacement heifers are presented. The experiment was conducted in the conditions of the Altai Territory on four groups of heifers of the Priobsky type of the Black-and-White breed with a live weight of 51.3 ± 1.48 kg at the age of 1 month. Each group had ten heads. The experiment lasted for 18 months. Animals of the control group were injected subcutaneously with physiological solution every month: from the 1st to the 5th month – at a dose of 3.0 ml/head, from the 6th to the 11th month – 6 ml/head, from the 12th to the 15th month – 12.0 ml/head and from the 16th to the 18th month – 15.0 ml/head. Injections of tissue biostimulant were given to the heifers of the experimental groups according to the following schemes: in the 1st experimental group – from the 1st to the 5th month – at a dose of 2.0 ml/head, from the 6th to the 11th month – 4 ml/head, from the 12th to the 15th month – 8.0 ml/head and from the 16th to the 18th month – 10.0 ml/head; in the 2nd experimental group – from the 1st to the 5th month – at a dose of 3.0 ml/head, from the 6th to the 11th month – 6 ml/head, from the 12th to the 15th month – 12.0 ml/head and from the 16th to the 18th month – 15.0 ml/head; in the 3rd experimental group – from 1st to 5th month – at a dose of 4.0 ml/head, from the 6th to the 11th month – 8.0 ml/head, from the 12th to the 15th month – 16.0 ml/head, from the 16th to the 18th month – 20.0 ml/head. Biostimulant is made of slaughter house tankage and by-products of the antler deer.

The scheme of its application, used in the 2nd experimental group of animals, was the most effective and contributed to the increase in body weight in repair heifers up to 14% ($p < 0.001$), average daily gain – up to 33% ($p < 0.001$), absolute gain – up to 23% ($p < 0.001$) and relative gain – up to 2% ($p < 0.05$).

Keywords: cattle, replacement heifers, tissue preparation, live weight, absolute gain, average daily gain, relative gain, growth intensity

Для цитирования: Пушкарёв И.А., Куренинова Т.В. Эффективность применения тканевого биостимулятора при выращивании телок // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 63–70. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-7>

For citation: Pushkarev I.A., Kureninova T.V. Efficiency of tissue biostimulant application in growing heifers. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 63–70. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-7>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение темпов роста ремонтных телок позволяет значительно сократить сроки выращивания коров, повысить живую массу первотелок и получить от них высокие удои уже в первую лактацию. В производственной практике необходимо предусматривать интенсивность роста телок, которая обеспечит во все возрастные периоды живую массу животных, соответствующую требованиям стандарта породы [1].

Организация процесса выращивания ремонтных телок, при которой животные осеменяются в более раннем возрасте и отел от них получают в 23–24 мес, является обязательным условием при интенсивной технологии производства молока, что увеличивает молочную продуктивность и экономические показатели хозяйства [2].

Технология выращивания ремонтных телок, способствующая проявлению наследственных продуктивных задатков животных, должна быть экономически выгодной. Важнейшим условием реализации генетического потенциала животных является интенсивность их выращивания [3].

В условиях промышленной технологии производства животные современных молочных пород и типов отличаются генетически обусловленной высокой продуктивностью. В то же время это является причиной их исключительной предрасположенности к воздействию неблагоприятных факторов

внешней среды, поэтому при выращивании ремонтного молодняка необходимо создавать оптимальные условия содержания и кормления [4, 5].

Усиление обменных процессов открывает резервные возможности увеличения выхода сельскохозяйственной продукции без повышения затрат на корма путем изыскания факторов, способствующих повышению степени реализации наследственного потенциала. В связи с этим используются методы, связанные с применением биологически активных препаратов как средств, снижающих неблагоприятное действие внешних факторов на организм, а также выступающих в роли регуляторов метаболизма, повышающих эффективность использования основного рациона. Данный подход обеспечивает развитие кормовой базы, селекции и генной инженерии [6].

Одними из таких биологических стимуляторов роста являются тканевые препараты. Применение биостимуляторов положительно действует на животных (от коррективки иммунитета до стимуляции ферментативной и гормональной систем организма). Использование биогенных стимуляторов при выращивании молодняка животных способствует снижению затрат кормов, сокращению продолжительности выращивания, повышению сохранности поголовья и увеличению уровня рентабельности отрасли [7–9].

Цель исследования – изучить эффективность использования тканевого биостимулятора в технологии выращивания ремонтных телок.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Научно-хозяйственный опыт проводили в 2020, 2021 гг. в АО «Учхоз "Пригородное"» Индустриального района г. Барнаула Алтайского края. Схема эксперимента представлена в таблице.

Для проведения опыта по принципу аналогов сформировано четыре группы ремонтных телочек по 10 гол. в каждой. При подборе учитывался возраст (1 мес) и живая масса ($51,3 \pm 1,48$ кг). Продолжительность опыта составила 18 мес.

Материалом для тканевого биостимулятора послужили: матки с плодами (2–3 мес), плацента, печень, селезенка, мезентериальные лимфоузлы и средостения, отобранные в асептических условиях во время убоя. Животные были здоровы.

Живую массу ремонтных телок определяли индивидуальным взвешиванием на весах ВЭП-Х-Н с точностью до 1 кг начиная с 1-го месяца, затем – каждый месяц выращивания, по достижению ремонтным молодняком возраста 18 мес. На основании данных живой массы телок в возрастной динамике рассчитывали среднесуточный, абсолютный и относительный прирост живой массы за каждый месяц выращивания по общепринятой формуле.

Полученные данные подвергали биометрической обработке при помощи программного пакета Microsoft Excel 2016. Достоверность результатов опыта по отношению к контрольной группе рассчитывали по *t*-критерию Стьюдента для независимых выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выращивание ремонтного молодняка крупного рогатого скота является одним из важнейших технологических моментов отрасли молочного скотоводства, ведь успешное выращивание молодняка – основа высоких производственных показателей [10]. Динамика живой массы ремонтного молодняка коров подопытных групп представлена на рис. 1.

Из анализа данных, представленных на рис. 1, можно сделать вывод, что введение тканевого биостимулятора в разных дозах ремонтному молодняку крупного рогатого скота способствовало увеличению живой массы в возрасте 2 мес в 1-й опытной группе на 3,7%, во 2-й – на 5,0%, в 3-й – на 4,9% ($p < 0,05$). В возрасте 3 и 4 мес наибольшей живой массой отличались телочки 3-й опытной группы, которые по рассматриваемому значению превосходили на 7,8% ($p < 0,01$) и 9,8% ($p < 0,001$) аналогов контроля. Животные 1-й и 2-й опытных групп в рассматрива-

Схема научно-хозяйственного эксперимента
Scheme of the scientific and economic experiment

Группа	<i>n</i>	Препарат	Возраст ремонтных телок при введении препарата, мес	Доза подкожной инъекции препарата, мл/гол.	Кратность и интервал введения препарата
Контрольная	10	Физиологический раствор	1–5 6–11 12–15 16–18	3,0 6,0 12,0 15,0	18-кратно с интервалом 30 дней
Опытная:					
1-я	10	Тканевый биостимулятор	1–5 6–11 12–15 16–18	2,0 4,0 8,0 10,0	То же
2-я	10	То же	1–5 6–11 12–15 16–18	3,0 6,0 12,0 15,0	»
3-я	10	»	1–5 6–11 12–15 16–18	4,0 8,0 16,0 20,0	»

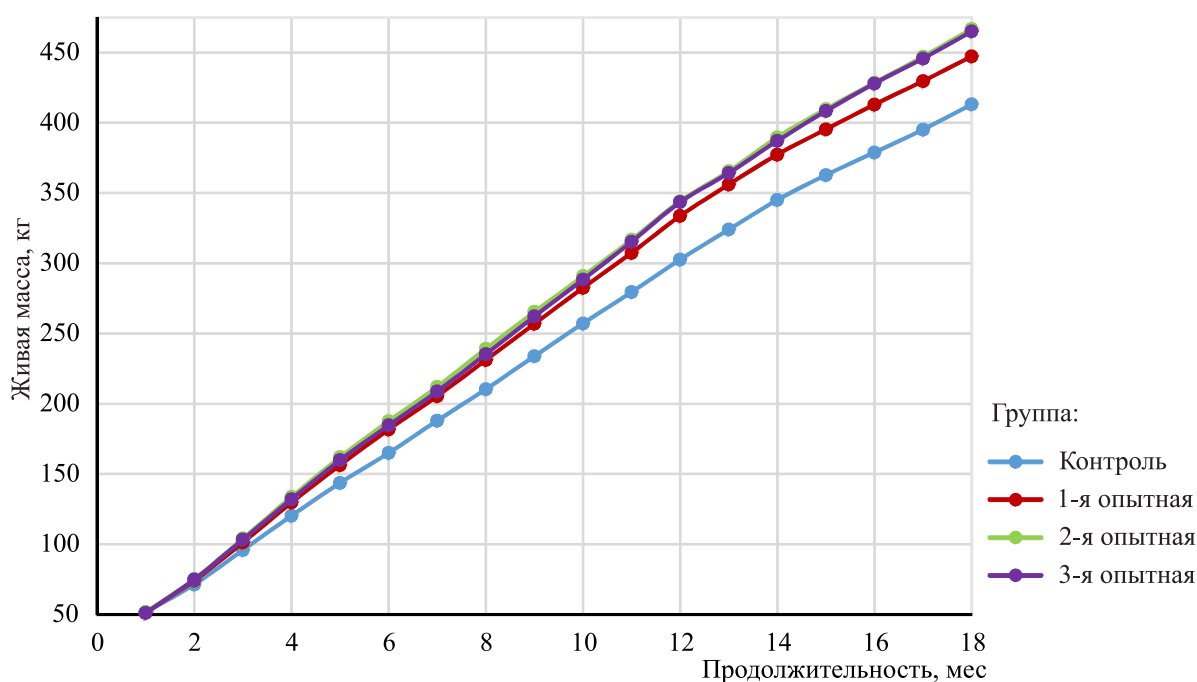


Рис. 1. Динамика живой массы ремонтного молодняка, кг

Fig. 1. Dynamics of the live weight of replacement young animals, kg

емые возрастные периоды также опережали контроль на 5,6–9,6% ($p < 0,001$). В возрасте 5–6 мес наибольшая живая масса отмечена у телят 2-й опытной группы, которым тканевой биостимулятор вводился в дозе 3 мл/гол. По данному значению они превосходили на 11,4% ($p < 0,001$) и 12,6% ($p < 0,001$) контроль. Телочки 1-й опытной группы по значению живой массы в возрасте 5 и 6 мес опережали животных интактной группы на 8,8% ($p < 0,001$) и 10,1% ($p < 0,001$), аналоги 3-й опытной группы – на 11,2% ($p < 0,001$) и 11,9% ($p < 0,001$) соответственно.

В возрастные периоды 7–11 мес выращивания наибольшей живой массой отличался молодняк 2-й опытной группы, который на 12,0–13,2% ($p \leq 0,001$) превосходил аналогов контроля. Телочки 1-й и 3-й опытных групп в эти же возрастные периоды имели живую массу больше на 9,3–12,8% ($p \leq 0,001$) в сравнении с контролем.

Животные опытных групп в 12-месячном возрасте по данному значению превосходили аналогов контрольной группы на 10,2% ($p < 0,001$), 13,2% ($p < 0,001$) и 13,4% ($p < 0,001$) соответственно.

Живая масса ремонтных телок опытных групп в возрастной период 13–14 мес в сравнении с аналогичными значениями в контроле находилась на большем уровне в 1-й опытной группе – на 9–10% ($p < 0,001$), во 2-й – на 13% ($p < 0,001$) и в 3-й – на 12% ($p < 0,001$).

Наибольшая живая масса с 15-го по 18-й месяц выращивания отмечена у телок 2-й опытной группы, что на 13% ($p < 0,001$) больше, чем в контроле. В эти же возрастные периоды ремонтный молодняк 1-й и 3-й опытных групп по значению живой массы превосходил на 8–13% ($p < 0,001$) телок интактной группы.

Показатели по среднесуточному приросту живой массы ремонтного молодняка представлены на рис. 2. Анализ динамики среднесуточных приростов (см. рис. 2) показывает, что в период 1–3 мес наибольший среднесуточный прирост живой массы отмечен у молодняка 3-й опытной группы, что на 20 и 16% ($p < 0,001$) больше, чем в контроле.

У ремонтных телочек 1-й и 2-й опытных групп суточные приросты живой массы в период выращивания 1–2 мес увеличились соответственно на 11 и 18% ($p < 0,05$), в период

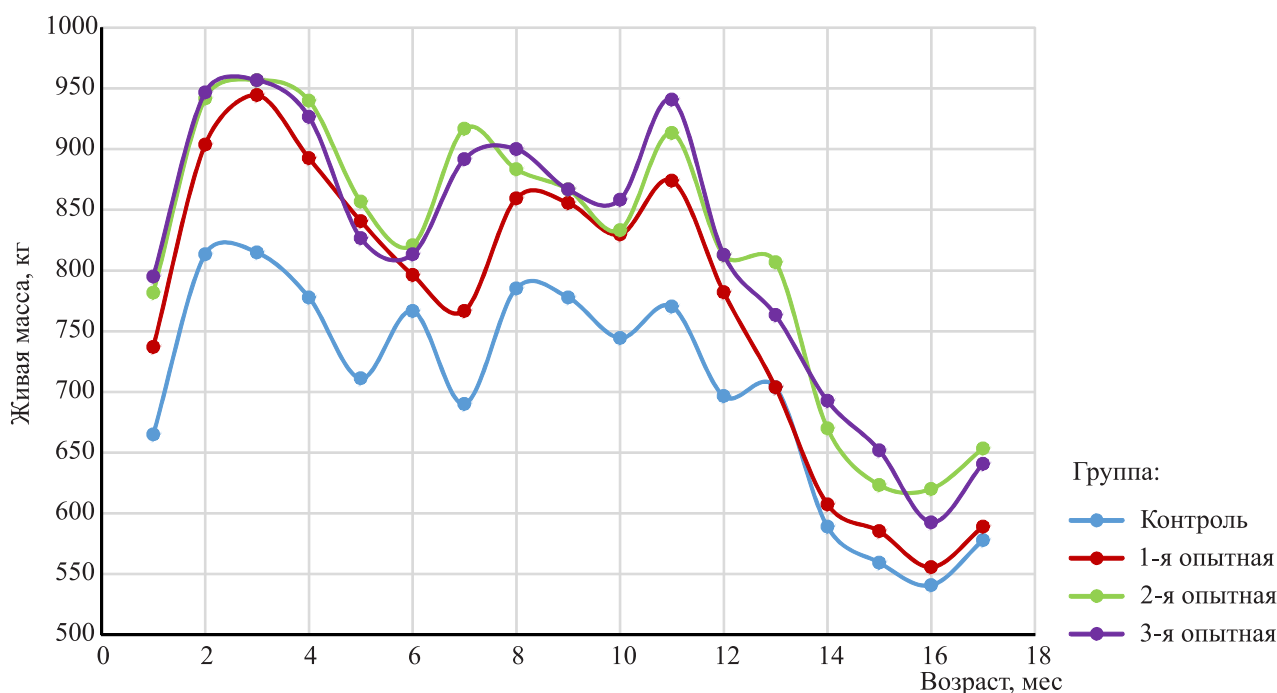


Рис. 2. Динамика среднесуточных приростов живой массы ремонтного молодняка, г

Fig. 2. Dynamics of average daily increases in the live weight of replacement young animals, g

2–3 мес – на 11 и 16% ($p < 0,001$) в сравнении с аналогичными показателями в контроле. В период 3–4 мес среднесуточные приросты живой массы у ремонтного молодняка 1, 2 и 3-й опытных групп превосходили контроль на 16–17% ($p < 0,001$) соответственно. Наибольшей интенсивностью роста в возрастные периоды 4–5 и 5–6 мес выращивания отличались телочки 2-й опытной группы, которые превосходили по рассматриваемому показателю на 21% ($p < 0,001$) и 20% ($p < 0,001$) аналогов контроля. Молодняк 1-й и 3-й опытных групп также отличался наибольшими показателями среднесуточного прироста – на 15 и 19% ($p < 0,001$) – в сравнении с контрольными животными.

В периоды 6–8 мес выращивания наибольшие показатели среднесуточного прироста отмечались у молодняка 2-й опытной группы, который на 7–33% ($p < 0,001$) превосходил телочек контрольной группы. Ремонтные телки 1-й и 3-й опытных групп по рассматриваемым показателям также опережали на 4–29% ($p < 0,001$) интактных животных. В периоды выращивания 7–12 мес наибольшей интенсивностью роста отличались живот-

ные 3-й опытной группы, которые на 11–22% ($p < 0,001$) превосходили аналогов контроля. Животные 1-й и 2-й опытных групп в аналогичные возрастные периоды опережали контроль на 9–17%.

Значение среднесуточного прироста у телок 2-й и 3-й опытных групп в возрасте с 12-го по 14-й месяц на 8–17% ($p < 0,001$) больше в сравнении с контролем. У молодняка 1-й опытной группы среднесуточные приросты живой массы в рассматриваемые возрастные периоды находились на большем уровне – до 12% ($p < 0,001$), чем в контрольной группе телок. С 14-го по 18-й месяц выращивания среднесуточные приросты у животных опытных групп превосходили на 2–18% ($p < 0,01$) контроль.

Механизм действия полученных биогенных стимуляторов основан на биологической активности входящих в них веществ (аминокислот, пептидов, нуклеиновых кислот, полисахаридов, фосфолипидов, витаминов, микроэлементов и т.д.). Они стимулируют реакции клеточного и гуморального иммунитета, повышают неспецифическую резистентность организма, активизируют

процессы обмена веществ, оказывают антиоксидантное и стресс-протекторное действие. Главная роль в механизме действия тканевых препаратов отводится нервно-гуморальной и гуморальной системе, основу которых составляет центральная нервная система и гипоталамо-гипофизарный комплекс. Установлено, что основная роль в изменении сопротивляемости организма к внешним воздействиям принадлежит нервной системе, ее адаптационно-трофической функции. Гипоталамо-гипофизарный комплекс регулирует нейроэндокринную деятельность и поддерживает гомеостаз организма [11, 12].

Анаболический характер обмена веществ в период интенсивного роста приводит к изменению и перераспределению основных метаболических потоков на процессы построения тканей организма [13, 14]. При применении тканевых биостимуляторов возникает активизация процессов метаболизма. Это происходит вследствие того, что первичной точкой действия тканевых препаратов является рецепция преобразования механических, химических и других раздражителей в нервные сигналы, непосредственно связанная с центральной нервной системой и всеми звеньями нейрогуморального аппарата, обуславливающая разнообразие физиологических проявлений действия стимулирующего субстрата [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение тканевого биостимулятора в технологии выращивания ремонтных телок способствовало увеличению их интенсивности роста. Наилучшими показателями отличались телки 2-й опытной группы, которым с 1-го по 5-й месяц выращивания вводили тканевый биостимулятор в дозе 3,0 мл/гол., с 6-го по 11-й – 6,0 мл/гол., с 12-го по 15-й – 12,0 мл/гол., с 16-го по 18-й месяц – 15,0 мл/гол. Это способствовало увеличению живой массы до 14% ($p < 0,001$), среднесуточного прироста до 33% ($p < 0,001$), абсолютного прироста до 23% ($p < 0,001$) и относительного прироста до 2% ($p < 0,05$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самбуров Н.В., Астахова Н.В. Выращивание ремонтных телок симментальской породы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 83–90.
2. Тузов И.Н., Каратунов В.А., Шевченко А.Н. Интерьерные особенности ремонтного молодняка голштинской породы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 135. С. 223–237.
3. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Чаргеишвили С.В., Востряков К.В., Иванов Н.В. Влияние интенсивности выращивания и возраста плодотворного осеменения на молочную продуктивность первотелок // Сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1. С. 39–44. DOI: 10.25930/2687-1254/006.1.142021.
4. Баймишев Х.Б., Муллакаев О.Т. Влияние технологии выращивания телок на структуру их яичников // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2019. Т. 237. № 1. С. 21–27. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-237-1-21-27.
5. Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Журко К.В. Влияние пробиотика «Ветом 4,24» и сорбента «Полисорб ВП» на морфологические и биохимические показатели крови телят кулундинского типа красной степной породы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (163). С. 106–112.
6. Ерёмин С.П., Дубинин А.В., Борисов И.А. Влияние сочетанного применения тканевого препарата «Биотэк» и комплекса органических кислот на биохимические показатели крови коров // Международный вестник ветеринарии. 2018. № 1. С. 69–73.
7. Петренко А.А., Барышников П.И. Влияние иммуностропных препаратов на морфобиохимические и иммунологические показатели крови телят раннего постнатального периода // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 11(217). С. 106–111. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-217-11-106-112.
8. Пушкарев И.А., Куренинова Т.В., Шаньшин Н.В., Афанасьева А.И. Интенсивность роста телят после введения коровам матерям разных доз тканевого биостимулятора // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 11(217). С. 106–111. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-217-11-106-112.

- ного университета. 2020. № 8 (190). С. 105–110.
9. Петренко А.А., Барышников П.И. Биогенные препараты и их применение в системе лечебно-профилактических мероприятий при инфекционных болезнях животных // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 12 (218). С. 87–93. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-218-12-87-93.
10. Татаркина Н.И. Выращивание ремонтного молодняка симментальской породы крупного рогатого скота // Агропродовольственная политика России. 2020. № 4. С. 21–24.
11. Ческидова Л.В., Брюхова И.В., Григорьева Н.А. Перспективные направления создания лекарственных средств нового поколения для животных с применением биотехнологий (обзор) // Ветеринарный фармакологический вестник. 2019. № 2 (7). С. 29–38. DOI: 10.17238/issn2541-8203.2019.
12. Громова О.А., Торишин И.Ю., Чучалин А.Г., Максимов В.А. Гидролизаты плаценты человека: от В.П. Филатова до наших дней // Терапевтический архив. 2022. № 94.3. С. 434–441. DOI: 10.26442/00403660.2022.03.201408.
13. Ускова И.В., Баймишев Х.Б. Динамика живой массы и показатели крови телят в зависимости от нормы выпойки цельного молока // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 3. С. 158–162. DOI: 10.17238/ISSN2072-2419.2021.3.18.
14. Николаев С.В. Раннее прогнозирование интенсивности прироста живой массы у телят с использованием биохимических маркеров крови // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 4. С. 548–554. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554.
15. Смоленцев С.Ю., Грачева О.А., Мухомудина Д.М., Шагеева А.Р. Лечение желудочно-кишечных болезней телят природными лекарственными средствами // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2022. Т. 8. № 1 (29). С. 82–90. DOI: 10.30914/2411-9687-2022-8-1-82-90.
16. Pushkarev I.A., Kureninova T.V., Shan'shin N.V., Afanas'eva A.I. The growth intensity of calves after administration of different doses of tissue bio-stimulant to their cow-mothers. *Vestnik Agricultural Academy*, 2021, no. 1, pp. 83–90. (In Russian).
17. Tuzov I.N., Karatunov V.A., Shevchenko A.N. Interior features of the repair young of Holstein breed. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2018, no. 135, pp. 223–237. (In Russian).
18. Sudarev N.P., Abylkasymov D., Chargeishvili S.V., Vostryakov K.V., Ivanov N.V. Influence of breeding intensity and age of productive insemination on the milk productivity of first-calf heifers. *Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = Agricultural Journal*, 2021, no. 1, pp. 39–44. (In Russian). DOI: 10.25930/2687-1254/006.1.142021.
19. Baimishev Kh.B., Mullakaev O.T. Influence of heifer rearing technology on the structure of their ovaries. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Bauman = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2019, vol. 237, no. 1, pp. 21–27. (In Russian). DOI: 10.31588/2413-4201-1883-237-1-21-27.
20. Afanas'eva A.I., Sarychev V.A., Zhurko K.V. Effect of the probiotic "Vetom 4.24" and the sorbent "Polysorb VP" on blood morphological and biochemical indices of Red Steppe calves of the Kulundinskiy type. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, no. 5 (163), pp. 106–112. (In Russian).
21. Eremin S.P., Dubinin A.V., Borisov I.A. The effect of combined use of tissue preparation «bio-tek» and the complex of organic acids on biochemical indicators of blood of cows. *Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii = International Journal of Veterinary Medicine*, 2018, no. 1, pp. 69–73. (In Russian).
22. Petrenko A.A., Baryshnikov P.I. Effect of immunotropic drugs on morpho-biochemical and immunological blood indices of calves of the early postnatal period. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2022, no. 11 (217), pp. 106–111. (In Russian). DOI: 10.53083/1996-4277-2022-217-11-106-112.
23. Pushkarev I.A., Kureninova T.V., Shan'shin N.V., Afanas'eva A.I. The growth intensity of calves after administration of different doses of tissue bio-stimulant to their cow-mothers. *Vestnik*

REFERENCES

1. Samburov N.V., Astakhova N.V. Cultivation of repair bodies of the Simmental breed. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kursk State Ag-*

- Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2020, no. 8 (190), pp. 105–110. (In Russian).
9. Petrenko A.A., Baryshnikov P.I. Biogenic tissue preparations and their use in the system of therapeutic and preventive measures against infectious animal diseases. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2022, no. 12 (218), pp. 87–93. (In Russian). DOI: 10.53083/1996-4277-2022-218-12-87-93.
 10. Tatarkina N.I. Breeding of replacement young Simmental cattle. *Agroproduktivnaya politika Rossii* = *Agro-food policy in Russia*, 2020, no. 4, pp. 21–24. (In Russian).
 11. Cheskidova L.V., Bryukhova I.V., Grigor'eva N.A. Advanced research directions of creation of new generation medicines for animals with application of biotechnologies (review). *Veterinarnyi farmakologicheskii vestnik* = *Bulletin of Veterinary Pharmacology*, 2019, no. 2 (7), pp. 29–38. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2541-8203.2019.
 12. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Chuchalin A.G., Maksimov V.A. Human placenta hydrolysates: from V.P. Filatov to the present day: review. *Terapevticheskii arkhiv* = *Therapeutic archive*, 2022, no. 94.3, pp. 434–441. (In Russian). DOI: 10.26442/00403660.2022.03.201408.
 13. Uskova I.V., Baimishev Kh.B. Live weight dynamics and calf blood indices depending on the rate of whole milk drinking. *Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii* = *International Journal of Veterinary Medicine*, 2021, no. 3, pp. 158–162. (In Russian). DOI: 10.17238/ISSN2072-2419.2021.3.18.
 14. Nikolaev S.V. The use of biochemical blood markers for early prediction of the intensity of live weight gain of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*, 2022, vol. 23, no. 4, pp. 548–554. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.548-554.
 15. Smolentsev S.Yu., Gracheva O.A., Mukhutdinova D.M., Shageeva A.R. Treatment of gastrointestinal diseases of calves with natural medicines. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2022, vol. 8, no. 1 (29), pp. 82–90. (In Russian). DOI: 10.30914/2411-9687-2022-8-1-82-90.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Пушкарев И.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 656910, Алтайский край, г. Барнаул, п. Научный городок, 35; e-mail: pushkarev.88-96@mail.ru

Куренинова Т.В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ivan A. Pushkarev**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 35, Nauchny Gorodok, Barnaul, Altai Territory, 656910, Russia; e-mail: pushkarev.88-96@mail.ru

Tatyana V. Kureninova, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 11.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 15.08.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023

БИОТЕХНОЛОГИИ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА КАК БАЗИС БИОИНДУСТРИАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ. УЛУЧШЕНИЯ НА ЭТАПЕ ВОСХОДЯЩЕГО ПРОЦЕССА (USP)

✉ Юматов Е.Н.¹, Евлагина Е.Г.¹, Деев И.Е.², Евлагин В.Г.¹, Лейнвебер Е.Ф.¹

¹Научно-исследовательская станция шелководства –
филиал Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра
Ставропольский край, г. Железноводск, Россия

²Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук
Москва, Россия

✉ e-mail: trast1207@mail.ru

Молекулярная инженерия – это метод инженерии «снизу вверх» для создания функциональных материалов и устройств с использованием молекул и атомов в качестве строительных блоков. В 2000 г. Япония стала первой страной в мире, которая генетически модифицировала тутового шелкопряда (*Bombyx mori*, далее *B. mori*). Последующее за этим развитие исследований в области разработки новых материалов расширили возможности использования продукции шелководства, характеризуя эту ситуацию как «революция в шелководстве». В Российской Федерации молекулярная инженерия в науках о жизни направлена на решение задач по разработке технологических платформ мирового уровня с целью создания инструментов для получения новых молекул (биополимеров, белков, ферментов), биопродуктов, клеток и организмов. Изучены основные подходы «снизу вверх», применяемые на этапе восходящего процесса (USP) в шелководстве для улучшения производственно-экономических показателей и качественных характеристик сырья. Разнообразие способов улучшения включает: использование искусственной питательной среды; молекулярную инженерию, основанную на методах транзientной экспрессии или стабильной трансформации зародышевой линии; генетические методы селекции; управление размножением и др. Преимущества тутового шелкопряда (*B. mori*): низкая стоимость разведения, значительно более высокий выход продукции по сравнению с другими системами экспрессии белка – способствуют его использованию в качестве эффективного продуцента рекомбинантных белков, антимикробных пептидов и биологически активных веществ. Биотехнологии этапа USP позволяют получать новые виды сырья для последующего преобразования в нисходящем процессе (DSP) для получения широкого спектра продуктов, способствующих улучшению качества жизни людей. Комплекс биотехнологических решений составляет современный базис биоиндустриальной платформы тутового шелкопряда.

Ключевые слова: тутовый шелкопряд, искусственная питательная среда, молекулярная инженерия, рекомбинантные белки, антимикробные пептиды

MULBERRY SILKWORM BIOTECHNOLOGY AS THE BASIS OF A BIOINDUSTRIAL PLATFORM. IMPROVEMENTS ON THE UPSTREAM PROCESSING STAGE (USP)

✉ Yumatov E.N.¹, Evlagina E.G.¹, Deyev I.E.², Evlagin V.G.¹, Leinweber E.F.¹

¹Scientific and Research Station of Silkworm Breeding –
Branch of the North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center
Zheleznovodsk, Stavropol Territory, Russia

²Shemyakin–Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia

✉ e-mail: trast1207@mail.ru

Molecular engineering is an upstream engineering method for creating functional materials and devices using molecules, and atoms as building blocks. In 2000, Japan became the first country to genetically modify silkworms (*Bombyx mori*, hereinafter referred to as *B. mori*). The subsequent research in the development of new materials expanded the possibilities of using sericulture products,

characterizing this situation as a "sericulture revolution". In the Russian Federation, molecular engineering in life sciences is aimed at solving the tasks of developing world-class technological platforms to create tools to produce new molecules (biopolymers, proteins, enzymes), bioproducts, cells and organisms. The main "bottom-up" approaches applied in the upstream process (USP) stage of silk production to improve the production and economic performance and quality characteristics of raw materials have been studied. The variety of improvement methods includes: the possibility of using artificial nutrient medium, molecular engineering based on transient expression techniques or stable germline transformation, genetic selection methods, breeding management, etc. The advantages of the mulberry silkworm (*B. mori*) such as low breeding costs, significantly higher production yield compared to other protein expression systems, favor its use as an effective producer of recombinant proteins, antimicrobial peptides and biologically active substances. USP stage biotechnologies enable the production of new raw materials for downstream processing (DSP) to produce a wide range of products that contribute to improving the quality of human life. A set of biotechnological solutions forms the modern basis of the mulberry silkworm bioindustrial platform.

Keywords: mulberry silkworm, artificial nutrient medium, molecular engineering, recombinant proteins, antimicrobial peptides

Для цитирования: Юматов Е.Н., Евлагина Е.Г., Деев И.Е., Евлагин В.Г., Лейнвебер Е.Ф. Биотехнологии тутового шелкопряда как базис биоиндустриальной платформы. Улучшения на этапе восходящего процесса (USP) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 71–85. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-8>

For citation: Yumatov E.N., Evlagina E.G., Deyev I.E., Evlagin V.G., Leinweber E.F. Mulberry silkworm biotechnology as the basis of a bioindustrial platform. Improvements on the upstream processing stage (USP). *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 71–85. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-8>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00247, <https://rscf.ru/project/23-26-00247/>.

Acknowledgments

The research was carried out at the expense of the grant from the Russian Science Foundation № 23-26-00247, <https://rscf.ru/project/23-26-00247/>.

ВВЕДЕНИЕ

Будучи единственным полностью одомашненным видом беспозвоночных, *B. mori* потенциально помогает понять сходство и различие многочисленных процессов, в том числе одомашнивания у позвоночных и растений. Одомашнивание тутового шелкопряда повлияло на различные характеристики, например, на массу оболочки кокона: у *B. mori* – 0,5 г, что в 10 раз больше, чем у *B. mandarina* (дикий тутовый шелкопряд) – 0,04–0,07 г¹[1].

В 2004 г. было представлено сообщение о предварительной последовательности генома одомашненного тутового шелкопряда².

Анализ проекта генома тутового шелкопряда впервые систематически продемонстрировал ключевые гены хозяйственных признаков, роста и развития, регуляции пола и устойчивости к болезням тутового шелкопряда. Международная исследовательская группа тутового шелкопряда, возглавляемая Юго-Западным университетом (Государственная ключевая лаборатория биологии генома тутового шелкопряда, Чунцинский центр технологий инженерии новых материалов из шелкового волокна, Чунцин 400716), завершила точную карту генома в 2008 г.³ и карту генетической информации изменчивости 40 геномов шел-

¹Ômura S. Research on the behavior and ecological characteristics of the wild silkworm, *Bombyx mandarina* // Bull. Seric. Exp. Sta. Jpn. 1950. Vol. 13. P. 7–130.

²Xia Q. et al. A draft sequence for the genome of the domesticated silkworm (*Bombyx mori*) // Science. 2004. DOI: 10.1126/science.1102210.

³International Silkworm Genome Consortium et al. The genome of a lepidopteran model insect, the silkworm *Bombyx mori* // Insect biochemistry and molecular biology. 2008. Vol. 38. N 12. C. 1036–1045. DOI: 10.1016/j.ibmb.2008.11.004.

копряда в 2009 г.⁴ в рамках транснационального сотрудничества соответственно, реализовав «Трехэтапный проект генома тутового шелкопряда».

Трансгенная технология широко использовалась в фундаментальных теоретических исследованиях тутового шелкопряда и в создании промышленных материалов, особенно в улучшении производства и качества шелка, улучшении антивирусных генетических характеристик, а также в исследованиях и разработках биореакторов, которые ускорили внедрение генетически модифицированных материалов [2].

Дизайн материалов «снизу вверх» открывает большие возможности для создания предсказуемых функциональных результатов. Технология рекомбинантной ДНК обеспечивает систематический подход к повторению, изменению и оценке пептидных комбинаций сердцевинной структуры шелка, а затем к биосинтезу полимеров на основе шелка по заданному дизайну. Обработка после биосинтеза позволяет использовать другое измерение дизайна материала путем контролируемой или вспомогательной сборки. Интеграция биосинтеза, обработки, многомасштабного моделирования и экспериментальной проверки обеспечивает путь к созданию *de novo* материалов на основе шелка с индивидуальными свойствами [3].

Цель исследования – систематизация актуальной информации по совокупности улучшений, применяемых на этапе восходящего процесса (Upstream Processing – USP), для получения новых вариантов сырья и продуктов шелководства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Производными продуктами *B. mori* (личинки (гусеницы), оболочек кокона, куколок) являются антимикробные пептиды (AMP); хитин и хитозан; различные варианты шелка: с улучшенными характеристиками (комбинация надежных механических свойств и высокой биосовместимости), рекомбинантный

шелк (рекомбинантный спидроин), искусственный сверхпрочный шелк (превосходящий натуральный паучий шелк). Сам тутовый шелкопряд служит платформой для быстрого и экономически эффективного процесса получения рекомбинантных белков, в том числе моноклональных антител и вакцин. Эти продукты найдут широкое применение в России в качестве функционального биоматериала для доставки лекарств и генов, доставки лекарств при химиотерапии, как средства лечения и заживления ран, в качестве материала в тканевой инженерии, гибкой электронике, биочернилах для 3D-биопечати, в косметике и нутрициологии, создании катализаторов и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Способы улучшения

Базисное улучшение – искусственная питательная среда

Развитие биотехнологий *B. mori* в настоящее время невозможно без использования искусственной питательной среды (ИПС или искусственной диеты), позволяющей нивелировать фактор сезонности при выращивании тутового шелкопряда с использованием листьев шелковицы. Для стран с умеренным климатом, к которым относится и Российская Федерация (РФ), данное улучшение критически важно, так как традиционный способ выкармливания позволяет осуществлять только 2-кратную выкармливание шелкопряда в летне-осенний период. Плотность выращивания шелкопряда на ИПС практически в 2–3 раза больше, чем при выращивании на листе шелковицы, что значительным образом сокращает общую требуемую производственную площадь для выращивания. Существенное снижение трудозатрат на выращивание кардинальным образом улучшает показатели производственного процесса, дальнейшее увеличение масштабов производства позволяет достигнуть эффекта экономии масштаба. В научной сфере ИПС позволяет интенсифицировать проведение исследовательских работ с последующим выходом на коммерциализацию их результатов.

⁴Xia Q., Guo Y., Zhang Z., Li D., Xuan Z., Li Z., Wang J. Complete resequencing of 40 genomes reveals domestication events and genes in silkworm (*Bombyx*) // Science. 2009. Vol. 326. N 5951. C. 433–436. DOI: 10.1126/science.1176620.

В 2023 г. Научно-исследовательская станция шелководства ведет работу по разработке собственного состава искусственного рациона, который включает в себя порошок из листа шелковицы, а также другие компоненты из растительного сырья. Идентификацию восприимчивости к искусственному рациону проводили на более 40 породах девяти географических групп живой коллекции Станции шелководства отечественной и зарубежной коллекции. Тестовые выкормки гусениц, первоначально планируемые в качестве скрининга на восприимчивость к ИПС пород шелкопряда и для последующей работы с отобранными породами, показали, что у большинства пород наблюдается ярко выраженный отклик на данный вариант питательной среды. Высокие показатели жизнеспособности при выращивании на ИПС показали 60% пород биоколлекции.

Решение одной из базовых ключевых задач по разработке и созданию рабочей ИПС, позволяющей уже на данном этапе круглогодично проводить научно-исследовательскую работу с тутовым шелкопрядом, а при последующей оптимизации процесса выращивания и масштабировать данный процесс, существенным образом сокращает разрыв РФ с ведущими странами в сфере биотехнологий тутового шелкопряда: Японией, Китаем и США.

Молекулярная инженерия. Трансгенез *B. mori* Транзиентная (вирусная) экспрессия

Одомашненный шелкопряд *B. mori* представляет собой модель насекомых, имеющую большое научное и экономическое значение. Помимо установления стабильной трансформации зародышевой линии с использованием вектора PiggyBac, были разработаны технически осуществимые способы доставки генов *in vivo* и транзитной экспрессии генов с использованием векторов на основе

вирусов, особенно вирусов Синдбис и бакуловирусов. Рекомбинантный бакуловирус, множественный нуклеополиэдровирус *Autographa californica* (AcMNPV), обычно используемый для крупномасштабной продукции белка в пермиссивных клеточных линиях или насекомых, использовался для переноса чужеродного гена в специфические пептидергические клетки *B. mori in vivo*⁵. Но недостатком применения *in vivo* AcMNPV являются его патогенные эффекты для тутового шелкопряда. Личинки или куколки чувствительных штаммов обычно погибают через 1–2 нед после инъекции AcMNPV. Эти изменения в развитии личинок были предотвращены путем разрушения не-существенного раннего гена, кодирующего ETG^{6, 7}. Поскольку направленная экспрессия генов необходима для функционального анализа генов нейропептидов и их рецепторов, бакуловирус-опосредованный перенос генов может служить надежным подходом в обратных генетических исследованиях тутового шелкопряда. Методы переноса генов и другие методы обратной генетики предоставляют мощные инструменты для функционального анализа генов и их продуктов, а также для выяснения молекулярных механизмов, лежащих в основе широкого спектра биологических процессов. Успешный трансгенез дополнительного вида насекомых, *B. mori* открывает новые перспективы в фундаментальных и прикладных исследованиях. Одним из перспективных подходов к изучению функций генов является транзиентная экспрессия чужеродных генов с использованием вирусных векторов. В этих случаях соматической трансформации трансгены не интегрируются стабильно в геном хозяина и успешный перенос гена зависит от способности вируса инфицировать ткани-мишени пермиссивного хозяина. Простая инъекция вирусной кон-

⁵Daubnerová I., Roller L., Žitňan D. Transgenesis approaches for functional analysis of peptidergic cells in the silkworm *Bombyx mori* // General and comparative endocrinology. 2009. Vol. 162. N 1. P. 36–42. DOI: 10.1016/j.ygcen.2008.11.028.

⁶Shikata M., Shibata H., Sakurai M., Sano Y., Hashimoto Y., Matsumoto T. The ecdysteroid UDP-glucosyltransferase gene of *Autographa californica* nucleopolyhedrovirus alters the moulting and metamorphosis of a non-target insect, the silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera, Bombycidae) // Journal of general virology. 1998. Vol. 79. N 6. P. 1547–1551. DOI: 10.1099/0022-1317-79-6-1547.

⁷Guo T.Q., Wang J.Y., Guo X.Y., Wang S.P., Lu C.D. Transient *in vivo* gene delivery to the silkworm *Bombyx mori* by EGT-null recombinant AcNPV using EGFP as a reporter // Archives of virology. 2005. Vol. 150. P. 93–105. DOI: 10.1007/s00705-004-0383-y.

струкции хозяину на любой стадии развития дает прекрасные возможности для введения различных генов или молекулярных маркеров в клетки-мишени или ткани и изучения функциональных результатов их экспрессии. Таким образом, вирусные системы являются относительно простыми и эффективными инструментами для репортерных анализов или физиологических и поведенческих анализов (см. сноску 5).

Альфовирус Синдбис (SINV) в настоящее время используется в качестве высокоэффективного трансдуцирующего агента в биологии насекомых. Однако опосредованная вирусом Синдбис экспрессия эктопических генов/молчание РНК может быть ограничена ограниченным тканевым тропизмом вирусной инфекции. Например, некоторые органы *B. mori*, такие как гонады, мальпигиевы каналы и личиночный эпидермис, устойчивы к инфекции SINV⁸. К недостаткам векторов на основе SINV также относится нестабильность рекомбинантных клонов после многократных пассажей в культивируемых клетках⁹. Наконец, вирус инфицирует клетки млекопитающих, и, таким образом, инфекция SINV может быть опасной для человека.

Первое успешное введение гена в *B. mori* было выполнено с помощью рекомбинантного BmSNPV-опосредованного *in vivo*, экспрессия генов (BmSNPV – вирус ядерного полиэдрома *B. mori*) хориона контролируется их собственными регуляторными элементами. Заражение куколок тутового шелкопряда рекомбинантным вирусом вызывало транзентную и тканеспецифическую экспрессию хориона¹⁰. I. Daubnerová et al. (2009) исполь-

зовали удобную бакуловирусную экспрессионную систему Bac-to-Bac® (Invitrogen) для введения генов и транзентных генетических манипуляций с перmissive штаммами тутового шелкопряда, чтобы прояснить вопросы, касающиеся передачи сигналов нейрорепептидов, необходимых для нормального развития и поведения (см. сноску 5).

Личинки *B. mori* десятилетиями использовались в качестве биореактора для производства рекомбинантных белков. S. Maeda et al. в 1985 г. впервые сообщили о продукции интерферона альфа человека (IFN-α) в гемолимфе личинок тутового шелкопряда с использованием BmNPV (нуклеополиэдровирус *Bombyx mori*), содержащего ген, кодирующий альфа-интерферон человека, управляемый полиэдриновым промотором¹¹. Многие белки эукариот были экспрессированы в личинках *B. mori* и очищены. В целом уровень экспрессии рекомбинантных белков в личинках тутового шелкопряда выше, чем в культурах клеток насекомых и животных.

Бакмидная система BmNPV, сконструированная Motohashi et al. (2005)¹², требует только инъекции ДНК бакмиды BmNPV в личинки и куколки тутового шелкопряда, что обеспечивает быструю экспрессию рекомбинантных белков, поскольку исключает приготовление бакуловирусного раствора путем трансфекции по сравнению с бакуловирусной системой экспрессии с использованием культивируемых клеток. Кроме того, эта бакмидная система BmNPV резко сократила время, необходимое для продукции рекомбинантного белка путем экспрессии в тутовом шелкопряде. Для улучшения экспрессии бел-

⁸Uhlirova M., Foy B.D., Beaty B.J., Olson K.E., Riddiford L.M., Jindra M. Use of Sindbis virus-mediated RNA interference to demonstrate a conserved role of Broad-Complex in insect metamorphosis // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2003. Vol. 100. N 26. C. 15607–15612. DOI: 10.1073/pnas.2136837100.

⁹Foy B.D., Myles K.M., Pierro D.J., Sanchez-Vargas I., Uhliřová M., Jindra M., Olson K.E. Development of a new Sindbis virus transducing system and its characterization in three Culicine mosquitoes and two Lepidopteran species // Insect molecular biology. 2004. Vol. 13. N 1. C. 89–100. DOI: 10.1111/j.1365-2583.2004.00464.x.

¹⁰Iatrou K., Meidinger R.G. Tissue-specific expression of silkworm chorion genes *in vivo* using *Bombyx mori* nuclear polyhedrosis virus as a transducing vector // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1990. T. 87. N 10. C. 3650–3654. DOI: 10.1073/pnas.87.10.3650.

¹¹Maeda S., Kawai T., Obinata M., Fujiwara H., Horiuchi T., Saeki, Y., Furusawa M. Production of human α-interferon in silkworm using a baculovirus vector // Nature. 1985. Vol. 315. N 6020. C. 592–594.

¹²Motohashi T., Shimojima T., Fukagawa T., Maenaka K., Park E.Y. Efficient large-scale protein production of larvae and pupae of silkworm by *Bombyx mori* nuclear polyhedrosis virus bacmid system // Biochemical and biophysical research communications. 2005. Vol. 326. N 3. C. 564–569. DOI: 10.1016/j.bbrc.2004.11.060.

ка были сконструированы модифицированные бакмиды BmNPV: BmNPV-CP бакмида, бакмида гибридного нуклеополиэдровируса (HyNPV)¹³.

Среди доступных систем экспрессии отмечены: система экспрессии *Escherichia coli* (*E. coli*), эукариотические клетки, включая клетки млекопитающих (т.е. человека 293, СНО хомяка и т.д.) и дрожжей (т.е. *Pichia pastoris*, *Saccharomyces cerevisiae* и т.д.); бакуловирусная векторная система экспрессии (BEVS), имеющая много преимуществ для экспрессии этих белков, включая высокий уровень экспрессии с помощью сильных промоторов (полиэдрин и P10); посттрансляционные модификации, подобные тем, которые генерируются в системах экспрессии на основе клеток млекопитающих, и более низкая стоимость в сравнении с ними.

Система экспрессии *B. mori* представляет собой BEVS, в котором шелкопряд вместо клеточных линий используется в качестве биореактора для производства рекомбинантных белков. Однако конструирование, амплификация и очистка рекомбинантного вируса BmNPV с использованием клеточной линии тутового шелкопряда требуют много времени и специальных методов, а также системы AcNPV (нуклеополиэдровирус *Autographa californica*, гибридный вирус AcMNPV). В качестве решения этой проблемы доступна технология трансгенного шелкопряда без обработки вирусом для стабильной экспрессии рекомбинантных белков¹⁴.

А. Usami et al. (2011), используя гибридную бакуловирусную систему, сравнили экспрессию 45 рекомбинантных белков из шести категорий, используя две модели: тутовый шелкопряд (личинки и куколки) и клеточную линию Sf9. Всего было успешно экспрессировано 45 белков; получение гибридного ба-

куловируса оказалось неудачным для одного белка, два белка не экспрессировались. Сходный паттерн экспрессии наблюдался как в клетках тутового шелкопряда, так и в клетках Sf9, с двойными и множественными полосами, обнаруженными при иммуноблоттинге преципитата обоих хозяев. Деградированные белки были обнаружены только в системе тутового шелкопряда (особенно у личинок). Получение личинок (гусениц) тутового шелкопряда являлось более эффективным, один шелкопряд продуцировал примерно в 70 раз больше белка, чем 106 клеток Sf9 в 2 мл питательной среды¹⁵.

Развитие и совершенствование систем экспрессии на основе бакуловируса продолжается в настоящее время. Так, Н. Yagi et al. (2020) представили данные по развитию ранее разработанного метода изотопной маркировки гликопротеинов для исследований ядерного магнитного резонанса (NMR) использованием личинок тутового шелкопряда, выращенных на искусственной диете [4]. J. Wei et al. (2022) представили результаты создания новой системы экспрессии бакуловирус – тутовый шелкопряд, в которой была предложена инокуляции очищенных окклюзионных тел непосредственным распылением их на листья тутового дерева, с целью крупномасштабного промышленного производства [5].

Стабильная трансформация зародышевой линии (трансгенез)

Вектор на основе транспозона PiggyBac был успешно использован для трансформации *B. mori*. Трансген стабильно передавался следующему поколению посредством нормального менделевского наследования¹⁶. Популярным методом получения трансгенного тутового шелкопряда является инъекция, полученная из PiggyBac-транспозона плазмиды с конструкцией-мишенью в яйца шелкопря-

¹³Kato T., Kajikawa M., Maenaka K., Park E.Y. Silkworm expression system as a platform technology in life science //Applied microbiology and biotechnology. 2010. Vol. 85. P. 459–470. DOI: 10.1007 / s00253-009-2267-2.

¹⁴Kajikawa M. Silkworm Baculovirus expression system for molecular medicine //Journal of Biotechnology & Biomaterials. 2012. Vol. 9. N 01. P. 1. DOI: 10.4172/2155-952X.S9-005.

¹⁵Usami A., Ishiyama S., Enomoto C., Okazaki H., Higuchi K., Ikeda M., Nagaya H. Comparison of recombinant protein expression in a baculovirus system in insect cells (Sf9) and silkworm // The journal of biochemistry. 2011. Vol. 149. N 2. P. 219–227. DOI: 10.1093/jb/mvq138.

¹⁶Tamura T., Thibert C., Royer C., Kanda T., Eappen A., Kamba M., Couble P. Germline transformation of the silkworm *Bombyx mori* L. using a PiggyBac transposon-derived vector // Nature biotechnology. 2000. Vol. 18. N 1. P. 81–84. DOI: 10.1038/71978.

да. У трансгенного тутового шелкопряда несколько рекомбинантных белков экспрессируются в шелковой железе и продуцируются в коконах на уровне от одного до нескольких сотен миллиграмм/микрограмм массы кокона. Технология трансгенного шелкопряда может быть использована для модификации штаммов-хозяев для бакуловирусной системы экспрессии. Существует два различных метода использования трансгенного тутового шелкопряда. Одним из них является экспрессия полезных генов для производства рекомбинантных белков, таких как молекулярные шапероны и ферменты, модифицирующие белок, независимо от их происхождения. Другой способ – подавление или нокаутирование вредных генов с помощью РНК-интерференции или нацеливания на гены (см. сноску 13).

Тутовый шелкопряд обладает способностью синтезировать большое количество белков шелка в своей шелковой железе. Механизм синтеза белков шелка широко изучен на молекулярном уровне^{17, 18}. Шелк состоит из двух белков, называемых фиброином и серицином. Фиброин является основным компонентом шелковых волокон, серицин представляет собой своего рода клейкий белок, покрывающий поверхность волокон. Фиброин составляет около 75% всех белков шелка и вырабатывается в задней шелковой железе (PSG). Остальные 25% составляют серицин, который синтезируется в средней шелковой железе (MSG). Фиброин содержит три разных белка, называемых тяжелой (H) и легкой (L) цепями фиброина, а также фиброгексамарин (FHX), которые производятся в молярном соотношении 6 : 6 : 1 соответственно¹⁹. Характер шелка как волокна определяется крупной H-цепью фиброина, молекулярная масса которой составляет 350–400 кДа. L-цепь фиброина и FHX представляют со-

бой небольшие белки с молекулярной массой около 25 кДа.

Система для получения рекомбинантных белков у трансгенного тутового шелкопряда использует систему синтеза шелка в шелковой железе и гены шелка, которые сильно экспрессируются в шелковой железе. До сих пор для производства PSG использовались системы продукции, использующие L- и H-цепи фиброина и гены FHX. В MSG были разработаны две разные системы, использующие ген серицина 1. Каждый из них имеет преимущества и недостатки в зависимости от цели производства белка. Для надлежащего использования трансгенных тутовых шелкопрядов требуется тщательный выбор производственной системы продукции рекомбинантного белка. Системы подразделяются: система продукции рекомбинантного белка с использованием гена L-цепи фиброина, система экспрессии бинарных трансгенов GAL4/UAS, система экспрессии гена FHX, система продукции с использованием гена H-цепи фиброина, система экспрессии, включающая промотор гена серицина 1, ген BmNPV ie1 и последовательность энхансера hr3²⁰.

Трансгенных тутовых шелкопрядов можно использовать в качестве биореакторов для производства рекомбинантных белков. Их можно легко получить, используя ДНК-транспозон PiggyBac в качестве вектора путем инъекции хелперной и векторной плазмидной ДНК в яйца сразу после откладывания яиц. Системы производства рекомбинантного белка были сконструированы с использованием генов шелка, экспрессированных в шелковой железе. Система экспрессии в PSG пригодна для производства генетически модифицированного шелка. Шелк, полученный трансгенными шелкопрядами, можно использовать для производства тка-

¹⁷Mizuno S. Regulation of fibroin gene expression and secretion of fibroin in the silk gland //Seikagaku. The Journal of Japanese Biochemical Society. 1987. Vol. 59. N 12. P. 1308–1320.

¹⁸Julien E. Silk gland development and regulation of silk protein genes //Comprehensive molecular insect science. 2005. Vol. 2. P. 369–384.

¹⁹Inoue S., Tanaka K., Arisaka F., Kimura S., Ohtomo K., Mizuno S. Silk fibroin of Bombyx mori is secreted, assembling a high molecular mass elementary unit consisting of H-chain, L-chain, and P25, with a 6: 6: 1 molar ratio //Journal of Biological Chemistry. 2000. Vol. 275. N 51. P. 40517–40528. DOI: 10.1074/jbc.M006897200.

²⁰Tatemastu K., Sezutsu H., Tamura T. Utilization of transgenic silkworms for recombinant protein production //J Biotechnol Biomaterial S. 2012. Vol. 9. P. 1–8. DOI: 10.4172/2155-952X.S9-004.

ней и биоматериалов для медицинских целей. Система в MSG подходит для производства рекомбинантных белков, которые можно использовать в фармацевтических целях. Последняя система может давать до 4 мг рекомбинантного белка на одного шелкопряда. Трансгенные шелкопряды обладают несколькими важными свойствами, что делает их хорошими кандидатами для использования в качестве биореактора. Шелковые железы представляют собой высокоэффективную систему для производства большого количества белков с производительностью более 500 мг белков шелка на одну личинку. Кроме того, жировое тело личинки способно синтезировать около 100 мг белка гемолимфы/личинка. Другие преимущества включают низкую стоимость выращивания тутового шелкопряда в короткое время, необходимое для получения трансгенных тутовых шелкопрядов (60 дней) [6].

К технологиям генетического манипулирования *B. mori* относятся технологии на основе транспозонов – технологии интеграции трансгенов (транспозоны ДНК-типа от насекомых и рекомбинация, специфичная для сайта); технологии экспрессии трансгенов (индуцируемая нагреванием система экспрессии); система экспрессии Gal4/вышележащих активирующих последовательностей; система экспрессии тетрациклин-включение/тетрациклин-выключение; технология сайленсинга генов на основе трансгенной РНК-интерференции; технологии ловушек генов и энхансеров. Существуют технологии редактирования генома: нуклеазы цинковых пальцев (ZFN); эффекторные нуклеазы, подобные активаторам транскрипции (TALEN); короткие палиндромные повторы с регулярно расположенными кластерами / CRISPR-ассоциированные 9 (CRISPR/Cas9) [7].

Y. Wang et al. (2015) успешно сконструировали MGES (мультигенная экспрессионная система), позволяющую генерировать шелк с двумя или более дополнительными ценными функциями, такими как ранозаживляющая

и антибактериальная активность, биосовместимость и способность к регенерации тканей, или высокая прочность и выносливость за счет опосредованной MGES коэкспрессии нескольких функциональных генов [8]. Z. Li et al. (2022) представили данные по созданию целевой системы экспрессии, используя целевую вставку, опосредованную активатором транскрипции, эффекторной нуклеазой (TALEN), которая позволяет продуцировать до 3,1% (масса / масса) белка EGFP в оболочке кокона. С помощью этой стратегии дополнительно экспрессировали важный с медицинской точки зрения человеческий эпидермальный фактор роста (hEGF), выход белка как в средних шелковых железах, так и в оболочке коконов достиг более чем в 15 раз более высокого уровня, чем канонический трансгенез на основе PiggyBac [9].

Ген, который необходимо внедрить в тутового шелкопряда, вводят в яйцо сразу после откладки яиц бабочкой. При инъекции он встраивается в хромосомную ДНК тутового шелкопряда. Личинки, вылупившиеся из яиц, размножаются во взрослых особей, наследственность появляется в следующем поколении после спаривания и откладки яиц, инъектированных шелкопрядов. Отобранные трансгенные шелкопряды используются для воспроизводства новых линий трансгенных животных, способных передавать наследственную информацию. Потомство рекомбинантных тутовых шелкопрядов возможно получать неограниченно. По этой причине достаточно первой инъекции в яйца (грону) шелкопряда²¹. N. Yamada et. al (2023) разработали метод инъекции генной инженерии яиц диапазирующих пород тутового шелкопряда с использованием диметилсульфоксида (DMSO). Метод прост в исполнении и надежен, что позволяет применять его к различным диапазирующим породам тутовых шелкопрядов, в том числе к гибридным комбинациям японского, китайского, европейского происхождения и мутантным бивольтинным и поливольтинным штаммам [10].

²¹Nobuo Kuwabara. Breeding of Genetically Modified Silkworms by Sericulture Farmers //Bulletin of the "SEKAITO"-Silk Powered Innovation Incubator of the Gunma Prefectural World Heritage Center / Gunma Prefectural World Heritage Center "The power of raw silk to change the world" Institute. 2022. N 2. P. 25–34. https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/9306/9306_tokushu_2.pdf.

Генетические методы селекции и регуляции пола

Управление размножением *B. mori*

Используя партеногенетические клоны как материнские и скрещивая их с породами, меченными по полу, можно получить клоново-породные гибриды со 100%-й чистотой. В Узбекистане гибриды пород АПК × С-5, 9ПК × С-5, 9ПК × С-10, партеногенетических клонов и детерминированных по полу цветом яиц пород тутового шелкопряда, созданные искусственно как средство управления размножением шелкопряда, по репродуктивным показателям и жизнеспособности превышали показатели контрольных гибридов [11].

Абляция

Для генной инженерии тутового шелкопряда требуется микроинъекция генетического материала в яйца без диапаузы. Помимо того, что диапауза может быть полезна для поддержания трансгенных линий, недостатком этой технологии является то, что большинство стандартных штаммов тутового шелкопряда и представляющие интерес экспериментальные линии производят диапаузирующие яйца. N. Yamada et al. (2022) исследовали абляцию (удаление биологической структуры или функциональности, генетическая абляция – это еще один термин, обозначающий подавление экспрессии генов, при котором экспрессия генов отменяется посредством изменения или удаления информации о генетической последовательности) подпещеводного ганглия (SG) у куколок самок, который является источником гормона, необходимого для запуска диапаузы яйца как средство отмены диапаузы²². Показано, что абляция SG является надежным методом получения яйцеклеток без диапаузы. Кроме того, проблема, связанная с более низкой плодовитостью самок с абляцией SG, была решена путем инъекции пилокарпина спариваемой самке. Также исследовали пригодность яиц без диапаузы, отложенных самками с абляцией SG, для трансгенеза, направленного мутагенеза

и индукции партеногенетического развития. Результаты продемонстрировали, что SG-абляция является полезным и простым методом для расширения возможностей, связанных с генной инженерией шелкопряда [12].

Генетическая гибридизация трансгенных шелкопряда

D. Long et al. (2021) предложили стратегию, называемую «легкой одеждой», основанную на обрезке избыточных аддитивных структурных доменов, для генетической гибридизации высокоактивного функционального слияния POI с материалами на основе шелка с использованием трансгенных платформ биосинтеза на основе тутового шелкопряда. Процесс генетической гибридизации от трансформации зародышевой линии *B. mori*, генерации, обратного скрещивания, скрининга и молекулярной идентификации трансгенных тутовых шелкопряда позволил по сравнению с обычными системами экспрессии значительно повысить активность слитых POI без ущерба для процесса генетической гибридизации. Эта повышенная активность слитых POI может быть связана с удалением лишних посттрансляционных модификаций и увеличением структурного сходства с нативными POI. По сравнению с прямым включением коммерчески доступных POI в материалы на основе шелка эти генетически гибридизованные материалы на основе шелка не только обладают сопоставимой активностью POI, но также обеспечивают дополнительные преимущества, в частности в логистике и при отсутствии необходимости хранения холодовой цепи [13].

Заражение патогенами и трансгенез для получения антимикробных пептидов (AMP)

Некоторые авторы описали более 30 AMP у тутового шелкопряда, классифицированных в такие группы, как цекропины, аттацины, морицины, гловерины, лебоцины, энбоцины и дефенсины; большинство этих AMP эффективны как против грамположительных, так и против грамотрицательных бактерий, а

²²Heritage Center "The power of raw silk to change the world" Institute. 2022. N 2. P. 25–34. https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/9306/9306_tokushu_2.pdf.

также против других микроорганизмов^{23, 24} [14]. АМР являются наиболее востребованными терапевтическими соединениями благодаря своим характеристикам, включающим низкую токсичность для человека и животных; высокую специфичность и улучшенную эффективность против микробов-мишеней по сравнению с обычными антибиотиками; и, самое главное, тот факт, что большинство микробов не могут выработать резистентность к АМР. М. Mastore et al. (2021) использовали *B. mori* в качестве модельного организма для проверки пригодности гемолимфы в качестве источника АМР. После простых этапов очистки плазму анализировали и тестировали на различных штаммах грамположительных и грамотрицательных бактерий. Результаты показали, что частично очищенная плазма тутового шелкопряда может быть многообещающим источником АМР, которые можно использовать в препаратах для местного применения без дополнительных и дорогостоящих стадий очистки. Кроме того, проведены предварительные тесты на возможное хранение этих молекул в неохлажденных условиях. Результаты, полученные при хранении препаратов при температуре выше комнатной (25 °C), не показали существенной потери эффективности в отношении *E. coli* [15].

Тутовых шелкопрядов заражают патогенами, чтобы изолировать АМР во время их пятого возраста, продолжительностью 6–8 дней, что дает достаточно времени для развития инфекции. АМР тутового шелкопряда представляют собой низкомолекулярные белки (< 50 аминокислотных остатков; < 10 кДа, за редким исключением), среди которых большинство из них проявляют активность широкого спектра в отношении различных микроорганизмов. Кроме того, содержание жира в организме тутового шелкопряда достигает

своего пика в этот возраст, который является основным источником АМР²⁵ [16]. После заражения иммунокомпетентные ткани лизируют в подходящем буфере для извлечения белков и подвергают различным хроматографическим методам, таким как ионообменная хроматография, гель-фильтрационная хроматография и ОФ (обращенно-фазовая) – ВЭЖХ (высокоэффективная жидкостная хроматография) для очистки [17].

Трансгенез для получения антимикробных пептидов (АМР)

Трансгенез тутового шелкопряда был расширен за счет включения противомикробных пептидов в белки шелка. Трансгенный шелк, слитый с противомикробным средством СЕС В или MOR пептиды, ингибировал рост *E. coli*. Кроме того, и шелковая пряжа сохраняла антибактериальные свойства в отношении кишечной палочки. Шелковые волокна сохраняют активность и противомикробные молекулы MOR после процесса рафинирования [18].

Прямое введение искусственных добавок. Метод прямого кормления

Производство флуоресцентного шелка является примером использования как метода трансгенеза, так и метода прямого кормления. Шелковый фиброин, трансгенно-гибридизованный с флуоресцентными белками, может быть обработан и регенерирован в различные формы с нано- и микроструктурами для применения в оптике, электронике, оптоэлектронике и медицине, так как он прозрачен, механически стабилен, съедобен, биосовместим и имплантируем в организм человека. Другой способ производства флуоресцентного шелка – использование методов прямой подачи, основанных на поглощении молекул флуоресцентного красителя в естественных условиях шелковыми железами.

²³Tanaka H., Ishibashi J., Fujita K., Nakajima Y., Sagisaka A., Tomimoto K., Yamakawa M. A genome-wide analysis of genes and gene families involved in innate immunity of Bombyx mori // Insect biochemistry and molecular biology. 2008. Vol. 38. N 12. P. 1087–1110. DOI: 10.1016/j.ibmb.2008.09.001.

²⁴Tanaka H., Yamakawa M. Regulation of the innate immune responses in the silkworm, Bombyx mori // Invertebrate Survival Journal. 2011. Vol. 8. N 1. P. 59–69.

²⁵Kajiwaru H., Ito Y., Imamaki A., Nakamura M., Mita K., Ishizaka M. Proteomic analysis of silkworm fat body // Journal of Insect Biotechnology and Sericology. 2006. Vol. 75. N 2. P. 47–56. DOI: 10.11416/jibs.75.47.

Как правило, шелк флуоресцентного цвета можно получить, используя модифицированную диету из листьев шелковицы, содержащую молекулы распространенных в текстильной промышленности красителей: роданиновые красители (например, сульфородамин) и азокрасители (например, бриллиантовый желтый, конголезский)²⁶. Молекулярная масса – фактор, влияющий на поглощение молекул красителя биохимическими путями тутового шелкопряда. Молекулярная масса ниже 400 г/моль необходима для эффективного транспорта красителей в биохимические пути организма тутового шелкопряда и для производства естественно окрашенных шелковых волокон [19].

Н. Xu et al. (2019) продемонстрировали улучшение механических характеристик новых шелковых волокон, полученных путем скормливания тутовому шелкопряду очищенных и биосовместимых одно- и многостенных углеродных нанотрубок (CNTs). Повышенное содержание CNTs не только способствовало самосборке шелковых волокон в буферные узлы, но также повышало проводимость графитизированного шелка. В целом показано, что данные стратегии покрытия и очистки обеспечивают потенциально простой способ получения натуральных шелковых волокон с высокими механическими характеристиками [20].

Непосредственное кормление шелколичных червей или пауков искусственными добавками может быть практичным способом производства усиленных шелковых волокон, что позволяет легко производить шелк, содержащий функционально-аддитивные наноматериалы. Это возможно отчасти потому, что шелкопряды имеют открытую сердечно-сосудистую систему. Все их органы плавают в гемолимфе, представляющей собой смесь лимфы и клеток крови, окружающие все ткани. Таким образом, уникальная анатомия тутового шелкопряда очень полезна

для производства функционального шелка методами прямого кормления (пероральное воздействие и потребление) наноматериалов. Наноразмерные добавки могут диффундировать из пищевого канала в гемолимфу, а затем в железы и другие ткани. В частности, если наноматериалы вводятся перорально, они всасываются в пищеварительном тракте, проходят через пищеварительный тракт, мембранный барьер и циркулируют в гемолимфе и клетках [21].

Комбинация методов трансгенеза, прямого кормления и обратного скрещивания

Фиброин шелка, содержащий неприродные аминокислоты, получен путем скормливания трансгенным *B. mori* *n*-хлор-, *n*-бром- и *n*-азидозамещенных аналогов L -фенилаланина (Phe) *in vivo*, который экспрессировал мутант фенилаланил-тРНК-синтетазы с расширенными возможностями распознавания субстрата в шелковых железах. Азидные группы, включенные в фиброин, были активны в качестве химических маркеров для клик-химии как в солюбилизованном, так и в твердом (волокнистом) состоянии. Азиды выдержали дегумирование в кипящем щелочном растворе, необходимое для полного удаления слоя серицина. Это демонстрирует, что фиброин шелка, содержащий AzPhe (синтетическая аминокислота), может быть универсальной платформой для производства «кликабельных» шелковых материалов в различных формах²⁷. Практическое применение AzidoSilk было затруднено низкой продуктивностью. Позднее Y. Tian et al. (2022) представили данные по выведению новой трансгенной линии *B. mori* для массового производства AzidoSilk с использованием обычного метода обратного скрещивания. Полученная новая линия *B. mori*, созданная после пятикратного обратного скрещивания, дала в 2,6 раза больше AzidoSilk на личинку с увеличением продуктивности на 25% [22].

²⁶Tansil N.C., Li Y., Teng C.P., Zhang S., Win K.Y., Chen X., Han M.Y. Intrinsically colored and luminescent silk // Advanced Materials. 2011. Vol. 23. N 12. P. 1463–1466. DOI: 10.1002/adma.201003860.

²⁷Teramoto H., Kojima K. Production of Bombyx mori silk fibroin incorporated with unnatural amino acids // Biomacromolecules. 2014. Vol. 15. N 7. P. 2682–2690. DOI: 10.1021/bm5005349.

Совокупность биотехнологических улучшений *B. mori*

Жизненный цикл *B. mori* включает пять основных стадий развития: яйцо (грена) (период инкубации от 10 до 14 дней); гусеница (личинка) – период развития – 20–25 дней (для 3-линочных пород) и 24–39 дней (для 4-линочных пород); кокон (завивки 3–5 дней); куколка (продолжительность стадии – от 10 до 15 дней); бабочка (процесс спаривания (папильонаж) проходит в течение нескольких часов). Основные улучшения, осуществляемые на различных этапах жизненного цикла, и целевые продукты для последующей переработки представлены на рисунке.

Улучшения

Стадия яйца

(1) Трансгенез – для получения рекомбинантных белков, включение неприродных аминокислот (UAA), для последующей генетической гибридизации, метод инъекции генной инженерии яиц диапазирующих пород.

(2) Трансгенез для получения антимикробных пептидов (AMP).

(3) Искусственное размножение: амейотический и мейотический партеногенез, гиногенез, андрогенез, полиплоидия; методы: физические и химическое воздействие: нагревание, ионизирующее излучение, специальные

яды и др.; микрохирургия, встряхивание и др.; клонирование.

Стадия гусеницы

(1) Базисное улучшение – использование искусственной питательной среды (ИПС).

(2) Транзиентная система – инъекции ДНК бакмиды BmNPV и другие в личинки, экспрессия и продуцирование рекомбинантных белков в гемолимфе шелкопряда.

(3) Трансгенез – рекомбинантные белки экспрессируются в шелковой железе.

(4) Транзиентная и стабильные системы экспрессии – инокуляция очищенных окклюзионных тел непосредственным распылением их на ИПС или пероральное заражение.

(5) Заражение патогенами для получения антимикробных пептидов (AMP).

(6) Прямое введение искусственных добавок (метод прямого кормления).

Стадия кокона

(1) Трансгенез – продуцирование целевых рекомбинантных белков в оболочку кокона: слой фиброина и серицина.

(2) Трансгенез – получение рекомбинантных шелковых нитей.

(3) Прямое кормление – получение шелковых нитей с улучшенными механическими характеристиками.

Стадия куколки

(1) Транзиентная система – инъекции ДНК бакмиды BmNPV и другие в куколки, экспрессия и продуцирование рекомбинантных белков.

(2) Абляция – для отмены диапаузы.

Стадия бабочки

(1) Генетическая гибридизация – для получения новых линий (пород) с улучшенными свойствами.

(2) Генетическая гибридизация трансгенных шелкопрядов – обратное скрещивание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразие биотехнологических решений, используемых на различных этапах жизненного цикла тутового шелкопряда, направлено на качественные и количественные улучшения в содержании и размножении, получении новых видов сырья и на последу-



Жизненный цикл и улучшения *B. mori*
Life cycle and improvements of *B. mori*

ющем нисходящем этапе – новых продуктов. И личинка, и оболочка кокона, и куколка *B. mori* могут использоваться для продуцирования рекомбинантных белков. Возможность комбинирования методов трансгенеза, прямого кормления и обратного скрещивания еще более расширяют вариативность и эффективность в получении новых целевых продуктов. Комплекс улучшений обеспечивает базис биотехнологической платформы на основе *B. mori*, масштабирование которой превращает ее в биоиндустриальную платформу для современной фармацевтической индустрии, состоящей из функциональных биоматериалов для доставки лекарств и генов, средств лечения и заживления ран, биоматериалов для тканевой инженерии, гибкой электроники, биочернил для 3D-биопечати, косметики и нутрициологии; для индустрии новых улучшенных текстильных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xiang H., Liu X., Li M., Zhu Y. N., Wang, L., Cui Y., Zhan S. The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm // Nature ecology & evolution. 2018. Vol. 2. N 8. C. 1268–1279. DOI: 10.1038/s41559-018-0593-4.
2. Ma S.Y., Xia Q.Y. Genetic breeding of silkworms: from traditional hybridization to molecular design // Yi Chuan = Hereditas. 2017. Vol. 39. N 11. P. 1025–1032. DOI: 10.16288/j.ycz.17-103.
3. Huang W., Ebrahimi D., Dinjaski N., Tarakanova A., Buehler M.J., Wong J.Y., Kaplan D.L. Synergistic integration of experimental and simulation approaches for the de novo design of silk-based materials // Accounts of chemical research. 2017. Vol. 50. N 4. P. 866–876. DOI: 10.1021/acs.accounts.6b00616.
4. Yagi H., Yanaka S., Yogo R., Ikeda A., Onitsuka M., Yamazaki T., Kato K. Silkworm pupae function as efficient producers of recombinant glycoproteins with stable-isotope labeling // Biomolecules. 2020. Vol. 10. N 11. P. 1482. DOI: 10.3390/biom10111482.
5. Wei J., Fan Y., Jing X., Fei Z., Li C., Pan G., Zhou Z. Establishment of a Novel Baculovirus–Silkworm Expression System // Microorganisms. 2022. Vol. 10. N 5. P. 1013. DOI: 10.3390/microorganisms10051013.
6. Tatematsu K.I., Uchino K., Sezutsu H., Tamura T. Effect of ATG initiation codon context motifs on the efficiency of translation of mRNA derived from exogenous genes in the transgenic silkworm, *Bombyx mori* // SpringerPlus. 2014. Vol. 3. N 1. P. 1–12. DOI: 10.1186/2193-1801-3-136.
7. Xu H., O'Brochta D. A. Advanced technologies for genetically manipulating the silkworm *Bombyx mori*, a model Lepidopteran insect // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2015. Vol. 282. N 1810. P. 20150487. DOI: 10.1098/rspb.2015.0487.
8. Wang Y., Wang F., Wang R., Zhao P., Xia Q. 2A self-cleaving peptide-based multi-gene expression system in the silkworm *Bombyx mori* // Scientific reports. 2015. Vol. 5. N 1. P. 16273. DOI: 10.1038/srep16273.
9. Li Z., You L., Zhang Q., Yu Y., Tan A. A targeted in-fusion expression system for recombinant protein production in *Bombyx mori* // Frontiers in Genetics. 2022. Vol. 12. P. 816075. DOI: 10.3389/fgene.2021.816075.
10. Yamada N., Mise Y., Yonemura N., Sakai H., Uchino K., Sezutsu H., Iizuka, T. Development of an Injection Method for the Genetic Engineering of Diapause Silkworm Egg Using Dimethyl Sulfoxide // Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ. 2023. Vol. 57. N 1. P. 63–72. DOI: 10.6090/jarq.57.63.
11. Ларькина Е.А., Акилов У.Х., Туйчиев Ж.Ш., Асронов Э.К., Солиева М.Б., Абдикаюмова Н.К. Использование способов управления размножением тутового шелкопряда (*Bombyx mori* L.) в практическом шелководстве // Аграрная наука. 2022. Т. 1. № 7–8. С. 114–120. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-114-120.
12. Yamada N., Mise Y., Yonemura N., Uchino K., Zabelina V., Sezutsu H., Tamura T. Abolition of egg diapause by ablation of suboesophageal ganglion in parental females is compatible with genetic engineering methods // Journal of Insect Physiology. 2022. Vol. 142. P. 104438. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2022.104438.
13. Long D., Cheng X., Hao Z., Sun J., Umuhzoza D., Liu Y., Zhao A. Genetic hybridization of highly active exogenous functional proteins into silk-based materials using “light-clothing” strategy // Matter. 2021. Vol. 4. N 6. P. 2039–2058. DOI: 10.1016/j.matt.2021.03.020.
14. Li G., Xia X., Long Y., Li, J., Wu J., Zhu Y. Research progresses and applications of antimicro-

- bial peptides // Chinese Journal of Animal Nutrition. 2014. Vol. 26. N 1. P. 17–25.
15. Mastore M., Quadroni S., Caramella S., Brivio M.F. The silkworm as a source of natural antimicrobial preparations: efficacy on various bacterial strains // Antibiotics. 2021. Vol. 10. N 11. P. 1339. DOI: 10.3390/antibiotics10111339.
16. Rahul K., Moamongba K.S., Rabha M., Sivaprasad V. Identification and characterization of bacteria causing flacherie in mulberry silkworm, *Bombyx mori* L // Journal of Crop and Weed. 2019. Vol. 15. N 3. P. 178–181. DOI: 10.22271/09746315.2019.v15.i3.1257.
17. Makwana P., Rahul K., Ito K., Subhadra B. Diversity of Antimicrobial Peptides in Silkworm // Life. 2023. Vol. 13. N 5. P. 1161. DOI: 10.3390/life13051161.
18. Teramoto H., Amano Y., Iraha F., Kojima K., Ito T., Sakamoto K. Genetic code expansion of the silkworm *Bombyx mori* to functionalize silk fiber // ACS Synthetic Biology. 2018. Vol. 7. N 3. P. 801–806. DOI: 10.1021/acssynbio.7b00437.
19. Nisal A., Trivedy K., Mohammad H., Panneri S., Sen Gupta S., Lele A., Laxman R.S. Uptake of azo dyes into silk glands for production of colored silk cocoons using a green feeding approach // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2014. Vol. 2. N 2. P. 312–317. DOI: 10.1021/sc400355k.
20. Xu H., Yi W., Li D., Zhang P., Yoo S., Bai L., Hou X. Obtaining high mechanical performance silk fibers by feeding purified carbon nanotube/lignosulfonate composite to silkworms // RSC advances. 2019. Vol. 9. N 7. P. 3558–3569. DOI: 10.1039/C8RA09934K.
21. Leem J.W., Fraser M.J., Kim Y.L. Transgenic and diet-enhanced silk production for reinforced biomaterials: a metamaterial perspective // Annual Review of Biomedical Engineering. 2020. Vol. 22. P. 79–102. DOI: 10.1146/annurev-bioeng-082719-032747.
22. Tian Y., Iga M., Tsuboi H., Teramoto, H.A. Novel Transgenic Silkworm Line for Mass Production of Azido-Incorporated Silk Fiber // The Journal of Silk Science and Technology of Japan. 2022. Vol. 30. P. 75–85. DOI: 10.11417/silk.30.75.
1. Xiang H., Liu X., Li M., Zhu Y.N., Wang L., Cui Y., Zhan S. The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm. *Nature ecology & evolution*, 2018, vol. 2, no. 8, pp. 1268–1279. DOI: 10.1038/s41559-018-0593-4.
2. Ma S.Y., Xia Q.Y. Genetic breeding of silkworms: from traditional hybridization to molecular design. *Yi Chuan = Hereditas*, 2017, vol. 39, no. 11, pp. 1025–1032. DOI: 10.16288/j.yczs.17-103.
3. Huang W., Ebrahimi D., Dinjaski N., Tarakanova A., Buehler M.J., Wong J.Y., Kaplan D.L. Synergistic integration of experimental and simulation approaches for the de novo design of silk-based materials. *Accounts of chemical research*, 2017, vol. 50, no. 4, pp. 866–876. DOI: 10.1021/acs.accounts.6b00616.
4. Yagi H., Yanaka S., Yogo R., Ikeda A., Onitsuka M., Yamazaki T., Kato K. Silkworm pupae function as efficient producers of recombinant glycoproteins with stable-isotope labeling. *Biomolecules*, 2020, vol. 10, no. 11, p. 1482. DOI: 10.3390/biom10111482.
5. Wei J., Fan Y., Jing X., Fei Z., Li C., Pan G., Zhou Z. Establishment of a Novel Baculovirus–Silkworm Expression System. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 5, p. 1013. DOI: 10.3390/microorganisms10051013.
6. Tatematsu K.I., Uchino K., Sezutsu H., Tamura T. Effect of ATG initiation codon context motifs on the efficiency of translation of mRNA derived from exogenous genes in the transgenic silkworm, *Bombyx mori*. *SpringerPlus*, 2014, vol. 3, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1186/2193-1801-3-136.
7. Xu H., O’Brochta D. A. Advanced technologies for genetically manipulating the silkworm *Bombyx mori*, a model Lepidopteran insect. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015, vol. 282, no. 1810, p. 20150487. DOI: 10.1098/rspb.2015.0487.
8. Wang Y., Wang F., Wang R., Zhao P., Xia, Q. 2A self-cleaving peptide-based multi-gene expression system in the silkworm *Bombyx mori*. *Scientific reports*, 2015, vol. 5, no. 1, p. 16273. DOI: 10.1038/srep16273.
9. Li Z., You L., Zhang Q., Yu Y., Tan A. A targeted in-fusion expression system for recombinant protein production in *Bombyx mori*. *Frontiers in Genetics*, 2022, vol. 12, p. 816075. DOI: 10.3389/fgene.2021.816075.
10. Yamada N., Mise Y., Yonemura N., Sakai H., Uchino K., Sezutsu H., Iizuka T. Development of an Injection Method for the Genetic Engineering of Diapause Silkworm Egg Using Dimethyl Sulfoxide. *Japan Agricultural Research Quar-*

REFERENCES

- terly: *JARQ*, 2023, vol. 57, no. 1, pp. 63–72. DOI: 10.6090/jarq.57.63.
11. Larkina E.A., Akilov U.H., Tychiev J.Sh., Asronov E.K., Solieva M.B., Abdikayumova N.K. The use of methods for controlling the reproduction of the silkworm (*Bombyx mori* L.) in practical sericulture. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*, 2022, vol. 1, no. 7–8, pp. 114–120. (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-114-120.
 12. Yamada N., Mise Y., Yonemura N., Uchino K., Zabelina V., Sezutsu H., Tamura T. Abolition of egg diapause by ablation of suboesophageal ganglion in parental females is compatible with genetic engineering methods. *Journal of Insect Physiology*, 2022, vol. 142, p. 104438. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2022.104438.
 13. Long D., Cheng X., Hao Z., Sun J., Umuhiza D., Liu Y., Zhao A. Genetic hybridization of highly active exogenous functional proteins into silk-based materials using “light-clothing” strategy. *Matter*, 2021, vol. 4, no. 6, pp. 2039–2058. DOI: 10.1016/j.matt.2021.03.020.
 14. Li G., Xia X., Long Y., Li J., Wu J., Zhu Y. Research progresses and applications of antimicrobial peptides. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, vol. 26, no. 1, pp. 17–25.
 15. Mastore M., Quadroni S., Caramella S., Brivio M.F. The silkworm as a source of natural antimicrobial preparations: efficacy on various bacterial strains. *Antibiotics*, 2021, vol. 10, no. 11, p. 1339. DOI: 10.3390/antibiotics10111339.
 16. Rahul K., Moamongba K.S., Rabha M., Sivaprasad V. Identification and characterization of bacteria causing flacherie in mulberry silkworm, *Bombyx mori* L. *Journal of Crop and Weed*, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 178–181. DOI: 10.22271/09746315.2019.v15.i3.1257.
 17. Makwana P., Rahul K., Ito K., Subhadra, B. Diversity of Antimicrobial Peptides in Silkworm. *Life*, 2023, vol. 13, no. 5, p. 1161. DOI: 10.3390/life13051161.
 18. Teramoto H., Amano Y., Iraha F., Kojima K., Ito T., Sakamoto K. Genetic code expansion of the silkworm *Bombyx mori* to functionalize silk fiber. *ACS Synthetic Biology*, 2018, vol. 7, no. 3, pp. 801–806. DOI: 10.1021/acssynbio.7b00437.
 19. Nisal A., Trivedy K., Mohammad H., Panneri S., Sen Gupta S., Lele A., Laxman, R.S. Uptake of azo dyes into silk glands for production of colored silk cocoons using a green feeding approach. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 312–317. DOI: 10.1021/sc400355k.
 20. Xu H., Yi W., Li D., Zhang P., Yoo S., Bai L., Hou, X. Obtaining high mechanical performance silk fibers by feeding purified carbon nanotube/lignosulfonate composite to silkworms. *RSC advances*, 2019, vol. 9, no. 7, pp. 3558–3569. DOI: 10.1039/C8RA09934K.
 21. Leem J. W., Fraser M. J., Kim Y. L. Transgenic and diet-enhanced silk production for reinforced biomaterials: a metamaterial perspective. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2020, vol. 22, pp. 79–102. DOI: 10.1146/annurev-bioeng-082719-032747.
 22. Tian Y., Iga M., Tsuboi H., Teramoto H. A. Novel Transgenic Silkworm Line for Mass Production of Azido-Incorporated Silk Fiber. *The Journal of Silk Science and Technology of Japan*, 2022, vol. 30, pp. 75–85. DOI: 10.11417/silk.30.75.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Юматов Е.Н., индивидуальный предприниматель, научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 357432, Ставропольский край, г. Железноводск, ул. Пушкина, 13; e-mail: trast1207@mail.ru

Евлагина Е.Г., директор

Деев И.Е., доктор биологических наук, старший научный сотрудник

Евлагин В.Г., научный сотрудник

Лейнвебер Е.Ф., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Evgeniy N. Yumatov**, Individual entrepreneur, Researcher; **address:** 13, Pushkina St., Zheleznovodsk, Stavropol Territory, 357432, Russia; e-mail: trast1207@mail.ru

Elena G. Evlagina, Director

Igor E. Deyev, Doctor of Science in Biology, Senior Researcher

Victor G. Evlagin, Researcher

Evdokia F. Leinweber, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 19.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023

ИММУНОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ОВЕЦ СИБИРСКО-ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

✉ Гончаренко Г.М.¹, Хамируев Т.Н.², Дашинимаев С.М.²,
Хорошилова Т.С.¹, Халина О.Л.¹, Гришина Н.Б.¹

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

² Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал Сибирского
федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
Чита, Россия

✉ e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Проведен сравнительный анализ восьми пород овец (полутрубошерстных, грубошерстных, полутонкорунных и тонкорунных), разводимых в Сибирско-Дальневосточном регионе. В исследованиях использовали данные по иммуногенетическому тестированию овец в племенных хозяйствах за ряд лет. Тестирование проводилось с применением 14 специфических сывороток – реагентов. Изучены аллельный профиль овец, их сходство и различие, связанные с филогенезом и предшествующей селекцией. Все исследованные породы имели отличительный аллельный профиль. В каждой породе выявлены как часто, так и редко встречающиеся антигены. На основании частот антигенов рассчитан индекс генетического сходства (r), который был выше в породах одного направления продуктивности, например между породами буубэй и эдильбаевской ($r = 0,912$), и ниже – между породами, селекция которых проводилась изолированно друг от друга. Самый низкий индекс генетического сходства выявлен между бурятской и западно-сибирской мясной ($r = 0,707$). Породы одного направления продуктивности из разных регионов также имеют отличительные особенности. Индекс генетического сходства между грубошерстными породами (буубэй и эдильбаевская) составляет 0,912; между полутрубошерстными (бурятская и агинская) он находится на уровне 0,739; между полутонкорунными (горноалтайская и западно-сибирская мясная) – 0,845; между тонкорунными (кулундинская и забайкальская) – 0,902. С использованием кластерного анализа генетических дистанций определены взаимоотношения пород, их происхождение, филогенез. Западно-сибирская мясная и кулундинская образовали один кластер, буубэй и бурятская также вошли в один кластер. Более отдаленными породами оказались агинская (зугалайский тип) и эдильбаевская.

Ключевые слова: овца, порода, антиген, частота, индекс генетического сходства

IMMUNOGENETIC CHARACTERISTICS OF SHEEP BREEDS OF THE SIBERIAN-FAR EASTERN REGION

✉ Goncharenko G.M.¹, Khamiruev T.N.², Dashinimaev S.M.²,
Khoroshilova T.S.¹, Khalina O.L.¹, Grishina N.B.¹

¹ Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Nobosibirsk Region, Russia

² Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia - Branch of the Siberian Federal
Scientific Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Chita, Russia

✉ e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

A comparative analysis of eight breeds of sheep (medium-wool, coarse-wooled, semifine-wool and fine-wool) bred in the Siberian-Far Eastern region was carried out. The research used the data on immunogenetic testing of sheep in breeding farms for a number of years. The testing was performed using 14 specific sera – reagents. The allelic profile of sheep, their similarities and differences related to phylogeny and previous selection were studied. All breeds studied had a distinctive allelic profile. Both frequent and infrequent antigens were identified in each breed. Based on antigen frequencies, an index of genetic similarity (r) was calculated, which was higher in the breeds of the same productivity direction, e.g. between Buubei and Edilbaevskaya breeds ($r = 0.912$), and lower between

the breeds that were selected in isolation from each other. The lowest index of genetic similarity was found between the Buryat and West Siberian meat breeds ($r = 0.707$). Breeds of the same productivity direction from different regions also have distinctive features. The index of genetic similarity between coarse-wooled breeds (Buubei and Edilbaevskaya) is 0.912; between medium-wool breeds (Buryat and Aginskaya) it is at the level of 0.739; between semifine-wool breeds (Gorno Altai and West Siberian meat breeds) – 0.845; between fine-wool breeds (Kulunda and Zabaikalskaya) – 0.902. Using the cluster analysis of genetic distances, the relationships of breeds, their origin, and phylogeny were determined. West Siberian Meat and Kulunda breeds formed one cluster, Buubei and Buryat breeds were also included in one cluster. More distant breeds were Aginskaya (Zugalai type) and Edilbaevskaya.

Keywords: sheep, breed, antigen, frequency, index of genetic similarity

Для цитирования: Гончаренко Г.М., Хамируев Т.Н., Дашинимаев С.М., Хорошилова Т.С., Халина О.Л., Гришина Н.Б. Иммуногенетическая характеристика пород овец Сибирско-Дальневосточного региона // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 86–95. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-9>

For citation: Goncharenko G.M., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Khoroshilova T.S., Khalina O.L., Grishina N.B. Immunogenetic characteristics of sheep breeds of the Siberian-Far Eastern region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 86–95. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ № 23-26-00014.

Acknowledgments

The research was supported by the RSF grant No. 23-26-00014.

ВВЕДЕНИЕ

В России за 2000-е годы на фоне сокращения поголовья овец произошла частичная породная переориентация. В связи с конъюнктурой рынка в сельскохозяйственных организациях поголовье овец тонкорунных пород сократилось в 2,3 раза, полутонкорунных – в 4,3 раза, при этом численность овец грубошерстных пород увеличилась в 4,1 раза. Тем не менее, наиболее многочисленное поголовье овец относится к тонкорунному направлению продуктивности, удельный вес 15 пород – составляет 54% всего поголовья России. К полутонкорунным породам относятся также 15 пород, но они занимают всего 4,6%. Еще меньше – поголовье полугрубошерстных овец – 1,2%. В России 17 пород относятся к грубошерстному направлению продуктивности, численность овец в которых составляет 33%¹.

Наблюдаемое ежегодное сокращение численности овец может повлечь за собой утрату адаптационных качеств к местным клима-

тическим и кормовым условиям, снижение генетического разнообразия. Для изучения этих процессов применяются генетические маркеры разных типов (группы крови, белковый полиморфизм, микросателлитный профиль, полногеномный анализ), используя которые можно изучить популяционно-генетическую структуру отдельных стад, популяций, их изменчивость при скрещивании, мониторинге по поколениям. В настоящее время к числу наиболее удобных, информативных, пригодных для массового анализа, относится микросателлитный профиль [1, 2].

Использование групп крови, которые до недавнего времени были востребованы в силу их информативности, кодоминантного типа наследования и пригодности для массового анализа, позволило решать некоторые проблемы селекции сельскохозяйственных животных, например контролировать правильность записей происхождения молодняка. Кроме того, иммуногенетический анализ

¹Шичкин Г.И., Сафина Г.Ф., Амерханов Х.А., Чернов В.В., Григорян Л.Н., Хмелевская Г.Н., Равичева А.В., Степанова Н.Г. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2021). ФГБНУ ВНИИ-плем. М., 2022. 325 с.

широко использовался при установлении филогенеза пород, сходства и различия популяций, стада и половозрастных групп.

В исследованиях [3] показано, что наиболее высокое генетическое сходство имеют быки черно-пестрой голштинизированной породы и айрширской (0,902), самое низкое – джерсейской и айрширской (0,561). При использовании иммуногенетического анализа показаны различия изолированной популяции овец French Rambouillet и испанских мериносов, от которых они произошли. В замкнутом стаде фиксировались только те аллели, которые у испанских мериносов выявлялись с частотой 0,90 и 0,80².

С помощью групп крови и других генетических маркеров была детально охарактеризована одна из лучших отечественных пород шубного направления продуктивности – романовская – в сравнительной оценке с другими породами³.

Иммуногенетический анализ нашел применение для определения моно- и дизиготности потомков сельскохозяйственных животных [4]. В исследованиях [5] показано влияние окружающей среды на уровень гомозиготности стада по сывороточным белкам крови, что может быть следствием механизма поддержания полиморфизма, в неблагоприятной обстановке имеющее адаптивное значение.

В работе показаны аллельный профиль помесей овец при скрещиваниях и выявление желательных аллелей, связанных с живой массой и мясной продуктивностью и продуктивным долголетием [6, 7]. Есть сообщения об использовании групп крови для эффективного подбора пар по индексу генетического сходства родителей^{4, 5} [8]. Показано,

что в формировании аллелофонда дочерних поколений участвует от 50 до 80% доминирующих аллелей материнского стада крупного рогатого скота [9].

Учитывая, что группы крови были преобладающими генетическими маркерами, за время их активного использования в селекции сельскохозяйственных животных накопился достаточно объемный фактический материал о генетической структуре разных пород, изменении частот аллелей и генотипов под воздействием селекции и окружающей среды, были предприняты более детальные исследования по характеристике групп крови, закономерностям их наследования. В результате анализа иммуногенетических структур восьми видов жвачных животных установлено сходство некоторых локусов антигенов разных видов (овцы, козы, крупный рогатый скот) [10].

В исследованиях [3] приведены данные о концентрации, динамике и стабильности эритроцитарных аллелей у крупного рогатого скота. Показано, что только 10% аллелей имеют стабильность, около 30–35% – подвержены элиминации и генетическому дрейфу.

Цель исследования – анализ и обобщение аллелофонда овец разных пород с учетом направления продуктивности, их сходства и различия, взаимоотношений между ними в условиях Сибирско-Дальневосточного региона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом исследований послужила кровь, отобранная у восьми пород овец различного направления продуктивности, разводимых в Сибирско-Дальневосточном регионе (Алтайский и Забайкальский края, Республика Бурятия). Изучены породы: гру-

²Nguyen T.C., Morera L., Llanes D., Leger P. Sheep blood polymorphism and genetic divergence between French Rambouillet and Spanish Merino: role of genetic drift // Anim. Genet. 1992. N 23 (4). P. 325–332. DOI: 10.1111/j.1365-2052.1992.tb00154.x.

³Марзанов Н.С., Комкова Е.А., Малюченко О.П., Алексеев Я.И., Озеров М.Ю., Кантанен Ю., Лобков В.Ю., Марзанова Л.К., Астафьева Е.Е., Петров С.Н., Колпаков И.Н., Андрюхин А.П., Адамян К.К., Марзанова С.Н. Характеристика аллелофонда романовской породы овец по различным типам генетических маркеров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2015. № 2. С. 23–40.

⁴Витанова О.И., Чижова Л.Н. Физиолого-биохимический статус молодняка овец, полученного от родителей с различной величиной индекса антигенного сходства // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2007. Т 3. № 3–3. С. 10–12.

⁵Скокова А.В., Барнаш Е.Н., Шарко Г.Н., Якубова Е.В., Шумаенко С.Н. Продуктивность молодняка овец в зависимости от индекса генетического сходства родителей // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. № 7. С. 145–149.

бошерстных овец – пород буубэй (BUB) и эдильбаевской (EDL), полугрубошерстных овец – бурятской (BUR) и агинской пород зугалайского типа (AGZ), полутонкорунных овец – горноалтайской породы прикатунского типа (GAP) и западно-сибирской мясной породы (WSM), тонкорунных овец – забайкальской породы хангильского типа (ZBH) и кулундинской породы (KUL). Всего исследовано 2134 гол.

Иммуногенетическое тестирование осуществлялось с использованием моноспецифических реагентов банка лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологии Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства по шести системам групп крови (*A, B, C, D, M* и *R-O*), включающих 14 эритроцитарных факторов (*Aa, Ab, Bb, Bd, Be, Bi, Bg, Ca, Cb, Ma, Mb, R, O* и *Da*). Исследование проведено путем реакции гемолиза и агглютинации в КГУ «Агинской окружной ветеринарной лаборатории» и лаборатории биотехнологии Сибирского научно-исследовательского и проектно-технологического института животноводства СФНЦА РАН.

Подсчет частоты антигенов проводили по методике Л.А. Животовского и А.М. Машурова (1974 г.). Генетическое расстояние и генетическое сходство рассчитывали по формулам Нея (1972 г.). На их основе были построены дендрограммы генетических дистанций между породами овец с помощью прикладной программы PAST version 3.25⁶.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования генетических особенностей овец разных пород сформированы группы по следующим направлениям продуктивности: грубошерстное, полугрубошерстное, полутонкорунное и тонкорунное. Наиболее малочисленные породы в наших исследова-

ниях были буубэй, западно-сибирская мясная и кулундинская, которые составляют всего по 1% от общего поголовья овец, разводимых в Сибирско-Дальневосточном регионе.

Породы буубэй и эдильбаевская относятся к грубошерстным, селекция которых не имеет общего происхождения. Порода буубэй создана методом длительной селекционно-племенной работы реинтродуцированных из Внутренней Монголии КНР аборигенных бурятских овец⁷. Порода находит все более широкое распространение благодаря хорошей мясной продуктивности и высокому качеству мяса [11, 12].

Родиной эдильбаевской породы является Казахстан, она приспособлена к обитанию во всех зонах мясосального овцеводства. В породе встречаются три типа животных, различающихся между собой по телосложению и продуктивности⁸. Несмотря на одинаковое направление продуктивности, породы имеют значительные отличия между собой, которые, видимо, обусловлены предшествующей селекцией (см. табл. 1).

По большинству антигенов выявлены различия. В грубошерстной породе мясного направления буубэй чаще встречаются антигены *Bd, Bi, Ma* и *R* (на 0,235; 0,106; 0,100; 0,052 по сравнению с грубошерстной породой мясосального направления эдильбаевской), и, напротив, частота антигенов *Ab, Bb, Be, Ca, Cb, Mb* и *O* отмечена выше соответственно на 0,325; 0,089; 0,223; 0,252; 0,588; 0,354; 0,098 в эдильбаевской породе, чем в буубэй ($p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$). Индекс генетического сходства этих пород составляет ($r = 0,910 \pm 0,014$).

Бурятская и агинская (зугалайский тип) породы по направлению продуктивности относятся к полугрубошерстным овцам. Агинская порода создана путем скрещивания забайкальских тонкорунных маток с кучугу-

⁶Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Palaeontological Statistics software for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. № 4 (1). Р. 9.

⁷Мерзляков А.А., Данилов М.Б. Изучение состава и технологических свойств мяса овец аборигенной породы «Буубэй» // Образование и наука: Мат-лы национал. науч.-практич. конф. Улан-Удэ, 2023. С. 40–45.

⁸Давлетова А.М., Косилов В.И. Конституционально-продуктивные типы овец эдильбаевской породы // Известия Оренбургского государственного университета. 2013. № 1 (39). С.102–104.

Табл. 1. Частота антигенов крови грубошерстных овец бубей и эдильбаевской пород

Table 1. Frequency of blood antigens in coarse-wooled sheep of the Buubei and Edilbaevskaya breeds

Антиген	BUB (<i>n</i> = 298)	EDL (<i>n</i> = 199)
<i>Aa</i>	0,691 ± 0,019	0,683 ± 0,023
<i>Ab</i>	0,107 ± 0,013	0,432 ± 0,025***
<i>Bb</i>	0,765 ± 0,017	0,854 ± 0,018***
<i>Bd</i>	0,742 ± 0,018***	0,507 ± 0,025
<i>Bi</i>	0,362 ± 0,020***	0,256 ± 0,022
<i>Bg</i>	0,399 ± 0,020	0,362 ± 0,024
<i>Be</i>	0,440 ± 0,023	0,663 ± 0,024***
<i>Ca</i>	0,386 ± 0,020	0,638 ± 0,024***
<i>Cb</i>	0,191 ± 0,016	0,779 ± 0,021***
<i>Ma</i>	0,738 ± 0,018***	0,638 ± 0,024
<i>Mb</i>	0,520 ± 0,020	0,874 ± 0,017***
<i>R</i>	0,198 ± 0,016*	0,146 ± 0,018
<i>O</i>	0,721 ± 0,018	0,819 ± 0,019***
<i>Da</i>	—	0,387 ± 0,024

Здесь и в табл. 2–4.

* $p \leq 0,05$.

** $p \leq 0,01$.

*** $p \leq 0,001$.

ровскими длинножирнохвостыми грубошерстными и казахскими полугрубошерстными баранами [13]. Зугалайский тип агинской породы выведен методом вводного скрещивания овец агинской с производителями казахской полугрубошерстной породы типа байыс [14].

В создании бурятской породы участвовали четыре породы, материнской основой послужили тонкорунные овцематки забайкальской породы бурятского типа, которых скрещивали с производителями казахской полугрубошерстной и кучугуровской грубошерстной пород, затем на трехпородных помесных матках использовали полугрубошерстных баранов байдарагской породы⁹.

В табл. 2 представлены данные по частоте антигенов крови полугрубошерстных овец бурятской и агинской пород (зугалайский тип).

Табл. 2. Частота антигенов крови полугрубошерстных овец бурятской и агинской пород

Table 2. Frequency of blood antigens in medium-wool sheep of the Buryat and Aginskaya breeds

Антиген	BUR (<i>n</i> = 70)	AGZ (<i>n</i> = 356)
<i>Aa</i>	0,400 ± 0,041	0,449 ± 0,028
<i>Ab</i>	0,043 ± 0,017	0,489 ± 0,027***
<i>Bb</i>	0,714 ± 0,038	0,820 ± 0,016*
<i>Bd</i>	0,457 ± 0,042***	0,014 ± 0,037
<i>Bi</i>	0,400 ± 0,041***	0,191 ± 0,034
<i>Bg</i>	0,543 ± 0,042*	0,407 ± 0,036
<i>Be</i>	0,314 ± 0,039	0,688 ± 0,021***
<i>Ca</i>	0,329 ± 0,040	0,772 ± 0,018***
<i>Cb</i>	0,114 ± 0,027	0,458 ± 0,028***
<i>Ma</i>	0,529 ± 0,042***	0,034 ± 0,037
<i>Mb</i>	0,586 ± 0,042	0,652 ± 0,022
<i>R</i>	0,200 ± 0,034	0,166 ± 0,034
<i>O</i>	0,729 ± 0,038***	0,140 ± 0,035
<i>Da</i>	0,029 ± 0,014	0,008 ± 0,036

Иммуногенетическим анализом установлено, что бурятская порода овец отличается более высокой частотой антигенов *Bd*, *Bi*, *Bg*, *Ma*, *O* в сравнении с агинской породой зугалайского типа, тогда как агинская порода зугалайского типа превосходит по частоте антигенов *Ab*, *Be*, *Ca*, *Cb* ($p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$). Индекс генетического сходства полугрубошерстных овец составляет $0,739 \pm 0,131$.

Горноалтайская (прикатунский тип) и западно-сибирская мясная породы овец относятся к полутонкорунным. Прикатунский тип горноалтайской породы овец создавался в два этапа. На первом этапе тонкорунно-грубошерстных маток с разным характером шерсти скрещивали с баранами-производителями породы ромни-марш до получения II, III поколения, затем помесей желательного типа разводили «в себе»¹⁰.

⁹Билтуев С.И. Создание типа и породы овец в специфических экологических условиях Западной Сибири и Республики Бурятия: монография. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, 2010. 240 с.

¹⁰Подкорытов А.Т. Прикатунский мясошерстный тип // Достижения науки и техники АПК. 2006. № 2. С. 30–31.

Западно-сибирская мясная создана на основе кулундинской короткожирнохвостой породы и ее помесей с баранами улучшенного мясного типа южной мясной породы¹¹. Сравнимые породы разводятся в разных эколого-географических условиях.

Полутонкорунные овцы горноалтайской породы прикатунского типа характеризуются высокой частотой встречаемости по девяти антигенам – *Ab*, *Bb*, *Bd*, *Bi*, *Bg*, *Be*, *Ca*, *R* и *O* в сравнении с западно-сибирской мясной породой. Различия в частотах находятся в пределах 0,254–0,680 ($p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$) (см. табл. 3). Индекс генетического сходства полутонкорунных овец $0,845 \pm 0,0014$.

Табл. 3. Частота антигенов крови полутонкорунных овец горноалтайской и западно-сибирской мясной пород

Table 3. Frequency of blood antigens in semifine-wool sheep of the Gorno-Altai and West Siberian meat breeds

Антиген	WSM ($n = 116$)	GAP ($n = 573$)
<i>Aa</i>	$0,543 \pm 0,046^{***}$	$0,150 \pm 0,015$
<i>Ab</i>	$0,595 \pm 0,046$	$0,894 \pm 0,013^{***}$
<i>Bb</i>	$0,500 \pm 0,046$	$0,993 \pm 0,003^{***}$
<i>Bd</i>	$0,345 \pm 0,044$	$0,998 \pm 0,002^{***}$
<i>Bi</i>	$0,603 \pm 0,045$	$0,956 \pm 0,009^{***}$
<i>Bg</i>	$0,172 \pm 0,035$	$0,609 \pm 0,020^{***}$
<i>Be</i>	$0,138 \pm 0,032$	$0,747 \pm 0,018^{***}$
<i>Ca</i>	$0,465 \pm 0,046$	$0,894 \pm 0,017^{***}$
<i>Cb</i>	$0,836 \pm 0,034$	$0,769 \pm 0,017$
<i>Ma</i>	$0,474 \pm 0,046^{***}$	$0,251 \pm 0,018$
<i>Mb</i>	$0,595 \pm 0,045$	$0,607 \pm 0,020$
<i>R</i>	$0,405 \pm 0,046$	$0,659 \pm 0,019^{***}$
<i>O</i>	$0,147 \pm 0,033$	$0,827 \pm 0,016^{***}$
<i>Da</i>	$0,612 \pm 0,045^{***}$	$0,353 \pm 0,020$

Кулундинская тонкорунная порода долгое время совершенствовалась методами «народной» селекции, но начиная с 1981 г. для улучшения шерстных качеств ее скрещивали с грозненской породой, а затем – со ставропольскими маньчскими мериносами¹².

В создании хангильского типа забайкальской породы в разное время принимали участие три породы: забайкальская (материнская основа), австралийский и маньчский мериносы¹³.

Иммуногенетический профиль тонкорунных овец кулундинской и забайкальской пород (хангильский тип) также имеет значительные отличия по частоте встречаемости антигенов (см. табл. 4).

Табл. 4. Частота антигенов крови тонкорунных овец кулундинской и забайкальской пород

Table 4. Frequency of blood antigens in fine-wool sheep of the Kulunda and Trans-Baikal breeds

Антиген	KUL ($n = 122$)	ZBH ($n = 400$)
<i>Aa</i>	$0,541 \pm 0,045$	$0,495 \pm 0,025$
<i>Ab</i>	$0,893 \pm 0,028^{***}$	$0,483 \pm 0,025$
<i>Bb</i>	$0,771 \pm 0,038$	$0,980 \pm 0,005^{***}$
<i>Bd</i>	$0,311 \pm 0,042^{**}$	$0,150 \pm 0,033$
<i>Bi</i>	$0,631 \pm 0,044^{***}$	$0,278 \pm 0,030$
<i>Bg</i>	$0,853 \pm 0,032$	$0,873 \pm 0,013$
<i>Be</i>	$0,443 \pm 0,045^{***}$	$0,190 \pm 0,032$
<i>Ca</i>	$0,639 \pm 0,043$	$0,932 \pm 0,009^{***}$
<i>Cb</i>	$0,632 \pm 0,044^{***}$	$0,483 \pm 0,025$
<i>Ma</i>	$0,705 \pm 0,041^{**}$	$0,555 \pm 0,024$
<i>Mb</i>	$0,631 \pm 0,044^{***}$	$0,228 \pm 0,031$
<i>R</i>	$0,811 \pm 0,035^{***}$	$0,538 \pm 0,024$
<i>O</i>	$0,385 \pm 0,044$	$0,910 \pm 0,011^{***}$
<i>Da</i>	$0,336 \pm 0,043$	$0,318 \pm 0,029$

¹¹Катаманов С.Г., Ульянов А.Н., Куликова А.Я., Абонеев В.В., Селькин И.И., Афанасьева А.И., Катаманов Ю.Г., Лобода Н.Л., Мороз В.А., Трухачёв В.И., Катаманов А.С., Чеботаев А.Н., Чмырёв М.А. Западно-сибирская мясная порода // Овцы, козы, шерстяное дело. 2012. № 3. С. 6–12.

¹²Селькин И.И., Катаманов А.С. Плодовитость маток и сохранность молодняка кулундинской тонкорунной породы // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2009. Т. 2. № 2–2. С. 81–84.

¹³Хамируев Т.Н., Волков И.В. Новый шерстно-мясной тип в забайкальской тонкорунной породе овец – Хангильский // Зоотехния. 2015. № 4. С. 6–7.

Для овец кулундинской тонкорунной породы характерны часто встречающиеся антигены *Aa, Ab, Bb, Bi, Bg, Ca, Cb, Ma, Mb, R* (50% и более), редко встречающиеся антигены *Bd, O, Da* (менее 40%). У животных этой породы частота антигенных факторов *Ab, Bi, Be, Cb, Ma, Mb, R* превосходит эти показатели забайкальской породы хангильского типа на 0,410; 0,161; 0,353; 0,253; 0,149; 0,150; 0,403; 0,273 соответственно. Забайкальская порода хангильского типа, напротив, характеризуется более высокой частотой антигенов *Bb, Ca, O* – на 0,209; 0,293; 0,523 ($p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$). Индекс генетического сходства тонкорунных овец $0,902 \pm 0,022$.

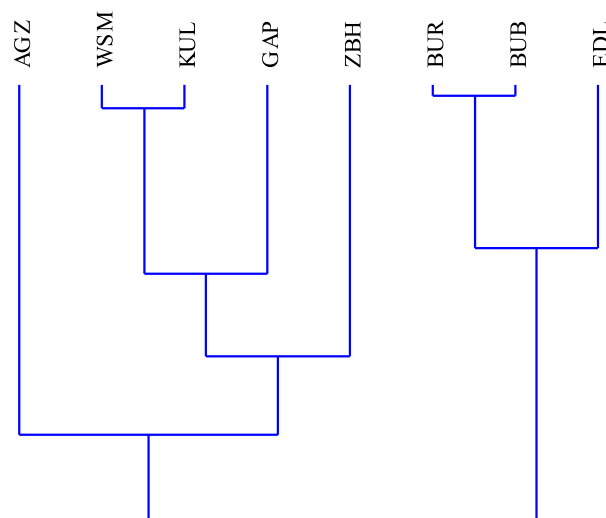
Сравнительная оценка сходства пород, выраженная через индексы генетического сходства и генетических дистанций, представлена в табл. 5.

Наиболее высокий индекс генетического сходства выявлен между породой буубэй и бурятской (0,9681), что, на наш взгляд, можно объяснить тем, что материнской основой бурятской породы овец послужил бурятский тип забайкальской породы тонкорунных овец. Последние выведены на основе аборигенных бурятских овец, на базе которых путем реинтродукции из Внутренней Монголии КНР и дальнейшей целенаправленной селекционной работы создана порода буубэй.

Западно-сибирская мясная создана на основе кулундинской породы, что и отразилось на уровне генетического сходства пород (0,963).

Индекс генетического сходства выше в породах одного направления продуктивности и ниже в разных. Так, овцы пород буубэй и эдильбаевская имеют индекс генетического сходства 0,912, тогда как с полугрубошерстной агинской – 0,719.

Кластерный анализ генетических дистанций показал взаимоотношения исследуемых пород (см. рисунок).



Дендрограмма генетических дистанций
Dendrogram of genetic distances

Табл. 5. Матрица генетических расстояний между породами
Table 5. Matrix of genetic distances between the breeds

Порода	BUB	EDL	BUR	AGZ	WSM	GAP	KUL	ZBH
BUB		0,912	0,968	0,719	0,730	0,815	0,809	0,823
EDL	0,092		0,897	0,867	0,867	0,872	0,871	0,862
BUR	0,033	0,109		0,739	0,707	0,831	0,826	0,862
AGZ	0,330	0,143	0,302		0,754	0,813	0,834	0,800
WSM	0,315	0,143	0,347	0,282		0,845	0,963	0,823
GAP	0,205	0,137	0,185	0,207	0,168		0,903	0,847
KUL	0,212	0,138	0,191	0,182	0,038	0,102		0,902
ZBH	0,195	0,149	0,149	0,223	0,195	0,166	0,103	

Примечание. Над диагональю индексы генетического сходства (r), под диагональю – генетические дистанции (DN); BUB – буубэй, EDL – эдильбаевская, BUR – бурятская, AGZ – агинская – зугалайский тип, WSM – западно-сибирская мясная, GAP – горноалтайская – прикатунский тип, KUL – кулундинская, ZBH – забайкальская – хангильский тип

Западно-сибирская и кулундинская образовали один кластер, буубэй и бурятская также вошли в один кластер. Более отдаленными оказались зугалайский тип агинской породы (полугрубошерстное направление) и эдильбаевская порода (грубошерстное).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Породы овец Сибирско-Дальневосточного региона имеют отличительные особенности по аллелям групп крови, обусловленные породными особенностями, предшествующим генезисом и, возможно, природно-климатическими условиями. Породы одного направления продуктивности из разных зон разведения имеют такой же уровень сходства и различия, как и межпородное (0,845–0,910). Межпородное различие находится в пределах от 0,707 до 0,968.

Дендрограмма генетических дистанций исследуемых пород показала, что близкие по происхождению породы – западно-сибирская и кулундинская – образовали один кластер, буубэй и бурятская также вошли в один кластер. Породы одного направления продуктивности – кулундинская, горноалтайская, агинская (зугалайский тип) – образуют близкие подкластеры, индекс генетического сходства которых находится в пределах 0,845–0,903.

Таким образом, антигены групп крови могут служить надежными генетическими маркерами при изучении генетического профиля пород, мониторинга его изменения под селекционным давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селионова М.И., Луцихина Е.М., Чижова Л.Н. Особенности микросателлитного профиля овец, разводимых в условиях Кыргызстана // *Сельскохозяйственный журнал*. 2018. № 1 (11). С. 84–90.
2. Денискова Т.Е., Селионова М.И., Гладырь Е.А., Доцев А.В., Бобрышова Г.Т., Костюнина О.В., Брэм Г., Зиновьева Н.А. Изменчивость микросателлитов в породах овец, разводимых в России // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. № 6. С. 801–810. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.6.801rus.
3. Шендаков А.И. Методические аспекты корреляционно-регрессионного анализа при вычислении генетического веса эритроцитарных аллелей в популяциях молочного скота // *Биология в сельском хозяйстве*. 2017. № 4. С. 2–8.
4. Марзанов Н.С., Корецкая Е.А., Марзанова С.Н., Шукюрова Е.Б., Марзанова Л.К., Девришев Д.А. Иммуногенетический способ определения моно- и дизиготности у потомков четырех видов жвачных // *Известия ТСХА*. 2019. № 6. С. 49–61. DOI: 10.34677/0021-342x-2019-6-49-61.
5. Селионова М.И., Чижова Л.Н., Михайленко А.К., Суржикова Е.С., Шарко Г.Н. Оценка адаптационной перестройки овец в разных условиях на основе биомаркеров // *Вестник АПК Ставрополя*. 2019. № 4 (34). С. 19–25. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-19-25.
6. Копылов И.А., Скорых Л.Н., Ефимова Н.И. Особенности иммуногенетического состава крови овец разных генотипов // *Вестник АПК Ставрополя*. 2017. № 2 (26). С. 126–130.
7. Ефимова Л.В. Связь антигенного состава крови с продуктивным долголетием коров черно-пестрой породы // *Известия нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2023. № 1 (69). С. 373–382.
8. Семёнов А.С., Пьянкова С.Ю., Кавардакова О.Ю. Влияние антигенного сходства родительских пар на продуктивные и воспроизводительные качества дочерей коров // *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 4 (28). С. 126–133.
9. Сагитдинов Ф.А., Лешонок О.И., Ткаченко И.В. Особенности формирования генетической структуры групп крови при смене поколений животных // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104. № 3. С. 176–185. DOI: 10.33284/2658-3135-104-3-176.
10. Марзанов Н.С., Корецкая Е.А., Марзанова С.Н., Девришева Д.А. Сравнительная характеристика иммуногенетических структур крови различных видов жвачных животных // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2023. № 2. С. 37–48. DOI: 10.34677/0021-342x-2019-6-49-61.
11. Данилов М.Б., Мерзляков А.А., Павлова С.Н., Полозова Т.В., Ван Вэй Хуа. Изучение продуктивности, химического состава и пищевой ценности мяса овец Буубэй // *Все о мясе*. 2018. № 3. С. 52–54.

12. Базарон Б.З., Дашинимаев С.М., Хамируев Т.Н., Будажанаев Б.Ц. Мясная продуктивность разновозрастных помесных валушков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (174). С. 91–94.
 13. Волков И.В., Хамируев Т.Н., Дмитрик И.И. Генотип Агинской породы овец // Сельскохозяйственный журнал. 2018. № 2 (11). С. 62–68. DOI: 10.25930/m8xp-fa98.
 14. Хамируев Т.Н., Базарон Б.З., Черных В.Г., Волков И.В., Дабеев О.Д. Создание в полугрубошерстном овцеводстве нового типа агинской породы // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 3. С. 30–33.
- ## REFERENCES
1. Selionova M.I., Lushchikhina E.M., Chizhova L.N. Features of microsatellite profile in sheep bred in the conditions of Kyrgyz Republic. *Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = Agricultural Journal*, 2018, no. 1 (11), pp. 84–90. (In Russian).
 2. Deniskova T.E., Selionova M.I., Gladyr' E.A., Dotsev A.V., Bobryshova G.T., Kostyunina O.V., Brem G., Zinov'eva N.A. Variability of microsatellites in sheep breeds raced in Russia. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2016, no. 6, pp. 801–810. (In Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.6.801rus.
 3. Shendakov A.I. Methodological aspects of the correlation-regression analysis in the calculation of the genetic weight of erythrocyte alleles in populations of dairy cattle. *Biologiya v sel'skom khozyaistve = Biology in Agriculture*, 2017, no. 4, pp. 2–8. (In Russian).
 4. Marzanov N.S., Koretskaya E.A., Marzanova S.N., Shukyurova E.B., Marzanova L.K., Devrishev D.A. Immunogenetic diagnosis method to detect monozygosity and dizygosity in progeny of four ruminant species. *Izvestiya TSKhA = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2019, no. 6, pp. 49–61. (In Russian). DOI: 10.34677/0021-342x-2019-6-49-61.
 5. Selionova M.I., Chizhova L.N., Mikhailenko A.K., Surzhikova E.S., Sharko G.N. Assessment of adaptive alteration in sheep in different conditions based on biomarkers. *Vestnik APK Stavropol'ya = Англоязычное название источника*, 2019, no. 4 (34), pp. 19–25. (In Russian). DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-19-25.
 6. Kopylov I.A., Skorykh L.N., Efimova N.I. Англоязычное название статьи. *Vestnik APK Stavropol'ya = Agricultural Bulletin of Stavropol Region*, 2017, no. 2 (26), pp. 126–130. (In Russian).
 7. Efimova L.V. Relationship of blood antigenic composition with productive longevity of Red-motley cows. *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2023, no. 1 (69), pp. 373–382. (In Russian).
 8. Semenov A.S., P'yankova S.Yu., Kavardakova O.Yu. Influence of antigenic similarity of parent pairs on productive and reproductive qualities of cow daughters. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2019, no. 4 (28), pp. 126–133. (In Russian).
 9. Sagitdinov F.A., Leshonok O.I., Tkachenko I.V. The features of the genetic structure formation of blood groups during animals metagenesis. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*, 2021, vol. 104, no. 3, pp. 176–185. (In Russian). DOI: 10.33284/2658-3135-104-3-176.
 10. Marzanov N.S., Koretskaya E.A., Marzanova S.N., Devrisheva D.A. Comparative characterization of immunogenetic blood structures in different ruminant species. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh = Problems of Productive Animal Biology*, 2023, no. 2, pp. 37–48. (In Russian). DOI: 10.34677/0021-342x-2019-6-49-61.
 11. Danilov M.B., Merzlyakov A.A., Pavlova S.N., Polozova T.V., Van Vei Khua. Study of the productivity, chemical composition and nutritional value of the meat of the sheep «Buubei». *Vse o myase = All about meat*, 2018, no. 3, pp. 52–54. (In Russian).
 12. Bazon B.Z., Dashinimaev S.M., Khamiruev T.N., Budazhanaev B.Ts. Meat production of crossbred wethers of different age. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2019, no. 4 (174), pp. 91–94. (In Russian).
 13. Volkov I.V., Khamiruev T.N., Dmitrik I.I. Genotype of Aginskaya sheep breed. *Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = Agricultural Journal*, 2018, no. 2 (11), pp. 62–68. (In Russian). DOI: 10.25930/m8xp-fa98.
 14. Khamiruev T.N., Bazon B.Z., Chernykh V.G., Volkov I.V., Dabaev O.D. Selection achievement in Russia's semi-coarse sheep breeding. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences*, 2018, no. 3, pp. 30–33. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Гончаренко Г.М.** доктор биологических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Хамируев Т.Н., доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Дашинимаев С.М., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Хорошилова Т.С., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Халина О.Л., научный сотрудник

Гришина Н.Б., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Galina M. Goncharenko**, Doctor of Science in Biology, Head Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Timur N. Khamiruev, Associate Professor, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher

Solbon M. Dashinimaev, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Tatyana S. Khoroshilova, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Olga L. Khalina, Researcher

Natalia B. Grishina, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 01.08.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 15.09.2023

Дата публикации / Published 15.12.2023

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАРАЖЕННОСТИ И СТРУКТУРА ГЕЛЬМИНТОКОМПЛЕКСОВ ЛОШАДЕЙ В ПРОВИНЦИЯХ ГОРНОГО АЛТАЯ

✉ Ефремова Е.А.¹, Марченко В.А.², Смертина М.А.¹

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий
Барнаул, Россия

✉ e-mail: alfa_parazit@mail.ru

Целью исследования явилось изучение зараженности и структурных особенностей гельминтокомплексов лошадей в провинциях Горного Алтая, существенно отличающихся природно-климатическими и орографическими условиями местности. Пробы фекалий от спонтанно инвазированных гельминтами животных Центрального, Северного, Западного и Юго-Восточного Алтая исследовали оволяровоскопическими методами с последующим расчетом показателей встречаемости (экстенсивность инвазии – ЭИ, уровень экстенсивности инвазии – ЭИ_у), интенсивности заражения (индекс обилия – ИО, уровень индекса обилия – ИО_у) и индекса паразитокомплекса (ИП). Результаты многолетних исследований (2019–2023) свидетельствуют о том, что в формировании гельминтокомплекса пищеварительной системы лошадей Горного Алтая участвуют паразиты двух классов: Nematoda (подотряды Strongylata, Ascaridata, Rhabditata, Oxiurata) и Cestoda (подотряд Anoplocephalata). Во всех провинциях в нозологическом профиле гельминтозов доминируют стронгиляты, зараженность ими животных и их доля в гельминтокомплексах (ЭИ = 68,6–93,1%, ИП = 86,0–90,5) значительно превышают эти показатели для нематод подотряда Ascaridata (ЭИ = 6,2–16,5%, ИП = 4,6–8,1) и для цестод подотряда Anoplocephalata (ЭИ = 2,5–11,8%, ИП = 2,1–5,8). На фоне повсеместного распространения основных гельминтозов желудочно-кишечного тракта лошадей в условиях физико-географических провинций наблюдаются отличия в структуре гельминтокомплексов и интенсивности инвазированности животных гельминтами. Уровень зараженности лошадей Центрального Алтая стронгилятами достоверно выше относительно зараженности животных Северного и Западного Алтая. Инвазированность однокопытных Юго-Восточного Алтая стронгилятами (ЭИ = 68,6%) и аноплоцефалатами (ЭИ = 2,5%, ИП = 2,1) минимальна и соответственно в 1,5 и 2,8–4,7 раза ниже, чем в других провинциях. Однако здесь выявлены существенные внутрizonальные отличия в инвазированности лошадей нематодами – зараженность ими в горно-лесной зоне Юго-Восточного Алтая сопоставима с зараженностью в Центральном Алтае и значимо выше, чем в высокогорной степной зоне. В то же время показатели ЭИ_у и ИО_у для лошадей высокогорной степной зоны Юго-Восточного Алтая статистически ниже, чем у животных Северного и Центрального Алтая. Установлено, что уровень зараженности и структура гельминтокомплексов лошадей в основном обусловлены разнообразием природно-климатических и орографических характеристик горных территорий.

Ключевые слова: гельминты пищеварительной системы, лошади, структура гельминтокомплекса, экстенсивность и интенсивность инвазии, физико-географические провинции

CHARACTERIZATION OF INFESTATION AND STRUCTURE OF HORSE HELMINTH COMPLEXES IN THE PROVINCES OF THE ALTAI MOUNTAINS

✉ Efremova E.A.¹, Marchenko V.A.², Smertina M.A.¹

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology
Barnaul, Russia

✉ e-mail: alfa_parazit@mail.ru

The purpose of the study was to investigate the infestation and structural features of the helminth complexes of horses in the provinces of the Altai Mountains which differ significantly in natural,

climatic and orographic conditions of the area. Fecal samples from spontaneously helminth-infested animals of the Central, Northern, Western and South-Eastern Altai Mountains were examined by ovolarvoscopic methods with the following calculation of occurrence indices (invasion intensity – II, level of invasion intensity – II_{level}), infestation intensity (abundance index – AI, level of abundance index – AI_{level}) and parasitocomplex index (PI). The results of long-term studies (2019–2023) indicate that parasites of two classes are involved in the formation of the helminth complex of the digestive system of horses in the Altai Mountains: Nematoda (suborders Strongylata, Ascaridata, Rhabditata, and Ochycrata) and Cestoda (suborder Anoplocephalata). Strongylates dominate in the nosological profile of helminthoses in all provinces: the degree of their infestation among animals and their proportion in the helminth complexes ($II = 68.6–93.1\%$, $PI = 86.0–90.5$) are significantly higher than the same indicators for the suborder Ascaridata ($II = 6.2–16.5\%$, $PI = 4.6–8.1$) and for the cestodes of the suborder Anoplocephalata ($II = 2.5–11.8\%$, $PI = 2.1–5.8$). Against the background of ubiquitous distribution of the main helminths of the gastrointestinal tract of horses in the conditions of physiographic provinces, differences in the structure of helminth complexes and intensity of helminth infestation of animals are observed. The level of infestation of horses in the Central Altai with strongyles is significantly higher relative to the infestation of the animals in the Northern and Western Altai. The infestation of ungulates of South-Eastern Altai with strongylates ($II = 68.6\%$) and anoplocephalates ($II = 2.5\%$, $PI = 2.1$) is minimal and, respectively, 1.5 and 2.8–4.7 times lower than in other provinces. However, there are significant intrazonal differences in the nematode infestation of horses – their infestation in the mountain-forest zone of the South-Eastern Altai is comparable to that in the Central Altai and is significantly higher than in the high-mountain steppe zone. At the same time, the II_{level} and AI_{level} indices for horses of the high-mountain steppe zone of the South-Eastern Altai are statistically lower than in the animals of the Northern and Central Altai. It was found that the level of infection and the structure of helminth complexes of horses are mainly determined by the diversity of natural-climatic and orographic characteristics of mountainous territories.

Keywords: helminths of the digestive system, horses, structure of helminthocomplex, extensiveness and intensity of infestation, physico-geographical provinces

Для цитирования: Ефремова Е.А., Марченко В.А., Смертина М.А. Характеристика зараженности и структура гельминтокомплексов лошадей в провинциях Горного Алтая // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 96–105. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-10>

For citation: Efremova E.A., Marchenko V.A., Smertina M.A. Characterization of infestation and structure of horse helminth complexes in the provinces of the Altai Mountains. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 96–105. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-10>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Республики Алтай в рамках научного проекта № 20-44-040004, Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации ФБГНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» (№ 0534-2021-0005) и ФБГНУ «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук» (№ 0533-2021-0018).

Acknowledgements

The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Republic of Altai under Scientific Project No. 20-44-040004, the Program of Basic Scientific Research in the Russian Federation of the FBSSI "Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology" (No. 0534-2021-0005) and FBSSI "Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences" (No. 0533-2021-0018).

ВВЕДЕНИЕ

Природно-климатические условия Горного Алтая благоприятны для развития табунного коневодства. Тем не менее фактором, сдерживающим увеличение поголовья и продуктивности животных, оказываются паразитарные инвазии, в том числе гельминтозы желудочно-кишечного тракта.

Гастроинтестинальные гельминты лошадей характеризуются значительным видовым разнообразием, являются самыми распространенными и наиболее значимыми многоклеточными паразитами лошадей в мире^{1, 2} [1–6]. В популяции однокопытных сложные смешанные инвазии, обусловленные паразитированием возбудителей гельминтозов, проявляются диареей, коликами, снижением работоспособности и в некоторых случаях могут привести к летальному исходу^{3, 4} [7].

Вопросы эпизоотологии инвазионных болезней лошадей освещены во многих работах, но в большинстве исследований рассмотрены лишь отдельные виды или группы паразитов и использованы данные по западной части России^{5, 6} [8–10]. Публикации по указанной проблематике на основе материалов по сибирскому региону малочисленны, к тому же гельминтозы, распространенные на этой территории, в том числе в Горном Алтае, изучены недостаточно⁷ [11].

Цель исследования – характеристика зараженности и структурных особенностей гельминтокомплексов лошадей в провинциях Горного Алтая, существенно отличающихся

друг от друга природно-климатическими и орографическими условиями местности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в 2019–2023 гг. в хозяйствах девяти административных районов, расположенных в четырех физико-географических провинциях Горного Алтая: Северный (Майминский, Чойский районы, часть Шебалинского района), Центральный (Чемальский, Усть-Коксинский, Онгудайский, Шебалинский районы), Западный (западная часть Усть-Канского района и Чарышский район Алтайского края) и Юго-Восточный Алтай (Кош-Агачский, Улаганский районы).

Пробы фекалий, полученные от спонтанно инвазированных гельминтами лошадей, исследованы классическими паразитологическими методами – гельминтокопроовоскопический по Фюллеборну и гельминтокопролярвоскопический по Берману–Орлову. Дифференциальная диагностика нематод осуществлена с учетом морфометрических особенностей яиц и инвазионных личинок (III стадия). Идентификация ленточных червей проведена на основе размеров яиц и характеристик грушевидного аппарата^{8, 9} [12]. Всего исследовано 1963 образца биоматериала, в том числе копроовоскопическим и копроовольервоскопическим методами 1053 и 910 проб соответственно.

Структурные особенности гельминтокомплексов желудочно-кишечного тракта одно-

¹Hinney B., Wirtherle N.C., Kyule M., Miethe N., Zessin K.H., Clausen P.H. Prevalence of helminths in horses in the state of Brandenburg, Germany // *Parasitology Research*. 2011. Vol. 108. N 5. P. 1083–1091.

²Matto T.N., Bharkad G.P., Bhat S.A. Prevalence of gastrointestinal helminth parasites of equids from organized farms of Mumbai and Pune // *Parasitic Diseases*. 2015. Vol. 39. P. 179–185.

³Lyons E.T., Drudge J.H., Tolliver S.C. Larval cyathostomiasis // *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2000. Vol. 16. N 3. P. 501–513.

⁴Mair T.S., Sutton D.G., Love S. Caecocaecal and caecocolic intussusceptions associated with larval cyathostomiasis in four young horses // *Equine Veterinary Journal*. 2000. Vol. 32. P. 77–80.

⁵Каноква А.С., Маишук А.В., Исаков Р.Л., Дзодзаева А.Х., Чапаев М.Б., Шхагапсоева А.М. Гельминты лошадей Кабардино-Балкарской Республики // *Российский паразитологический журнал*. 2008. № 2. С. 48–51.

⁶Хасанова Р.И. Распространение параскаридоза лошадей при различных технологиях содержания в условиях Восточного Кавказа // *Российский паразитологический журнал*. 2013. № 4. С. 59–61.

⁷Понамарева Н.М. Сроки развития личинок стронгилят лошадей во внешней среде в условиях Алтая // *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями*. 2005. Вып. 6. С. 285–287.

⁸Капустин В.Ф. Атлас наиболее распространенных гельминтов сельскохозяйственных животных. М.: Сельхозгиз, 1953. 140 с.

⁹Cernea M., Madeira de Carvalho L.M., Cozma V., Raileanu S., Cristina L., Silberg R. Atlas of Diagnosis of Equine Strongyloidosis. Cluj-Napoca, 2008. P. 71–109.

копытных различных природно-географических провинций Горного Алтая определяли, используя индекс паразитокомплекса (ИП), отражающий вес вида, рода или другого таксона в гельминтологическом профиле животных¹⁰. При расчете ИП учитывали лишь паразитов, являющихся наиболее распространенными и патогенными для лошадей, а также достоверно определяемых по морфометрическим особенностям их пропативных форм – яиц или инвазионных личинок.

Оценку зараженности животных гельминтами осуществляли на основе результатов копрологических исследований и расчета следующих показателей:

1) экстенсивность инвазии (ЭИ, %) – доля зараженных животных среди обследованных;

2) интенсивность инвазии (ИИ, я/г, л/г) – среднее число яиц/личинок на одно инвазированное животное в 1 г фекалий;

3) индекс обилия (ИО, я/г, л/г) – среднее число яиц/личинок на одно обследованное животное в 1 г фекалий;

4) уровень экстенсивности инвазии (ЭИ_у, %) – среднее значение показателей ЭИ в выборках (обследованиях);

5) уровень индекса обилия (ИО_у, я/г, л/г) – среднее значение показателей ИО в выборках.

Достоверность различий зараженности животных устанавливали путем сравнения величины ЭИ_у и ИО_у с расчетом *U*-критерия Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории Горного Алтая гельминтозы желудочно-кишечного тракта лошадей имеют повсеместное распространение и протекают в форме микстинвазий (см. табл. 1, 2). В формировании гельминтокомплекса пищеварительной системы лошадей участвуют паразиты классов *Nematoda* и *Cestoda*, включающих соответственно пять подотрядов – *Strongylata*, *Ascaridata*, *Rabditata*, *Oxiurata* и

Anoplocephalata (*Cestoda*, *Cyclophyllidae*). Ввиду того, что в исследованиях не использовался специфический метод диагностики оксиурат, показатели зараженности ими имеют случайный характер и в дальнейшем анализе не отражены. Аскариды представлены единственным видом – *Parascaris equorum*, имеющим повсеместное распространение. Нематоды подотряда *Rhabdidata* (*Chitwood*, 1933) – *Strongyloides westeri* – выявлены у лошадей Центрального и Западного Алтая. Сообщество нематод подотряда *Strongylata*, семейства *Strongylidae* характеризуется выраженным таксономическим разнообразием и включает представителей подсемейства *Strongylinae*, в том числе нематод родов *Strongylus*, *Craterostomum*, *Triodontophorus*, *Oesophagodontus*, а также стронгилят подсемейства *Cyathostominae* (*Trichonematidae*), в том числе *Gyalocephalus*, *Poteriostomum*. Кроме того, в исследованных пробах фекалий выделены личинки стронгилят семейства *Trichostrongylidae*, идентифицированные как *Trichostrongylus axei*. Согласно литературным данным, трихостронгилез лошадей имеет широкое распространение^{11, 12} [13, 14], однако в условиях Горного Алтая зарегистрирован впервые. Инвазированность лошадей Центрального, Северного и Юго-Восточного Алтая трихостронгилами низкая и составила соответственно 9,8; 4,1 и 27,6%. В литературе мы также не встречали упоминаний о распространении в регионе триодонтофоров, эзофагодонтов, кра-теростом, гиалоцефал и потериостом.

Установлено, что во всех провинциях в гельминтокомплексе лошадей доминируют представители класса *Nematoda* с незначительной зональной вариабельностью показателей ИП (94,1–97,9), в группе нематод преобладают гельминты подотряда *Strongylata*. Зараженность ими среди животных и их доля в гельминтокомплексах не только в республике (ЭИ = 86,8–86,9%, ИП = 87), но и

¹⁰Марченко В.А., Ефремова Е.А., Васильева Е.А. Структура гельминтоценоза крупного рогатого скота Горного Алтая // Российский паразитологический журнал. 2008. № 3. С. 18–23.

¹¹Rehbein S., Visser M., Winter R. Prevalence, intensity and seasonality of gastrointestinal parasites in abattoir horses in Germany // Parasitology Research. 2013. Vol. 112. N 1. P. 407–413.

¹²Скрябин К.И., Шихобалова Н.П., Шульц Р.С. Основы нематодологии. Трихостронгилиды животных и человека. М., 1954. Т. 3. С. 43–55.

во всех физико-географических провинциях Алтая (ЭИ = 68,6–93,1%, ИП = 86,0–90,5) значительно превышают эти показатели для подотряда Ascaridata (ЭИ = 13,2%, ИП = 7,8 и ЭИ = 6,2–16,5%, ИП = 4,6–8,1) и для цестод подотряда Anoplocephalata (ЭИ = 8,8%, ИП = 5,2 и ЭИ = 2,5–11,8%, ИП = 2,1–5,8).

Ядро кишечных гельминтокомплексов составляют цистостомины, отличающиеся максимальными показателями инвазированности ими лошадей и максимальными значениями ИП (см. табл. 1, 3). В то же время более низкие показатели характеризуют предста-

вителей стронгилин рода *Strongylus* – *Strongylus (Alfortia) edentatus*, *Strongylus equinus* при минимальных значениях для *Strongylus (Delafondia) vulgaris*: ЭИ = 4,5–16,3%, ИП = 3,7–8,0 (см. табл. 2, 3).

Полученные нами данные согласуются с результатами многих исследователей, отмечаящих, что распространение стронгилят подсемейства Strongylidae («крупных стронгил»), особенно р. *Strongylus* spp., и зараженность ими лошадей существенно ниже. Цистостомины в настоящее время, напротив, считаются основными возбудителями гель-

Табл. 1. Инвазированность лошадей в провинциях Алтая гельминтами желудочно-кишечного тракта (овоскопия)

Table 1. Infestation of horses in the Altai provinces by gastrointestinal helminths (ovoscopy)

Провинция	ЭИ, %				ИО, я/г	N	ЭИ _у , %	ИО _у , я/г
	Общая	ST	PAR	ANOPL			ST	
Центральный Алтай, n = 491	93,3 ± 1,1	93,1 ± 1,1	16,5 ± 1,6	11,8 ± 1,4	562,8 ± 35,1	19	89,6 ± 4,9	503,2 ± 74,3
Северный Алтай, n = 312	93,6 ± 4,3	92,6 ± 1,5	12,5 ± 1,9	7,1 ± 1,5	311,2 ± 29,8	15	92,4 ± 3,3	328,2 ± 57,1
Западный Алтай, n = 129	78,9 ± 4,0	78,7 ± 4,1	6,2 ± 2,1	7,8 ± 2,3	202,9 ± 40,7	7	85,4 ± 6,8	299,9 ± 138,4
Юго-Восточный Алтай, n = 121	68,6 ± 4,2	68,6 ± 4,2	9,1 ± 2,6	2,5 ± 1,4	565,2 ± 102	8	73,2 ± 9,1	429,6 ± 218,2
Республика Алтай, n = 1053	87,5 ± 1,0	86,9 ± 1,0	13,2 ± 1,0	8,8 ± 0,9	422,3 ± 22,8	49	83,3 ± 6,9	410,6 ± 186,1

Примечание. N – число выборок; n – число проб; ST – гельминты подотряда Strongylata; PAR – нематоды *Parascaris equorum*; ANOPL – цестоды подотряда Anoplocephalata.

Табл. 2. Инвазированность лошадей в провинциях Алтая стронгилятами желудочно-кишечного тракта (лярвоскопия)

Table 2. Infestation of horses in the Altai provinces by gastrointestinal strongyles (larvoscopy)

Провинция	ЭИ, %					ИО, л/г	N	ЭИ _y , %	ИО _y , л/г
	Общая	Cyathosto- minae	Strongylinae						
			<i>St. equin.</i>	<i>St. edent.</i>	<i>St. vul.</i>				
Центральный Алтай, n = 417	94,9 ± 1,1	93,0 ± 1,2	33,8 ± 2,3	31,9 ± 2,3	16,3 ± 1,8	15,5 ± 1,9	18	89,9 ± 4,2	14,7 ± 3,5
Северный Алтай, n = 255	85,1 ± 2,2	84,7 ± 2,3	24,7 ± 2,7	20,0 ± 2,5	6,7 ± 1,6	9,4 ± 1,2	14	85,0 ± 7,0	10,6 ± 2,6
Западный Алтай, n = 127	74,8 ± 3,8	74,8 ± 3,8	18,1 ± 3,4	18,9 ± 3,5	8,7 ± 2,5	4,2 ± 0,6	7	78,1 ± 9,7	3,7 ± 1,1
Юго-Восточный Алтай, n = 111	73,8 ± 4,2	69,4 ± 4,4	23,4 ± 4,0	13,5 ± 3,3	4,5 ± 1,9	10,9 ± 4,9	8	75,4 ± 8,1	12,1 ± 5,4
Республика Алтай, n = 910	86,8 ± 1,1	85,3 ± 1,2	27,8 ± 1,5	24,5 ± 1,4	10,2 ± 1,0	10,5 ± 0,8	47	82,2 ± 1,1	10,3 ± 2,3

Примечание. N – число выборок; n – число проб; виды: *St. equin.* – *Strongylus equinus*, *St. edent.* – *Strongylus edentatus*, *St. vul.* – *Strongylus vulgaris*.

Табл. 3. Структура гельминтокомплекса лошадей в провинциях Алтая (лярвоскопия)

Table 3. Structure of the helminth complex of horses in the Altai provinces (larvoscopy)

Провинция	ИП					
	Cyatost.	<i>St. equin.</i>	<i>St. edent.</i>	<i>St. vul.</i>	PAR	ANOPL
Центральный Алтай, <i>n</i> = 417	45,7	16,6	15,7	8,0	8,1	5,8
Северный Алтай, <i>n</i> = 255	54,4	15,9	12,8	4,3	8,0	4,6
Западный Алтай, <i>n</i> = 127	55,6	13,5	14,1	6,5	4,6	5,7
Юго-Восточный Алтай, <i>n</i> = 111	56,7	19,1	11,0	3,7	7,4	2,1
Республика Алтай, <i>n</i> = 910	50,2	16,4	14,4	6,0	7,8	5,2

Примечание. *n* – число проб; стронгиляты: Cyatost. – подсемейство Cyathostominae, *St. equin.* – *Strongylus equinus*, *St. edent.* – *Strongylus edentatus*, *St. vul.* – *Strongylus vulgaris*; PAR – нематоды *Parascaris equorum*; ANOPL – цестоды подотряда Anoplocephalata.

минтозов эквид и имеют широкое распространение во всем мире¹³⁻¹⁵.

Значительное видовое разнообразие стронгилят, наличие у них способности к реализации биологического цикла без привлечения промежуточного хозяина и устойчивость их пропативных форм к неблагоприятным факторам внешней среды объясняют повсеместное распространение представителей данного подотряда и максимальные показатели инвазированности ими животных.

Ленточные черви с учетом морфометрических особенностей их яиц отнесены к двум видам: *Anoplocephala perfoliata*, имеющему повсеместное распространение, а также *Paranoplocephala tamillana*, зарегистрированному только в Центральном и Северном Алтае соответственно лишь в одной и двух выборках. Такие результаты согласуются с данными других исследователей, подтверждающих господствующее положение *Anoplocephala perfoliata* среди ленточных червей (см. сноску 15).

В провинциях, различающихся природно-климатическими и орографическими условиями, на фоне некоторых общих структурных характеристик гельминтокомплексов количественные показатели зараженности основными видами гельминтов не идентичны.

Условия Центрального Алтая, где в большей степени развито табунное коневодство и сосредоточено 49,1% всего поголовья лошадей республики¹⁶, наиболее благоприятны для осуществления жизненного цикла гельминтов. В этой провинции представлены обширные пространства среднегорий с модификациями степных, лесных и луговых ландшафтов, характеризующихся богатыми по ботаническому составу трав и малоснежными пастбищами. На данной территории инвазированность животных стронгилятами, по результатам овляровскопических исследований, максимальна – 93,1 и 94,9%, также наибольшие значения имеют показатели ИО и ИО_у – 562,8 я/г, 15,5 л/г и 503,2 я/г, 14,7 л/г (см. табл. 1, 2). Лошади рассматриваемой провинции в большей степени, чем в других зонах, заражены параскаридами (ЭИ = 16,5%, ИП = 8,1) и цестодами подотряда Anoplocephalata (ЭИ = 11,8%, ИП = 5,8) (см. табл. 1, 3).

Зараженность эквид кишечными нематодами в целом, в том числе стронгилятами (93,6 и 85,1%) и аскаридами (ЭИ = 12,5%, ИП = 8,0), в коневодческих хозяйствах Северного Алтая не имеет существенных отличий от уровня зараженности в Центральном Алтае, при этом показатели ИО и ИО_у для нематод подотряда Strongylata в 1,5–1,8 раза

¹³Traversa D., Milillo P., Barnes H., von Samson-Himmelstjerna G., Schurmann S., Demeler J., Otranto D., Lia R.P., Perrucci S., Frangipane di Regalbono A., Beraldo P., Amodie D., Rohn K., Cobb R., Boeckh A. Distribution and species-specific occurrence of cyathostomins (Nematoda, Strongylida) in naturally infected horses from Italy, United Kingdom and Germany // Veterinary Parasitology. 2010. Vol. 168. P. 84–92.

¹⁴Шакарбоев Э.Б., Азимов Д.А., Голованов В.И., Кузнецов Д.Н., Урымбетов А.А., Каниязов А.Ж. Гельминты лошадей Узбекистана // Ветеринария. 2017. № 5. С. 29–32.

¹⁵Ryu S.H., Bak U.B., Kim J.G., Yoon H.J., Seo H.S., Kim J.T., Park J.Y., Lee C.W. Cecal rupture by Anoplocephala perfoliata infection in a thoroughbred horse in Seoul Race Park, South Korea // Journal of Veterinary Science. 2001. Vol. 3 (2). P. 189–193.

¹⁶Статистический ежегодник Республики Алтай. Горно-Алтайск, 2016. 41 с.

меньше – 311,2 и 328,1 я/г соответственно. Зараженность аноплоцефалидами здесь тоже практически в 2 раза ниже ($\text{ЭИ} = 7,1\%$), доля цестод в структуре гельминтокомплекса составляет 4,6.

Инвазированность животных Западного Алтая акскаридатами, аноплоцефалитами и стронгилятами составила 6,2 ($\text{ИП} = 4,6$), 7,8 ($\text{ИП} = 5,7$) и 74,8% соответственно. Степень зараженности лошадей нематодами подотряда Strongylata ($\text{ИО} = 202,9$ я/г, $\text{ИО}_y = 299,9$ я/г) на указанной территории в 3,0 и 1,5 раза ниже, чем в Центральном и Северном Алтае. Результаты овоскопических исследований подтверждаются данными лярвоскопии (см. табл. 2), которые также свидетельствуют о значимых отличиях именно в интенсивности инвазированности популяции лошадей в провинциях.

Наиболее выраженные изменения структурно-функциональных характеристик гельминтокомплекса зафиксированы у лошадей Юго-Восточного Алтая. На данной территории зараженность животных стронгилятами и аноплоцефалитами, по сравнению с другими провинциями, минимальна. Инвазированность кишечными гельминтами, в том числе стронгилятами, составляет 68,6 и 73,8%, ленточными червями (Cestoda) – 2,5% ($\text{ИП} = 2,1$), что соответственно в 1,5 и 2,8–4,7 раза ниже, чем в других провинциях (см. табл. 1–3).

Согласно результатам оволярвоскопии, на территории Юго-Восточного Алтая при более низкой экстенсивности инвазии эквид стронгилятами интенсивность заражения (ИО_y) составляет 429,6 я/г и 12,1 л/г и сопоставима с аналогичными характеристиками зараженности животных в Центральном Алтае – 503,2 я/г и 10,6 л/г. Данный факт объясняется неоднородным внутризональным распределением стронгилят, что обусловлено значительными природно-климатическими различиями территории, где на фоне ярко выраженной высотной поясности представлены все природные зоны от высокогорных лесных и луговых ландшафтов до полупустыни и тундры. Зараженность однокопытных горно-степной зоны нематодами подотряда Strongylata составила: $\text{ЭИ} = 62,4\%$, $\text{ИО} = 144,1$ я/г и $\text{ЭИ} = 66,2\%$, $\text{ИО} = 4,7$ л/г, что в 1,3 и 4,0–6,3 раза ниже, чем

у животных горно-лесной зоны ($\text{ЭИ} = 83,3\%$, $\text{ИО} = 903,6$ я/г и $\text{ЭИ} = 89,2\%$, $\text{ИО} = 18,6$ л/г).

Вместе с тем значения ЭИ и ИО сопоставимы со значениями ЭИ_y , ИО_y , что подтверждает сделанные нами выводы о влиянии разнообразия природно-климатических условий в границах самой высокогорной провинции Алтая на инвазированность животных гельминтами. В отличие от других провинций, в Юго-Восточном Алтае отмечается большой разброс значений показателей зараженности в выборках (овоскопия: $\text{ЭИ} = 40,0\text{--}100,0\%$, $\text{ИО} = 7,4\text{--}1758,5$ я/г; лярвоскопия: $\text{ЭИ} = 45,0\text{--}100,0\%$, $\text{ИО} = 0,6\text{--}44,5$ л/г). Кроме того, в данной провинции все показатели инвазированности животных нематодами подотряда Strongylata в горно-лесной зоне (долины рек Аргут и Чулышман) достоверно и значимо выше, чем в высокогорной степной зоне. В то же время уровень экстенсивности заражения (ЭИ_y) и уровень интенсивности инвазии (ИО_y) лошадей высокогорной степной зоны Юго-Восточного Алтая статистически ниже, чем у животных Северного и Центрального Алтая (см. табл. 4).

Выявлено также, что в структуре гельминтокомплекса лошадей в условиях высокогорных степей и высокогорных лесных территорий Юго-Восточного Алтая на фоне явного доминирования цитостомин с ИП соответственно 58,3 ($\text{ЭИ} = 59,5\%$) и 56,9 ($\text{ЭИ} = 89,2\%$) субдоминантами выступают параскариды ($\text{ИП} = 11,6$, $\text{ЭИ} = 11,8\%$) и трихостронгилы ($\text{ИП} = 13,8$, $\text{ЭИ} = 21,6\%$).

В отличие от других провинций, где в структуре гельминтокомплекса однокопытных стронгиляты, аскаридамы и аноплоцефалиты представлены в соотношении 16,2–20,7 : 1,0–1,7 : 1,0–1,2, у животных Юго-Восточного Алтая доля стронгилят и параскарид значительно выше, поэтому соотношение выглядит следующим образом – 46,6 : 3,5 : 1,0.

Низкие значения ИП (2,1) и инвазированности (2,5%) аноплоцефалидами лошадей в условиях высокогорных территорий Юго-Восточного Алтая, характеризующихся наименьшей теплообеспеченностью и низким уровнем осадков по сравнению с другими физико-географическими провинциями

Табл. 4. Достоверность различий показателей уровня зараженности лошадей Юго-Восточного Алтая кишечными стронгилятами по U -критерию Манна–Уитни ($U_{\text{эмп}}/U_{\text{крит}}$), оволарвоскопия

Table 4. Reliability of differences in the level of infestation of horses in the South-Eastern Altai by intestinal strongyles according to the Mann–Whitney U -test ($U_{\text{эмп}}/U_{\text{крит}}$), ovolarvoscopy

Природная зона	n	Овоскопия				Лярвоскопия			
		ЭИ, %	$U_{\text{крит}}$	ИО _у	$U_{\text{крит}}$	ЭИ, %	$U_{\text{крит}}$	ИО _у	$U_{\text{крит}}$
Горно-лесная (среднегорье)	3	100,0	0/1**	928,8	2/3*	100,0	0/1**	24,4	1/3**
Горно-степная (высокогорье)	4	57,1		186,5		60,7		4,6	

Примечание. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; n – число выборок.

Табл. 5. Достоверность различий показателей уровня зараженности лошадей кишечными стронгилятами по U -критерию Манна–Уитни ($U_{\text{эмп}}/U_{\text{крит}}$)

Table 5. Reliability of differences in the levels of infestation of horses with intestinal strongylates according to the Mann–Whitney U -test ($U_{\text{эмп}}/U_{\text{крит}}$)

Провинция	Северный Алтай $n = 15$	Центральный Алтай $n = 19$	Западный Алтай $n = 7$	Юго-Восточный Алтай $n = 8$
<i>Овоскопия</i>				
Северный Алтай	0	141/94	37/28	35/33
Центральный Алтай	94/94*	0	39/37	49/44
Западный Алтай	40/28	36/37*	0	23/13
Юго-Восточный Алтай	48/33	60/44	25/13	0
<i>Лярвоскопия</i>				
Северный Алтай	0	122/82	39/26	41/31
Центральный Алтай	110/82	0	49/35	49/30
Западный Алтай		31/35*	0	24/13
Юго-Восточный Алтай		61/41	22/13	0

Примечание. * $p \leq 0,05$; n – число выборок; данные выше нулевого ряда – уровень экстенсивности инвазии; данные ниже нулевого ряда – уровень обилия яиц (овоскопия) и личинок (лярвоскопия) гельминтов.

региона, определяются, по всей вероятности, небольшой плотностью популяции оribатидных клещей – промежуточных хозяев цестод.

В целом по показателям овоскопии существенных различий в степени экстенсивности инвазии между провинциями Горного Алтая нет. Однако уровень обилия яиц гельминтов в пробах, полученных от лошадей Центрального Алтая, достоверно выше, чем у животных, обитающих в Северном и Западном Алтае (см. табл. 5). Кроме того, установлено, что результаты лярвоскопических исследований сопоставимы с данными овоскопии (см. табл. 5).

Нами также не зафиксированы выраженные различия в значениях ЭИ_у лошадей различных провинций. Но в то же время показатели уровня обилия инвазионных личинок гельминтов, а также яиц в пробах от эквид Центрального Алтая достоверно выше, чем

в биоматериале, полученном от животных из Западного Алтая (см. табл. 5).

На территории Горного Алтая паразитарные инвазии лошадей протекают в форме микстинвазий. При этом мозаичность экологических условий горного региона определяет структурные особенности нозологического профиля гельминтозов животных и степень зараженности гельминтами по отдельным провинциям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В структуре гельминтокомплексов пищеварительной системы лошадей разных физико-географических провинций Горного Алтая доминируют стронгиляты. Зараженность ими животных (ЭИ = 68,6–94,9%, ИО_у = 299,9–503,2 я/г) и их доля в гельминтокомплексах (ИП = 86,0–90,5) значительно превышают величину аналогичных показате-

лей для нематод подотряда Ascaridata (ЭИ = 6,2–16,5%, ИП = 4,6–8,1) и цестод подотряда Anoplocephalata (ЭИ = 2,5–11,8%, ИП = 2,1–5,8). Инвазии лошадей распространены повсеместно, но в границах провинций зафиксированы различия в интенсивности заражения животных гельминтами отдельных таксономических групп и в структуре гельминтокомплексов, наиболее выраженные у лошадей Юго-Восточного Алтая. Здесь зараженность лошадей стронгилятами (68,6%) и анолоцефалатами (2,5%) в 1,5 и 2,8–4,7 раза меньше, чем в других провинциях, однако интенсивность заражения стронгилятами максимальна (ИО = 565,3 я/г, ИО_y = 429,6 я/г), что обусловлено внутризональными различиями экологических условий высокогорья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Домацкий В.Н.* Распространение, терапия и профилактика гельминтозов лошадей в Российской Федерации // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 196–199. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-196-199.
2. *Синяков М.П.* Ассоциативные паразитозы желудочно-кишечного тракта лошадей и оценка эффективности противопаразитарных препаратов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2021. Т. 59. № 2. С. 220–231.
3. *Тимербаева Р.Р., Латыпов Д.Г., Бикбова С.И.* Гельминтозы лошадей // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2020. Т. 243. № 3. С. 254–257. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-243-3-254-257.
4. *Андреева М.В.* Эпизоотологические и биологические особенности развития анолоцефалид табунных лошадей в Республике Саха (Якутия) // Иппология и ветеринария. 2021. № 2. С. 7–12.
5. *Sazmand A., Bahari A., Papi S., Otranto D.* Parasitic diseases of equids in Iran (1931–2020): a literature review // Parasites Vectors. 2020. N 13. P. 586. DOI: 10.1186/s13071-020-04472-w.
6. *Калугина Е.Г., Столбова О.А.* Популяция *Parascaris equorum* в организме лошадей в разные сезоны года в условиях Тюменской области // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2020. Вып. 21. С. 112–117. DOI: 10.31016/978-5-9902341-5-4.2020.21.112-116.

7. *Елизарова О.С., Говорова М.А., Динченко О.И.* Паразитозы как этиологическая составляющая эрозивно-язвенных поражений желудка и кишечника лошадей // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2021. № 4 (52). С. 8–12. DOI: 10.24412/2074-5036-2021-4-8-12.
8. *Гаврилова Н.А., Белова Л.М., Ермакова Е.В.* Эпизоотическая ситуация по гельминтозам лошадей в хозяйствах Ленинградской области // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2019. № 1 (41). С. 17–21. DOI: 10.24411/2074-5036-2019-10008.
9. *Абарыкова О.Л.* Эпизоотологические особенности гельминтозов лошадей в г. Иваново // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2019. Вып. 20. С. 36–39. DOI: 10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.36-39.
10. *Вацаев Ш.В., Черных О.Ю., Лысенко А.А., Берсанова Х.И.* Эпизоотология и меры борьбы с параскаридозом у лошадей в Чеченской Республике // Российский паразитологический журнал. 2018. Т. 12. № 4. С. 59–63. DOI: 10.31016/1998-8435-2018-12-4-59-63.
11. *Понамарёв Н.М., Тихая Н.В.* Распространение отдельных видов паразитов у лошадей в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 7 (165). С. 77–79.
12. *Santos D.W., Madeira de Carvalho L.M., Molento M.B.* Identification of third stage larval types of cyathostomins of equids: An improved perspective // Veterinary Parasitology. 2018. Vol. 260. P. 49–52. DOI: 10.1016/j.vetpar.2018.08.007.
13. *Ashrafi K., Sharifdini M., Heidari Z., Rahmati B., Kia E.B.* Zoonotic transmission of *Teladorsagia circumcincta* and *Trichostrongylus* species in Guilan province, northern Iran: molecular and morphological characterizations // BMC Infectious Diseases. 2020. Vol. 20. P. 2–9. DOI: 10.1186/s12879-020-4762-0.
14. *Amer M.M., Desouky A.Y., Helmy N., Abdou A.M., Sorour Sh.S.* Identifying 3rd larval stages of common strongylid and non-strongylid nematodes (class Nematoda) infecting Egyptian equines based on morphometric analysis // BMC Veterinary Research. 2022. Vol. 18. P. 432. DOI: 10.1186/s12917-022-03526-8.

REFERENCES

1. Domatskiy V.N. Distribution, therapy and prevention of helminthiasis horses in the Russian Federation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2021, no. 3 (89), pp. 196–199. (In Russian).

2. Sinyakov M.P. Associative parasitoses of the gastrointestinal tract of horses and assessment of antiparasitic drugs efficiency. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnikh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2021, vol. 59, no. 2, pp. 220–231. (In Russian). DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-2-220-231.
3. Timerbayeva R.R., Latypov D.G., Bikbova S.I. Helminthosis of horses. *Uchyoniye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy medicini im. N.E. Bauman = Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*, 2020, vol. 243, no. 3, pp. 254–257. (In Russian). DOI: 10.31588/2413-4201-1883-243-3-254-257.
4. Andreeva M.V. Epizootological and biological features of the development of anoplocephalids of herd horses in the Republic of Sakha (Yakutia). *Ippologiya i veterinariya = Hippology and Veterinary*, 2021, no. 2, pp. 7–12. (In Russian).
5. Sazmand A., Bahari A., Papi S., Otranto D. Parasitic diseases of equids in Iran (1931–2020): a literature review. *Parasites Vectors*, 2020, no. 13, p. 586. DOI: 10.1186/s13071-020-04472-w.
6. Kalugina E.G., Stolbova O.A. Parascaris equorum population in horses in different seasons of the year in the Tyumen region. *Teoriya i praktika bor'bi s parazitarnimi boleznyami = Theory and practice of parasitic disease control*, 2020, is. 21, pp. 112–117. (In Russian). DOI: 10.31016/978-5-9902341-5-4.2020.21.112-117.
7. Elizarova O.S., Govorova M.A., Dinchenko O.I. Parasitosis as an etiology of the development of erosive and ulcerative processes of gastrointestinal tract in horses. *Aktual'nie voprosi veterinarnoy biologii = Actual Questions of Veterinary Biology*, 2021, no. 4 (52), pp. 8–12. (In Russian). DOI: 10.24412/2074-5036-2021-4-8-12.
8. Gavrilova N.A., Belova L.M., Ermakova E.V. Epizootic situation of helminthiasis of horses in the farms of the Leningrad region. *Aktual'nie voprosi veterinarnoy biologii = Actual Questions of Veterinary Biology*, 2019, no. 1 (41), pp. 17–21. (In Russian). DOI: 10.24411/2074-5036-2019-10008.
9. Abarykova O.L. Horses helminthosis specificity in Ivanovo city. *Teoriya i praktika bor'bi s parazitarnimi boleznyami = Theory and practice of parasitic disease control*, 2019, is. 20, pp. 36–39. (In Russian). DOI: 10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.36-39.
10. Vatcaev Sh.V., Chernykh O.Yu., Lysenko A.A., Bersanova Ch.I. Epizootology and control measures against parascarisidosis in horses in Chechen Republic. *Rossiyskiy parazitologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Parasitology*, 2018, vol. 12, no. 4, pp. 59–63. (In Russian). DOI: 10.31016/1998-8435-2018-12-4-59-63.
11. Ponamarev N.M., Tikhaya N.V. Distribution of certain parasitic species in horses in the Altai region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, no. 7 (165), pp. 77–79. (In Russian).
12. Santos D.W., Madeira de Carvalho L.M., Molento M.B. Identification of third stage larval types of cyathostomins of equids: An improved perspective. *Veterinary Parasitology*, 2018, vol. 260, pp. 49–52. DOI: 10.1016/j.vetpar.2018.08.007.
13. Ashrafi K., Sharifdini M., Heidari Z., Rahmati B., Kia E.B. Zoonotic transmission of Teladorsagia circumcincta and Trichostrongylus species in Guilan province, northern Iran: molecular and morphological characterizations. *BMC Infectious Diseases*, 2020, vol. 20, pp. 2–9. DOI: 10.1186/s12879-020-4762-0.
14. Amer M.M., Desouky A.Y., Helmy N., Abdou A.M., Sorour Sh.S. Identifying 3rd larval stages of common strongylid and non-strongylid nematodes (class Nematoda) infecting Egyptian equines based on morphometric analysis. *BMC Veterinary Research*, 2022, vol. 18, p. 432. DOI: 10.1186/s12917-022-03526-8.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Ефремова Е.А.**, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: alfa_parazit@mail.ru

Марченко В.А., доктор биологических наук, заведующий лабораторией

Смертина М.А., аспирант

AUTHOR INFORMATION

✉ **Elena A. Efremova**, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia; e-mail: alfa_parazit@mail.ru

Victor A. Marchenko, Doctor of Science in Biology, Laboratory Head

Maria A. Smertina, Post-graduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 09.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 04.09.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭМБРИОНОВ В ЯЙЦЕ ПТИЦЫ ДО ЕГО ИНКУБАЦИИ

✉ Алейников А.Ф.^{1,2}, Осипенко И.В.²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет

Новосибирск, Россия

✉ e-mail: fti2009@yandex.ru

Сформулированы и обоснованы требования к методам определения пола эмбриона в яйце в соответствии с ужесточением ранее принятых норм отбраковки петушков при инкубации. Проведен анализ новых разрабатываемых методов определения и отбраковки эмбрионов яиц в течение 7 дней их инкубации, описаны их преимущества и недостатки. Выявлены два неинвазивных метода, которые имеют определенную перспективу коммерческого внедрения в отрасль птицеводства (инфракрасная спектроскопия и компьютерное зрение). Цель исследования – определить возможности неинвазивного метода определения пола эмбриона в яйце до инкубации на основании интеллектуального анализа предложенных морфометрических признаков яйца птицы. Впервые разработан метод определения полового диморфизма, основанный на анализе параметров асимметрии яйца по трем пространственным координатам, определяемым методами компьютерного зрения с применением машинного обучения. Разработана экспериментальная установка оценки жизнеспособности и создание необходимых условий для проведения инкубации и вывода цыплят для подтверждения осуществления предлагаемого метода. В состав ее входят smart инкубатор «Умная наседка», брудер, тепловизионная микрокамера TE-Q1, маслonaполненный радиатора POLARIS модели PRE T 0915, увлажнитель воздуха Ergorpower ER 604, бактерицидный облучатель-рециркулятор воздуха DEFENDER 2-15C, термогигрометр RGK TH-30 и ноутбук. При получении изображений в установке использован цифровой фотоаппарат Canon EOS 2000D EF-S 18-55 III Kit с современной CMOS-матрицей (22,3 × 14,9 мм) и мощным процессором. Геометрическую пространственную цифровую модель каждого яйца программным путем искусственно разбивали на множество элементов, по которым определяли асимметрию формы яйца. При этом по измеренным линейным размерам каждого элемента определяли их индексы формы, площадь, объем и периметр. Проведена инкубация 72 оплодотворенных яиц курицы кросса Dekalb White. После инкубации удалось достоверно определить пол 38 цыплят. Применение методов машинного обучения при решении задач бинарной классификации для малой выборки (38) с большой размерностью исходного набора признаков позволило получить три окончательные модели со значением точности метрик достоверности AUC = 73–72% и F1 = 69–72%: Random Forest классификатор с 4 оценщиками и максимальной глубиной 3; классификатор случайного леса с 10 оценщиками и максимальной глубиной 5 и классификатор AdaBoost с 4 оценщиками дерева решений и максимальной глубиной 3. Экспериментальное подтверждение взаимосвязи асимметрии формы яйца с его половым диморфизмом позволит приблизиться к решению мировой научной проблемы достоверного определения пола яйца до инкубации.

Ключевые слова: яйцо, инкубация, эмбрион, диморфизм, определение, методы, компьютерное зрение

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR EVALUATING EMBRYOS IN A BIRD EGG BEFORE INCUBATION

✉ Aleynikov A.F.^{1,2}, Osipenko I.V.².

¹*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences*
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²*Novosibirsk State Technical University*
Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: fti2009@yandex.ru

The requirements to the methods of embryo sex determination in an egg have been formulated and substantiated in accordance with the tightening of the previously accepted norms of cockerel culling during incubation. New methods under development for identifying and culling of egg embryos within 7 days of incubation have been analyzed, and their advantages and disadvantages have been described. Two non-invasive techniques have been identified that have some potential for commercialization in the poultry industry (infrared spectroscopy and computer vision). The purpose of the study is to determine the possibilities of a non-invasive method for determining the sex of an embryo in an egg prior to incubation based on intelligent analysis of the proposed morphometric features of poultry eggs. The scientific novelty of the research lies in the fact that for the first time a method of determining sexual dimorphism based on the analysis of egg asymmetry parameters by three spatial coordinates determined by computer vision methods with the use of machine learning has been developed. An experimental unit for viability assessment and establishment of the necessary conditions for incubation and hatching of chicks has been developed to validate the implementation of the proposed method. It includes a smart incubator "Smart Nest", a brooder, a thermal imaging micro-camera TE-Q1, an oil-filled radiator POLARIS model PRE T 0915, an air humidifier Ergopower ER 604, a bactericidal air irradiator-re-circulator DEFENDER 2-15C, a thermohygrometer RGK TH-30 and a laptop. For image acquisition, the setup utilized a Canon EOS 2000D EF-S 18-55 III Kit digital camera with a state-of-the-art CMOS sensor (22.3 × 14.9 mm) and a powerful processor. The geometric spatial digital model of each egg was artificially divided into a set of elements by software, by which the asymmetry of the egg shape was determined. In doing so, their shape indices, area, volume and perimeter were determined from the measured linear dimensions of each element. Incubation of 72 fertilized eggs of Dekalb White cross hen was carried out. Following the incubation, it was possible to reliably determine the sex of 38 chicks. Applying machine learning methods in solving binary classification problems for a small sample (38) with high dimensionality of the initial feature set yielded three final models with accuracy metrics AUC = 73–72% and F1 = 69–72%: Random Forest classifier with 4 evaluators and maximum depth of 3; Random Forest classifier with 10 evaluators and maximum depth of 5 and AdaBoost classifier with 4 decision tree evaluators and maximum depth of 3. Experimental confirmation of the relationship between the egg shape asymmetry and its sexual dimorphism will make it possible to approach the solution of the world scientific problem of reliable determination of the egg sex before incubation.

Keywords: egg, incubation, embryo, dimorphism, definition, methods, machine vision

Для цитирования: Алейников А.Ф., Осипенко И.В. Разработка нового метода оценки эмбрионов в яйце птицы до его инкубации // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 106–120. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-11>

For citation: Aleynikov A.F., Osipenko I.V. Development of a new method for evaluating embryos in a bird egg before incubation. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 106–120. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 22-26-00198.

Acknowledgments

The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-26-00198.

ВВЕДЕНИЕ

Отбраковке однодневных петушков после проведения инкубационного периода ежегодно подвергаются более 7 млрд домашних птиц [1]. Учитывая, что эта процедура осуществляется, как правило, антигуманными методами – путем мацерации и удушения в среде углекислого газа, она вызывает общественную озабоченность неэтичными действиями производителей пищевой продукции [2]. В связи с этим в ряде европейских стран (Германия, Франция) с 2022 г. действует закон о запрещении массовой выбраковки суточных цыплят¹. В Швейцарии планируют ввести подобный запрет в 2026 г. Производителей обязали использовать технологии определения пола цыпленка до его рождения и предотвращать процесс появления петушков в процессе инкубации. Кроме того, с 2024 г. в ряде стран Европы планируют введение запрета на уничтожение живых эмбрионов в яйце птицы после 6-го дня инкубации². Это связано с наличием сердечных сокращений у развивающегося эмбриона уже на 3-й день инкубации и серой зоны болевого порога эмбриона на 7-й день инкубации яйца курицы (см. сноску 2).

Определение пола эмбриона в яйце до инкубации остается нерешенной проблемой [3]. В связи с новыми тенденциями перспективный метод определения пола эмбриона в яйце должен:

- не разрушать целостность яичной скорлупы или эмбриона, т.е. быть неинвазивным методом;
- не оказывать отрицательного влияния на эмбрион в яйце и цыплят в процессе их вывода и дальнейшего развития;
- осуществлять отбраковку инкубационных яиц до инкубации или в срок до 6–7 дней, когда маловероятен болевой порог у развивающегося эмбриона, т.е. быть приемлемым с этической точки зрения;

– быть быстродействующим, чтобы его можно было применять к большому количеству яиц в производственных инкубаторах;

– исключать применение зарубежных сложных технологий, технических и других средств при его реализации;

– обладать необходимой достоверностью или точностью прогноза полового диморфизма в яйце;

– не иметь трудоемких операций, сложных аналитических процедур, приводящих к удорожанию его коммерческой реализации, но обладать перспективой его использования непосредственно на инкубаторах отечественных птицефабрик.

В связи с этим при анализе существующих методов оценки полового диморфизма эмбрионов яиц птицы и разработке нового метода путем экспериментальных исследований в данной работе учтены изложенные выше требования к нему.

Цель исследования – определить возможности неинвазивного метода определения пола эмбриона в яйце до инкубации на основании интеллектуального анализа предложенных морфометрических признаков яйца птицы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведенный анализ более 100 источников по существующим методам и средствам оценки полового диморфизма эмбрионов яйца птицы при инкубации (до 7 сут) выявил пять основных методов (см. табл. 1). К методам, способным осуществлять отбраковку инкубационных яиц в срок до 7 дней, можно отнести инфракрасную спектроскопию (ИК) с помощью оптического трансмиссионного спектрометра UV-VIS-NIR [4] и компьютерное (техническое) зрение с использованием нейронной сети генетического алгоритма обратного распространения ошибки (GA-BPNN) [5].

¹Gschweng D. In Deutschland ist es seit 2022 verboten, Küken zu schreddern // Die Industrie umgeht das Verbot. 2023. 11.01. <https://www.infosperber.ch/gesundheit/ernaehrung/bruderhaehne-toeten-verboten-nun-sterben-sie-im-ausland/> (дата обращения 15.09.2023).

²Akiyama R., Matsuhisa A., Pearson J.T., Tazawa H. Long-term measurement of heart rate in chicken eggs // Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol. 1999. Vol. 124. Is. 4. P. 483–490.

Табл. 1. Существующие методы определения пола эмбриона в ранние дни инкубации
Table 1. Existing methods for determining the sex of an embryo in the early days of incubation

Метод определения пола	Особенность	День определения	Достоверность, %	Преимущества	Недостатки	Источник
Инфракрасная спектроскопия	Трансмиссионная спектроскопия (диапазон длин волн 360–1000 нм)	7-й	От 84,29 до 87,14	Неинвазивный метод	Большая трудоемкость определения пола	4
Компьютерное (техническое) зрение	Определение структуры и распределения по объему инкубируемого яйца кровеносных сосудов, нейронная сеть GA-BPNN	4-й	От 89,00 до 78,58 для двойных и одиночных вскрытых слоев	Неинвазивный метод, реализуется с помощью недорогих технических средств, ранний срок определения пола	Достоверность прогноза пола зависит от окраски инкубируемого яйца, наличия на его скорлупе неоднородных включений, необходимость строгой ориентации для получения изображений	5
Рамановская спектроскопия	Забор крови эмбриона, длина волны возбуждения лазера – 785 нм	3,5-й	До 90	Ранний срок определения пола, достаточная достоверность прогноза	Инвазивный метод: вскрытие оболочки яйца, что оказывает влияние на развитие эмбриона	6, 7
Флуоресцентная спектроскопия	Забор крови эмбриона, длина волны лазера – 785 нм	3,5-й	До 90	То же	То же	8
«Двухволновая» флуоресцентная спектроскопия	Забор крови эмбриона, вскрытие яйца на тупом конце яйца	4-й	До 96	Ранний срок определения пола, внутренняя мембрана яйца не повреждается, высокая достоверность прогноза	Инвазивный метод: вскрытие оболочки яйца на его тупом конце	9

Эти методы в какой-то степени соответствуют сформулированным выше требованиям по реализации их в отрасли птицеводства в качестве оценки полового диморфизма эмбрионов до появления у них ноцицепции.

Однако трансмиссионная спектрометрия требует³:

- исключения в зоне поведения анализа любого внешнего света, электронного шума, малейших вибраций и других воздействий;
- помещения особым образом исследуемого образца в специальную индивидуально разрабатываемую для него ячейку, которая не должна содержать материалы, поглощающие инфракрасное излучение (пластмасса, стекло);
- регулирования параметров микроклимата, особенно относительной влажности воздуха, так как от изменений зависит точность проведения аналитических процедур такого спектрометра.

В связи с этим процедура анализа методом ИК-спектрометрии длительна, сложна, трудоемка и мало привлекательна для инвестиций при коммерческой реализации.

Применение компьютерного зрения уменьшает затраты на трудоемкие процессы, связанные с нарастающей интенсификацией производства продукции птицефабрик. Они обеспечивают формирование большого объема разнообразных данных по оценке жизнедеятельности и прогноза половых признаков эмбриона в яйце для последующего анализа [3, 5].

Что касается разрабатываемого метода по определению структуры и распределения по объему инкубируемого яйца кровеносных сосудов, то он не имеет высокой достоверности определения пола (см. табл. 1). Во-первых, поверхность скорлупы яиц должна иметь чисто белую однородную поверхность, без крапинок и посторонних включений, иначе это вносит дополнительные ошибки в определении пола эмбриона [10]. Во-вторых, на достоверность определения влияют физиологические и биохимические процессы, протекающие в период развития эмбриона, по-

скольку в процессе инкубации значительно изменяется соотношение составных частей яйца. Например, при инкубации происходит уменьшение массы белка, особенно это резко выражено с 3-го по 5-й день (от 50,38 до 21,44%), и к 7-му дню желток достигает 65,4% массы яйца⁴.

При реализации метода оценки пола эмбрионов по признакам структуры кровеносных сосудов требуется применение светопроводимой цифровой камеры в связи с потерей светопрозрачности жидкости в яйце в процессе инкубации [11], роботизированной системы идентификации яйца, кратковременного извлечения его из инкубатора, установки на ложемент идентично по всей партии инкубированных яиц, подсвеченного от источника излучения, а также получение прецизионного изображения сосудов, быстрое помещение его в инкубатор и др. Для обнаружения и получения изображения необходимо использовать дополнительную систему, которая с помощью трехкоординатного исполнительного механизма осуществит обнаружение кровеносных сосудов и получение четкого изображения их структуры. Следует заметить, что в начальные дни инкубации структура сосудов мало различима. Размеры и характер распределения сосудов по поверхности неодинаковы, поскольку эти признаки изменяются в зависимости от площади проекции яйца на получаемом изображении. Далее в процессе получения изображений необходимо выдерживать время, чтобы более вязкий, чем белок, желток перестал совершать колебательные перемещения и выбрать проекцию, обеспечивающую захват системы кровеносных сосудов. В связи с этим затраты на внедрение данного метода сопоставимы с затратами на разработку существующей роботизированной системы Ella немецкой компании Seleggt, производительностью 3600 яиц в час, позволяющей определить пол будущего цыпленка на 8–10-й день ин-

³Инфракрасная спектроскопия: <https://microbiologynote.com/ru/принцип-инфракрасной-ИК-спектроскопии-инструментальное-применение/> (дата обращения 15.09.2023).

⁴Физиология развивающегося эмбриона: https://studref.com/534356/agropromyshlennost/fiziologiya_razvivayuschegosya_embriona#: (дата обращения 15.09.2023).

кубации с 98%-й достоверностью инвазивным методом (см. рис. 1)⁵.

Предлагается метод, основанный на идее использования морфометрических признаков яйца для определения пола эмбриона [12]. В развитии рассматриваемого подхода, основанного на определении отношения продольного к поперечному линейному размеру яйца, предлагается сделать акцент на определение асимметрии морфометрических признаков яйца относительно пространственных координат. Можно предположить, что характер асимметрии куриных яиц по пространственным координатам с зародышами мужского и женского пола различный.

Стремление к симметрии формы у живых организмов – известный факт, он объясняется уменьшением энтропии в упорядоченных системах. Форма яйца будущих курочек может быть более симметричной, чем у будущих петушков, и она будет стремиться приблизиться к сфере (с целью сохранения будущего потомства) [13]. Это позволит более равномерно распределять силы на скорлупу

яйца с будущей курочкой при возможных резких механических нагрузках и повысить ее устойчивость к повреждению скорлупы по сравнению с яйцом противоположного пола [3, 14].

Разрабатываемый метод содержит следующие приемы, выполняемые с помощью комплекса компьютерных программ [15].

Определяют шесть базовых параметров цифровой модели яйца в пикселях (пкс): продольный размер l , поперечный размер b , периметр, площадь, объем и индекс формы (отношение поперечного b к продольному размеру l).

В полученной цифровой модели яйца по значениям продольного и поперечного размера изображения яиц устанавливают центр эллипсоидной фигуры.

Исходные изображения эллипсоидных фигур яиц делят на четыре равных сектора и из каждого сектора методом зеркального отображения формируют четыре новых изображения, определяя при этом половины поперечных и продольных размеров изо-



Рис. 1. Внешний вид роботизированного комплекса Ella

Fig. 1. External view of the Ella robotic complex

⁵In-ovo sexing: https://en.wikipedia.org/wiki/In-ovo_sexing#:~:text=In%20poultry%20farming%2C%20in-ovo%20sexing,-company%20Seleggt%20in%20November%202018 (дата обращения 15.09.2022).

бражения конкретного яйца и вычисляя их площади и периметры. Далее вписывают из центра эллипсоидной фигуры модели круг. Значение радиуса круга равно половине поперечного размера конкретного изображения яйца. Затем вычисляют площади, периметры и их суммы, разность и отношение их друг к другу на участках вне вписанного круга как у острого, так и тупого конца изображения яйца. В итоге получают 45 переменных признаков модели.

Потом симметрично от центра формируют 12 равномерных сечений перпендикулярно продольной оси l конкретного изображения яйца и определяют значения всех поперечных размеров изображения яиц, а также всех размеров их пересечений на продольной оси конкретного изображения яйца. Вычисляют их соотношения на всех участках пересечения, распределение индексов формы. Затем через равномерные сегменты углов эллипсоидной фигуры яиц ($\Omega = 10$ град.) ее разбивают на систему из 36 радиус-векторов и определяют их модули от выбранного центра фигуры до границы контура изображений конкретного яйца.

Все полученные выше данные, характеризующие форму цифровой модели яиц и ее отклонение от симметрии, подвергают статистическому анализу. При этом выделяют только те данные, у которых уровень значимости в каждой выделенной размерной группе был наименьшим. Далее выделенные данные используют в методах машинного обучения, применимого при решении задачи бинарной классификации для малых выборок с большой размерностью исходного набора признаков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения экспериментальных исследований создана установка для оценки жизнеспособности (далее УПЖ) и создание необходимых условий для проведения инкубации и вывода цыплят. В состав установки оценки и поддержания жизнеспособности входил инкубатор 1, брудер 2, тепловизор 3, смартфон 4, ноутбук 5, электрический нагреватель 6, увлажнитель 7, прибор для из-

мерения температуры и влажности воздуха 8 и облучатель-рециркулятор воздуха ультрафиолетовый бактерицидный 9 (см. рис. 2). УПЖ была размещена в изолированной темной комнате площадью 14 м², где с помощью маслonaполненного радиатора POLARIS модели PRE T 0915 и увлажнителя воздуха Ergorpower ER 604 поддерживали необходимые температуру и относительную влажность воздуха в соответствии с рекомендациями, изложенными в руководстве по эксплуатации на инкубатор.

В качестве инкубатора выбран отечественный Smart инкубатор «Умная наседка» ИБ2НБ-УИ, ТУ4743-002-8610978–2008, предназначенный для инкубации шести видов домашней птицы. Он, как и установка для получения изображений яйца методом компьютерного зрения, размещен в темной комнате.

Основные технические характеристики инкубатора по сопровождающей документации следующие: питание электроэнергией 12 В, 8 А, максимальная мощность 80 Вт, диапазон регулируемых температур от 37,0 до 39,5 °С, точность поддержания температуры $\pm 0,1$ °С, вместимость эталонных куриных яиц – 104 яйца; габаритные размеры корпуса (без привода) 795 × 595 × 295 мм, масса в упаковке не более 4 кг.

Для обеспечения жизни выведенных птенцов после инкубации необходимо поместить их в специальное изолированное ограниченное замкнутое пространство, где нужно поддерживать более высокий по сравнению с отопляемым помещением тепловой режим. Кроме того, в этом пространстве должны быть созданы все условия развития такого живого организма. В первую очередь необходимо обеспечить птенцов питьевой водой с возможностью добавления в нее стимулирующих и лекарственных средств и пищи. Также необходимо своевременно удалять отходы жизнедеятельности, исключить возможность возникновения сквозного потока воздуха, возникающего через отверстия и щели в помещении, при этом осуществлять возможность подачи чистого и свежего воздуха и др. Для этих целей приобретен брудер

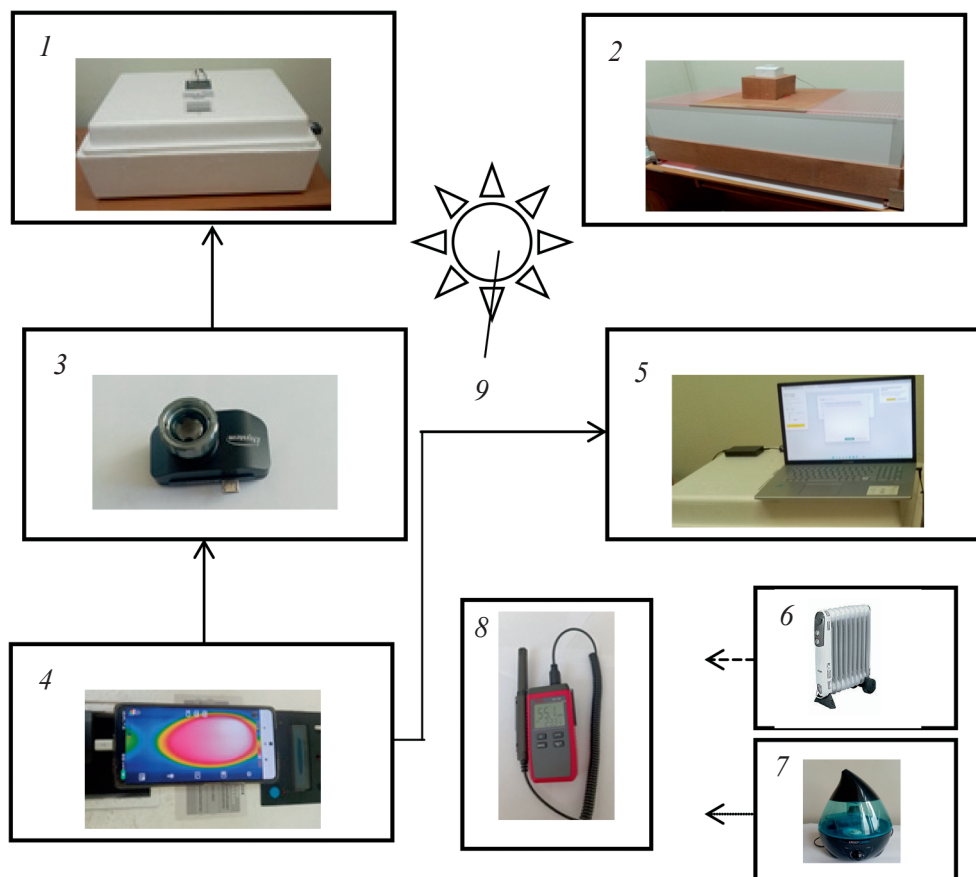


Рис. 2. Состав установки УПЖ

Fig. 2. Composition of the VAU (viability assessment unit)

разборный 77 с инфракрасной керамической лампой и поилкой.

Партию яиц перед инкубацией подвергли оценке на жизнеспособность с помощью овоскопа Алиса и тепловизионной микрокамеры TE-Q1.

После этого с помощью установки технического зрения получали прецизионные изображения (цифровые модели) каждого инкубационного яйца. Для получения изображений в установке использован цифровой фотоаппарат Canon EOS 2000D EF-S 18-55 III Kit с современной CMOS-матрицей (22,3 × 14,9 мм) и мощным процессором [3]. Его характеристики: глубина цвета 42 бит/пкс, диапазон светочувствительности матрицы – от 100 до 6400 ISO, кроп-фактор равен 1,6, экспозиция автоматическая с приоритетом как диафрагмы, так и выдержки, видоискатель зеркаль-

ный (TTL) с полем зрения 95%, скорость быстрой съемки – три кадра в секунду.

К каждому кадру изображения яйца применен фильтр HSV (тон, насыщенность, яркость), что позволило получить изображение без бликов с высоким разрешением изображения (1660 × 1900 пкс) и черно-белой цветностью. Таким образом, после этих преобразований в кадре сформирован единственный объект белого цвета в виде замкнутой овальной геометрической фигуры, форма которой соответствует исследуемому объекту – яйцу курицы.

Перед инкубацией все элементы установки УПЖ и партия яиц проходили дезинфекцию в соответствии с рекомендациями⁶. Для поддержания санитарно-профилактических мероприятий в помещении использован бактерицидный облучатель-рециркулятор воз-

⁶ОСТ 10-85-87. Производство инкубационных яиц сельскохозяйственной птицы. Технология прединкубационной обработки. Основные параметры. Минсельхоз России, 1988.

духа DEFENDER 2-15C. После процедуры определения и сохранения параметров изображений яиц в персональном компьютере из всей партии исследуемых яиц отбраковано восемь с низкой жизнеспособностью зародыша яйца. Куриные яйца в количестве 72 шт. в течение 21 сут подвергнуты инкубации (кросс Dekalb White). В процессе инкубации из 72 яиц вывелись 69 живых птенцов, из которых в брудере погибли четыре птенца и семь вылупились с признаками рахитизма. Из здоровых 58 птенцов достоверно идентифицировать по полу удалось лишь 38 (24 птенушка и 14 курочек). С целью повышения достоверности определения пола заключение об их половой принадлежности принимали лишь при совпадении внешних признаков перьев однодневных цыплят и их рефлекторных реакций [15].

Таким образом, исходный набор данных состоял из 38 выборок изображений, из которых формировался набор числовых геометрических характеристик. Каждый набор описан 93 признаками асимметрии. В связи с тем, что распределение практически всех параметров асимметрии отлично от нормального, для проверки гипотезы об отличии средних использовали два критерия: $p1$ – U-критерий Манна-Уитни и $p2$ – критерий Колмогорова-Смирнова [16].

Применение двух критериев позволит повысить достоверность подтверждения гипотезы об отличии средних (математических) ожиданий. По результатам статистического анализа, который на имеющихся данных о параметрах асимметрии не дал достоверных различий для двух рассматриваемых групп, из всех показателей выбрано 26. При этом выбирали данные с наименьшими значениями критериев $p1$ и $p2$ (см. табл. 2).

В полученную группу признаков вошли геометрические характеристики яйца: два признака из базовых параметров, четыре – из параметров индекса формы, основанных на поперечных и продольных размерах по отрезкам, семь – из параметров модулей радиус-векторов, 13 – из параметров признаков асимметрии по разделению на четверти и вписанной окружности.

Однако использование статистического анализа не дало ожидаемых результатов.

В связи с этим принято решение исследовать применимость методов машинного обучения для получения моделей, способных определять пол цыпленка на основе геометрических характеристик яйца и выявления наиболее информативных признаков.

При построении моделей набор функций, полученных с помощью различных методов обработки изображений, сгруппирован в несколько отдельных категорий:

- G01 (6 признаков – периметр, площадь, объем, продольные и поперечные размеры, индексы формы);

- G02 (11 признаков – индексы формы на основе сегментных поперечных и продольных размеров);

- характеристики радиус-векторов, проведенных от центра объекта к границе контура: G03 (36 признаков – длина вектора по сегменту); G04 (18 признаков – соотношение длин под углом 180 град.); G05 (18 признаков – соотношение длин под углом 90 град.);

- характеристики готового образца: G06 (16 признаков – группа 1: площади, периметры); G07 (8 признаков – группа 2: с использованием вписанной окружности); G08 (12 признаков – группа 3: усредненные характеристики);

- G09 (4 функции – расчетные объемы элементов разбиения);

- G10 (93 функции: комбинация групп G01-G09);

- G11 (53 функции: комбинация групп G01-G03).

Использованы следующие алгоритмы машинного обучения (МО): построение таких моделей, как деревья решений, случайные леса, адаптивное повышение, логистическая регрессия и машины опорных векторов (SVM) для классификации с использованием следующих конфигураций:

- M01: классификатор дерева решений с максимальной глубиной 3;

- M02: классификатор дерева решений с максимальной глубиной 5;

- M03: классификатор случайного леса с 4 оценщиками и максимальной глубиной 3;

- M04: классификатор случайного леса с 10 оценщиками и максимальной глубиной 5;

Табл. 2. Список параметров, выбранных на этапе статистического анализа*

Table 2. List of parameters selected at the statistical analysis stage*

Но- мер	Код параметра	Описание параметра, пкс	Диапазон (партии)	Курочки	Петушки	p_1 (p-value)	p_2 (p-value)
<i>Базовые параметры и асимметрия по срезам</i>							
1	x_height	l	956,0 ÷ 1091	1053 ± 38	984 ± 28	0,44	0,64
2	x_perim	Периметр (Per.)	2989,4 ÷ 3407,6	3234,7 ± 97,5	3218,9 ± 89,0	0,41	0,58
3	x_M1_shapeInd_01	l/b в для сегмента 1	2,2 ÷ 2,7	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1	0,75	0,44
4	x_M1_shapeInd_09	l/b сегмента 9	36,2 ÷ 40,7	37,9 ± 1,2	37,8 ± 0,7	0,89	0,32
5	x_M1_shapeInd_10	l/b для сегмента 10	34,8 ÷ 39,2	36,5 ± 1,2	36,3 ± 0,8	0,82	0,49
6	x_M1_heightPerN	Δl	79,7 ÷ 92,6	87, 7 ± 3.2	87,7 ± 2,4	0,44	0,64
<i>Параметры асимметрии по модулю радиус-векторов</i>							
7	x_M3_a080	При $\Omega = 80$ град.	479 ÷ 558	527,0 ± 19,8	527,5 ± 14	0,42	0,70
8	x_M3_a090	При $\Omega = 90$ град.	479 ÷ 570	535,4 ± 21,8	534,5 ± 15	0,33	0,64
9	x_M3_a100	При $\Omega = 100$ град.	475 ÷ 557	527,0 ± 19,8	526,1 ± 15	0,41	0,64
10	x_M3_a140	При $\Omega = 140$ град.	423 ÷ 460	440 ± 10	439 ± 9	0,66	0,44
11	x_M3_a150	При $\Omega = 150$ град.	416 ÷ 434	425 ± 9	425 ± 8	0,86	0,44
12	x_M3_a250	При $\Omega = 250$ град.	490 ÷ 516	502 ± 14	502 ± 12	0,49	0,64
13	x_M3_a300	При $\Omega = 300$ град..	461 ÷ 510	489 ± 13	487 ± 9	0,59	0,49
<i>Параметры, полученные по приему четвертей и вписанной окружности</i>							
14	x_M4_UL_height	l	958 ÷ 1116	1072 ± 44	1071 ± 30	0,34	0,49
15	x_M4_UL_perimDown	Per. нижней фигуры вне вписанного круга	2149 ÷ 2716	2404 ± 136	2467,5 ± 100	0,18	0,13
16	x_M4_UL_perimUpper	Per. верхней фигуры вне вписанного круга	2179 ÷ 2770	2418 ± 142	2484 ± 109	0,14	0,13
17	x_M4_UR_height	l	958 ÷ 1140	1072 ± 44	1070 ± 31	0,34	0,49
18	x_M4_DL_perimDown	Per. нижней фигуры вне вписанного круга	2715 ÷ 3023	2914 ± 79	2895 ± 74	0,34	0,58
19	x_M4_DL_perimUpper	Per. верхней фигуры вне вписанного круга	2715 ÷ 3023	2916 ± 81	2895 ± 74	0,30	0,39
20	x_M4_DR_perimDown	Per. p нижней фигуры вне вписанного круга	2711 ÷ 3065	2923 ± 80	2888 ± 84	0,31	0,64
21	x_M4_DR_perimUpper	Per. верхней фигуры вне вписанного круга	2711 ÷ 3063	292 ± 82	2889 ± 84	0,23	0,49
23	x_M4_UL_perim_avg	Среднее значение (μ) Per. левого верхнего сегмента вне круга	2164 ÷ 2580	2411 ± 137	2476 ± 104	0,16	0,13
24	x_M4_DL_perim_avg	μ Per. правого нижнего сегментов вне круга	2715 ÷ 3023	2915 ± 80	2895 ± 74	0,30	0,39
25	x_M4_DR_perim_avg	μ Per. обоих нижних сегментов вне круга	2711 ÷ 3009	2924 ± 85	2889 ± 84	0,27	0,64
26	x_M4_UR_volume	μ площади обоих правых верхних сегментов вне круга	332 384 976 ÷ 42 825 441	387 671 169 ± 28 014 778	385 584 292 ± 23 636 658	0,66	0,41

*Самые малые значения p_1, p_2 у анализируемых параметров отмечены курсивом.

- M05: классификатор AdaBoost с 4 оценщиками дерева решений и максимальной глубиной 3;
- M06: классификатор опорных векторов с ядром «RBF»;
- M07: классификатор опорных векторов с «линейным» ядром;
- M08: логистическая регрессия с регуляризацией L2.

Для обработки и анализа данных использовали язык программирования Python, при реализации перечисленных алгоритмов создания и обучения моделей МО выбрана библиотека *scikit-learn*, при построении моделей использовали программу Orange 3 с графическим интерфейсом пользователя. При оценке метрик модели применен подход перекрестной проверки в двух различных вариантах⁷. На начальном этапе работы использовали метод исключающего контроля, в котором тестируемое подмножество состояло из одной выборки ($k = 1$), а количество делений и моделей было эквивалентно количеству выборок ($N = 38$). На этапе построения и выбора модели реализован K -кратный метод контроля с $K = 3$ разбиениями и усреднением результатов.

Преимущество использования перекрестной проверки заключается в том, что она позволяет более надежно оценить производительность модели, поскольку проверяет способность модели обобщать новые данные, которые не замечены во время обучения. Это помогает предотвратить переоснащение, когда модель хорошо работает с обучающими данными, но плохо – с новыми. Таким образом, перекрестная проверка может обеспечить более точную оценку производительности модели и сделать ее более надежной для практического использования. Среди многочисленных показателей, доступных для оценки моделей классификации⁸, в этом исследовании использовали AUC ROC (площадь под кривой рабочей характеристики приемника) и F1-мера. F1-мера вычисляется как гармо-

ническое среднее точности и полноты, обеспечивая равный вес как для точности, так и для полноты.

Многогранность поставленной задачи потребовала ряда экспериментов, каждый из которых давал желаемый результат.

В ходе первого эксперимента проверяли правильность идентификации каждого образца с помощью методов машинного обучения. Второй эксперимент предусматривал использование различных алгоритмов машинного обучения, что привело к созданию предварительного набора моделей.

В третьем, последнем, эксперименте сформирован результирующий набор признаков и получена окончательная модель машинного обучения.

Рассмотрим подробнее ход каждого из проведенных экспериментов.

В наборах данных небольшого размера выборки ошибка при сборе данных может существенно повлиять на конечный результат. Для изучения идентифицируемого объекта из исходной выборки с использованием моделей машинного обучения использован метод *Leave-One-Out* с применением алгоритмов ML M01-M06 для групп признаков G01-G10. В итоге построено $38 \times 10 \times 6$ моделей. Далее в набор алгоритмов машинного обучения добавлены методы M07 и M08.

По результатам первого эксперимента для формирования модели отобраны группы G01, G02, G03 и G11. Для каждой группы функций G01, G02, G03, G11 и алгоритма обучения M01-M08 построены модели с использованием перекрестной проверки K -кратности с тремя разделами. Метрики для каждой перетасовки усреднялись для получения окончательной оценки метрик классификации. Всего было сгенерировано $4 \times 8 \times 3$ модели. Обобщенные результаты для AUC ROC и F1-меры представлены в табл. 3. Среди полученных моделей самые высокие усредненные метрики ($AUC = 67\text{--}72\%$, $F1 = 70\text{--}76\%$) имеют модели, сгенерированные алгоритма-

⁷Wong T.-T. Performance evaluation of classification algorithms by k-fold and leave-one-out cross validation // Pattern Recognition, 2015. Vol. 48. Is. 9. P. 2839–2846.

⁸Branco P., Torgo L., Ribeiro R.P. A Survey of Predictive Modeling on Imbalanced Domains // ACM computing surveys (CSUR). 2016. Vol. 49. Is. 2. P. 1–50

Табл. 3. Результаты экспериментов (перекрестная проверка $K = 3$)

Table 3. Results of the experiments (Cross-validation, $K = 3$)

Номер эксперимента	Группа функций	Метрики	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08
2	G01	AUC	0,484	0,495	0,627	0,543	0,536	0,382	0,559	0,464
		F1	0,56	0,54	0,61	0,59	0,59	0,51	0,51	0,54
	G02	AUC	0,664	0,655	0,659	0,673	0,718	0,532	0,618	0,464
		F1	0,68	0,68	0,68	0,76	0,74	0,61	0,49	0,58
	G03	AUC	0,427	0,509	0,489	0,602	0,532	0,495	0,386	0,436
		F1	0,45	0,53	0,52	0,61	0,58	0,47	0,51	0,48
	G11	AUC	0,614	0,584	0,698	0,723	0,673	0,591	0,309	0,432
		F1	0,58	0,59	0,65	0,68	0,71	0,54	0,51	0,58
	G12	AUC	0,668	0,634	0,734	0,720	0,693	0,600	0,591	0,364
		F1	0,68	0,62	0,73	0,70	0,71	0,51	0,58	0,49
	G13	AUC	0,602	0,627	0,668	0,702	0,602	0,577	0,386	0,368
		F1	0,63	0,65	0,67	0,61	0,64	0,51	0,51	0,54

ми M04 и M05, используя функции из групп G02 и G11. Метрики для группы функций G02 (11 функций) превышали показатели моделей, созданных с использованием группы функций G1 (53 функции), поэтому модели, построенные с меньшим количеством функций, дали лучшие результаты, чем модели с большим количеством. Это можно объяснить «проклятием размерности», шумом в данных и увеличением энтропии [16]. По мере увеличения количества признаков количество шума и случайности в данных также увеличивается, что усложняет извлечение значимых закономерностей и информации из данных. Методы уменьшения размерности и методы выбора признаков являются полезными инструментами для решения этих проблем и повышения производительности модели.

Целью третьего эксперимента было улучшить показатели модели за счет использования более информативных функций. Эта задача решена за счет реализации значений SHAP [17].

Из данных табл. 3 можно выделить три окончательные модели со значениями показателей точности $AUC = 73\text{--}72\%$ и $F1 = 69\text{--}72\%$: Random Forest классификатор с 4 оценщиками и максимальной глубиной 3, класси-

фикатор случайного леса с 10 оценщиками и максимальной глубиной 5, классификатор AdaBoost с 4 оценщиками дерева решений и максимальной глубиной 3 (выделено полужирным шрифтом).

ВЫВОДЫ

1. Обоснованы важнейшие требования к разработке неивазивного метода отбраковки эмбрионов в яйце птицы в течение 6–7 дней инкубации, когда у эмбрионов маловероятно возникновение перцепций и болевых ощущений.

2. Проведенный анализ новых разрабатываемых методов определения и отбраковки эмбрионов яиц в ранние дни инкубации показал, что этим требованием в большей степени соответствуют методы, использующие возможности компьютерного зрения и машинного обучения.

3. Предложен метод определения полового диморфизма до инкубации, основанный на анализе параметров асимметрии прецизионной информационной модели формы яйца, путем машинного обучения при решении задач бинарной классификации для малых выборок с большой размерностью исходного набора переменных признаков (логистиче-

ская регрессия, одиночные деревья решений, случайные леса, случайные леса в составе метода адаптивного бустинга).

4. Разработана и описана установка для экспериментального подтверждения возможности реализации предложенного метода на практике.

5. На малой выборке инкубированных цыплят, состоящей из 38 цыплят, у которых удалось достоверно идентифицировать пол, получены три окончательные модели со значением точности AUC = 73–72% и F1 = 69–72%: Random Forest классификатор с 4 оценщиками и максимальной глубиной 3; классификатор случайного леса с 10 оценщиками и максимальной глубиной 5 и классификатор AdaBoost с 4 оценщиками дерева решений и максимальной глубиной 3.

6. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенная комбинация алгоритмов машинного обучения позволяет разрабатывать модели классификации для задач, где пространство признаков значительно превышает размер выборки с неоднозначно идентифицируемыми выборками.

7. Экспериментально выявлена взаимосвязь асимметрии формы яйца при определении его полового диморфизма до инкубации, что внесло определенный вклад в решение сложной проблемы – достоверного определения пола яйца до инкубации. Это важный шаг к внедрению промышленного метода по определению пола в ближайшем будущем. При этом решается важнейшая коммерческая задача – минимизация материальных (потребление энергии, тепла и др.) и временных затрат в процессе инкубации.

8. Предлагаемая система приемов определения пола эмбриона в яйце птицы может быть интегрирована с другими системами определения качества, основанных на компьютерном зрении. Например, при обнаружении механических дефектов, сортировке, определении жизнеспособности и степени развития зародыша в яйце перед инкубацией, ранней диагностике развития болезней в нем и др.

9. Планируются дальнейшие исследования по увеличению объема выборки инкубированных цыплят и получению моделей

классификации с более высокой достоверностью определения пола эмбриона в яйце до инкубации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khaliduzzaman A., Fujitani S., Kondo N., Oga-wa Y., Fujiura T., Suzuki T., Kashimori A., Sy-duzzaman M., Rahman A.* Non-invasive characterization of chick embryo body and cardiac movements using near infrared light // *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2018. Vol. 12. P. 32–39. DOI: 10.1016/j.eaef.2018.09.002.
2. *Corion M., Keresztes J., De Ketelaere B., Saeys W.* In ovo sexing of eggs from brown breeds with a gender-specific color using visible-near-infrared spectroscopy: effect of incubation day and measurement configuration // *Poultry Science*. 2022. Vol. 101. Is. 5. P. 101782. DOI: 10.1016/j.psj.2022.101782.
3. *Алейников А.Ф.* Методы неинвазивной оценки полового диморфизма эмбрионов в яйце птицы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2022. Т. 52. № 5. С. 105–116. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-13.
4. *Zhu Z.H., Hong Q., Wu L.F., Wang Q.H., Mai M.H.* Early identification of male and female embryos based on UV/Vis transmission spectroscopy and extreme learning machine // *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 2019. Vol. 39. P. 2780–2787.
5. *Zhu Z.H., Ye Z.F., Тан Y.* Non-destructive identification for gender of chicken eggs based on GA-BPNN with double hidden layers // *Journal of Applied Poultry Research*. 2021. Vol. 30. Is. 4. P. 100203. DOI: 10.1016/j.japr.100203.
6. *Xie C., Tang W., Yang C.* A review of the recent advances for the in ovo sexing of chicken embryos using optical sensing techniques // *Poultry Science*. 2023. Vol. 102. Is. 10. P. 102906. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102906.
7. *Galli R., Preusse G., Schnabel C., Bartels T., Cramer K., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G.* Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13. Is. 2. P. 0192554. DOI: 10.1371/journal.pone.0192554.
8. *Krautwald-Junghanns M.-E., Cramer K., Fischer B., Förster A., Galli R., Kremer F., Mape-sa E.U., Meissner S., Preisinger R., Preusse G.,*

- Schnabel C., Steiner G., Bartels T.* Current approaches to avoid the culling of day-old male chicks in the layer industry, with special reference to spectroscopic methods // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97. Is. 3, 1. P. 749–757. DOI: 10.3382/ps/pex389.
9. *Preuß G., Porstmann T., Bartels T., Schnabel C., Galli R., Koch E., Oelschlägel M., Ucker mann G.* Steiner Highly sensitive and quick in ovo sexing of domestic chicken eggs by two-wavelength fluorescence spectroscopy // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2023. Vol. 415. P. 603–613.
 10. *Ching C.T.S., Wang C.-K., Li C., Chiu H.-N.* Bio-impedance-measurement-based non-invasive method for in ovo chicken egg sexing // *Biosensors*. 2023. Vol. 13. Is. 4. P. 440. DOI: 10.3390/bios130404402023.
 11. *Asil U., Nasibov E.* Sex detection in the early stage of fertilized chicken eggs via image recognition International // *Journal of Computer Science and Information Technology*. 2023. Vol. 15. N 2. P. 15202. DOI: 10.5121/ijcsit.2023.15202.
 12. *Toksoz C., Albayrak M., Yasar H.* Chicken egg sexing by using data mining process // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021. Vol. 30. Is. 2. P. 1373–1381.
 13. *Rosandić M., Vlahović I., Paara V.* Novel look at DNA and life – Symmetry as evolutionary forcing // *Journal of Theoretical Biology*. 2019. Vol. 483. P. 109985. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.08.016.
 14. *De Oliveira-Boreli F.P., Pereira D.F., Alencar Gonçalves J., Da Silva V.Z., De Alencar Nääs I.* Non-destructive assessment of hens' eggs quality using image analysis and machine learning // *Smart Agricultural Technology*. 2023. Vol. 4. P. 100161. DOI: 10.1016/j.atech.2022.100161.
 15. *Aleynikov A., Osipenko I.* Information technology for culling poultry eggs before incubation based on gender // *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 390. P. 03005. DOI: 10.1051/e3s-conf/202339003005.
 16. *Zhang Y., Wang H., Cheng Y., Qin X.* pyCLAMs: An integrated Python toolkit for classifiability analysis // *SoftwareX*. 2022. Vol. 18. P. 101007. DOI: 10.1016/j.softx.2022.101007.
 17. *Debie E., Shafi K.* Implications of the curse of dimensionality for supervised learning classifier systems: Theoretical and empirical analyses // *Pattern Analysis and Applications*. 2019. Vol. 22. Is. 2. P. 519–536. DOI: 10.1007/s10044-017-0649-0.
- ## REFERENCES
1. *Khaliduzzaman A., Fujitani S., Kondo N., Oga wa Y., Fujiura T., Suzuki T., Kashimori A., Syduzzaman M., Rahman A.* Non-invasive characterization of chick embryo body and cardiac movements using near infrared light. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2018, vol. 12, pp. 32–39. DOI: 10.1016/j.eaef.2018.09.002
 2. *Corion M., Keresztes J., De Ketelaere B., Saeys W.* In ovo sexing of eggs from brown breeds with a gender-specific color using visible-near-infrared spectroscopy: effect of incubation day and measurement configuration. *Poultry Science*, 2022, vol. 101, is. 5, p. 101782. DOI: 10.1016/j.psj.2022.101782.
 3. *Aleynikov A.F.* Methods for noninvasive assessment of sexual dimorphism of embryos in the poultry egg. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 5, pp. 105–116. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-13.
 4. *Zhu Z.H., Hong Q., Wu L.F., Wang Q.H., Mai M.H.* Early identification of male and female embryos based on UV/Vis transmission spectroscopy and extreme learning machine. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2019, vol. 39, pp. 2780–2787.
 5. *Zhu Z.H., Ye Z.F., Tan Y.* Non-destructive identification for gender of chicken eggs based on GA-BPNN with double hidden layers // *Journal of Applied Poultry Research*, 2021, vol. 30, is. 4, p. 100203. DOI: 10.1016/j.japr.100203.
 6. *Xie C., Tang W., Yang C.* A review of the recent advances for the in ovo sexing of chicken embryos using optical sensing techniques. *Poultry Science*, 2023, vol. 102, is. 10, p. 102906. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102906.
 7. *Galli R., Preusse G., Schnabel C., Bartels T., Cramer K., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G.* Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, is. 2, p. 0192554. DOI: 10.1371/journal.pone.0192554.
 8. *Krautwald-Junghanns M.-E., Cramer K., Fischer B., Förster A., Galli R., Kremer F., Mape sa E.U., Meissner S., Preisinger R., Preusse G.,*

- Schnabel C., Steiner G., Bartels T. Current approaches to avoid the culling of day-old male chicks in the layer industry, with special reference to spectroscopic methods, *Poultry Science*, 2018, vol. 97, is. 3, 1, p. 749–757. DOI: 10.3382/ps/pex389.
9. Preuß G., Porstmann T., Bartels T., Schnabel C., Galli R., Koch E., Oelschlägel M., Uckermann G. Steiner Highly sensitive and quick in ovo sexing of domestic chicken eggs by two-wavelength fluorescence spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2023, vol. 415, pp. 603–613.
10. Ching C.T.S., Wang C.-K., Li C., Chiu H.-N. Bioimpedance-measurement-based non-invasive method for in ovo chicken egg sexing. *Biosensors*, 2023, vol. 13, is. 4, p. 440. DOI: 10.3390/bios130404402023.
11. Asil U., Nasibov E. Sex detection in the early stage of fertilized chicken eggs via image recognition International. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 2023, vol. 15, no. 2, p. 15202. DOI: 10.5121/ijcsit.2023.15202.
12. Toksoz C., Albayrak M., Yasar H. Chicken egg sexing by using data mining process. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2021, vol. 30, is. 2, pp. 1373–1381.
13. Rosandić M., Vlahović I., Paara V. Novel look at DNA and life – Symmetry as evolutionary forcing. *Journal of Theoretical Biology*, 2019, vol. 483. p. 109985. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.08.016.
14. De Oliveira-Boreli F.P., Pereira D.F., Alencar Gonçalves J., Da Silva V.Z., De Alencar Nääs I. Non-destructive assessment of hens' eggs quality using image analysis and machine learning. *Smart Agricultural Technology*, 2023, vol. 4, p. 100161. DOI: 10.1016/j.atech.2022.100161.
15. Aleynikov A., Osipenko I. Information technology for culling poultry eggs before incubation based on gender. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 390, p. 03005. DOI: 10.1051/e3s-conf/202339003005.
16. Zhang Y., Wang H., Cheng Y., Qin X. pyCLAMs: An integrated Python toolkit for classifiability analysis. *SoftwareX*, 2022, vol. 18, p. 101007. DOI: 10.1016/j.softx.2022.101007.
17. Debie E., Shafi K. Implications of the curse of dimensionality for supervised learning classifier systems: Theoretical and empirical analyses. *Pattern Analysis and Applications*, 2019, vol. 22, is. 2, pp. 519–536. DOI: 10.1007/s10044-017-0649-0.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Алейников А.Ф.**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник: **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: fti2009@yandex.ru

Осипенко И.В., ассистент кафедры, аспирант

AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexander F. Aleynikov**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: fti2009@yandex.ru

Ivan V. Osipenko, Department Assistant, Post-graduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 02.08.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 13.09.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

(✉) Делягин В.Н.¹, Леонов С.В.¹, Некрасов М.Ю.¹, Кондратьев А.А.^{1,2}, Карзанов А.Н.¹

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

(✉) e-mail: valdel23@yandex.ru

Приведены результаты исследований по инактивации микроорганизмов на открытых поверхностях птицеводческих помещений с использованием низкотемпературной неравновесной плазмы. В качестве ее источника использован электроискровой разряд переменного тока при атмосферном давлении. Типы разряда – стримерный, факельный. Рассмотрено одновременное воздействие электромагнитных полей, заряженных частиц и химически активных соединений, образующихся при электроискровом разряде, на эффективность инактивации патогенной микрофлоры для различных поверхностей (акриловый грунт, эпоксидная смола, лак яхтный, бетонно-графитовая смесь). Обрабатываемый материал (биологический макет подстилочной поверхности пола в птичнике с нанесенным защитным слоем) установлен после электроискровой разрядной камеры, продуваемой плазмообразующим газом (атмосферный воздух). Основными поражающими факторами являются активные химические соединения: озон; свободные радикалы (OH , O , O_2), ультрафиолетовое излучение в диапазоне 750–1600 ТГц, электромагнитное излучение от 50 Гц до 980 МГц, заряженные частицы и колебательно возбужденные молекулы азота и кислорода. Получены характеристики плотности потока электромагнитного излучения при электроискровом разряде. По результатам исследований максимальный эффект обработки открытых поверхностей низкотемпературной неравновесной плазмой достигается при использовании в качестве защитного материала поверхностей эпоксидной смолы. Количество инаktivированных микроорганизмов при экспозиции 10–20 с достигает 100%. При инактивации микроорганизмов, находящихся на открытых поверхностях, длительность экспозиции экономически нецелесообразно принимать более 20 с. В исследованиях не выявлено существенного различия при использовании стримерного или факельного разрядов для обработки открытых поверхностей помещений.

Ключевые слова: низкотемпературная неравновесная плазма, электроискровой разряд, микроорганизмы, инактивация, патогенная микрофлора

THE USE OF LOW-TEMPERATURE PLASMA FOR DISINFECTION OF OPEN SURFACES OF INDUSTRIAL PREMISES

(✉) Delyagin V.N.¹, Leonov S.V.¹, Nekrasov M.Yu.¹, Kondratiev A.A.^{1,2}, Karzanov A.N.¹

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University
Novosibirsk, Russia

(✉) e-mail: valdel23@yandex.ru

The results of research on inactivation of microorganisms on open surfaces of poultry houses using low-temperature non-equilibrium plasma are presented. AC electrospark discharge at atmospheric pressure was used as its source. Discharge types are streamer, flare. The simultaneous effect of electromagnetic fields, charged particles and chemically active compounds formed by electrospark discharge on the efficiency of pathogenic microflora inactivation for various surfaces (acrylic primer, epoxy resin, yacht varnish, concrete-graphite mixture) is considered. The material to be treated (a biological model of the bedding surface of the floor in the poultry house with the applied protective layer) is installed after the electrospark discharge chamber blown with plasma-

forming gas (atmospheric air). The main affecting factors are active chemical compounds: ozone; free radicals (OH, O, O₂), ultraviolet radiation in the range of 750–1600 THz, electromagnetic radiation from 50 Hz to 980 MHz, charged particles and vibrationally excited nitrogen and oxygen molecules. Characterizations of electromagnetic radiation flux density at electrospark discharge are obtained. According to the research results, the maximum effect of treatment of exposed surfaces with low-temperature non-equilibrium plasma is achieved when epoxy resin is used as a surface protection material. The number of inactivated microorganisms at exposure of 10–20 s reaches 100%. When inactivating microorganisms on exposed surfaces, it is not economically feasible to take exposure time longer than 20 s. The studies found no significant difference when using streamer or flare discharges to treat outdoor facility surfaces.

Keywords: low-temperature nonequilibrium plasma, electrospark discharge, microorganisms, inactivation, pathogenic microflora

Для цитирования: Делягин В.Н., Леонов С.В., Некрасов М.Ю., Кондратьев А.А., Карзанов А.Н. Использование низкотемпературной плазмы для обеззараживания открытых поверхностей производственных помещений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 121–129. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-12>

For citation: Delyagin V.N., Leonov S.V., Nekrasov M.Yu., Kondratiev A.A., Karzanov A.N. The use of low-temperature plasma for disinfection of open surfaces of industrial premises. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 121–129. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-12>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Переход сельскохозяйственного производства на промышленную основу связан в первую очередь с увеличением плотности постановки животных и птицы в производственных помещениях. Данное обстоятельство требует создания высокоэффективных технических систем для обеззараживания материалов и сред, используемых в технологических процессах производства продукции.

Применяемые в настоящее время электрофизические методы инактивации патогенной микрофлоры (прямые и косвенные), как правило, используют электромагнитное излучение (ЭМИ) в определенном диапазоне частот различной интенсивности [1–3]. Достаточно полные результаты исследований электрофизических методов при инактивации микроорганизмов представлены в работах [4–9]. Геометрические размеры микроорганизмов и их электрофизические характеристики, определяющие степень летальности при их обработке в электромагнитных полях, имеют достаточно большие диапазоны варьирования. Представляется целесообразным использование ЭМИ во всем диапазоне шкалы – от радиочастот до жесткого ультрафиолетового излучения (UVC) [10].

Одним из возможных способов реализации подобного подхода является использование низкотемпературной неравновесной плазмы (ННП), генерируемой при электроискровом разряде [6–8]. Для оценки эффективности использования ННП необходимо определить спектр и плотность потока излучения, генерируемого при электроискровом разряде во всем диапазоне шкалы электромагнитных волн, с оценкой степени инактивации микроорганизмов, находящихся в воздухе и на открытой поверхности (пол, стены) [11, 12].

Цель исследования – определить эффективность использования низкотемпературной плазмы в процессе инактивации патогенных микроорганизмов при различных защитных поверхностях помещений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – система инактивации патогенных микроорганизмов в птицеводческом помещении. Исследуемые микроорганизмы – *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus albus*, *E. coli* и др. Микроорганизмы наносили на сегмент стандартной керамической плитки размером 48 × 48 мм. В качестве подложки на плитку

нанесен различный защитный поверхностный слой. Варианты защитного слоя – акриловый грунт, эпоксидная смола, лак яхтный, бетонно-графитовая смесь.

Учет общего микробного числа (ОМЧ) осуществлен по МУК 4.2.734–99 «Микробиологический мониторинг производственной среды».

В качестве источника ННП использован плазмотрон (см. рис. 1). Параметры установки приведены в табл. 1.

Измеряемые параметры:

- спектр и плотность потока электромагнитного излучения в диапазоне от 3000 м до 100 нм;
- время обработки исследуемого материала;
- количество положительных и отрицательных аэроионов;
- концентрация озона, процент инактивации микроорганизмов.

Контролируемые параметры:

- температура воздуха;
- влажность воздуха;
- температура плазмообразующего газа.

Используемые измерительные приборы:

- счетчик аэроионов МАС-01;
- многофункциональный прибор testo 435-2;
- газоанализатор универсальный ГАНК-4;
- многоканальный спектрометр «Колибри»;
- радиометр UV-диапазона (а, b и c поддиапазонов) ТКА-ПКМ;
- измеритель плотности ИК-излучения «МК-метр»;
- регистрация температуры – инфракрасный термометр с переключаемой оптикой Testo 845, пирометр Кельвин Компакт 1200/175.

Табл. 1. Параметры электроискровой установки для генерации плазмы

Table 1. Parameters of the electrospark unit for plasma generation

Параметр	Значение
Напряжение высоковольтного источника, кВ	12
Скорость воздушного потока в разрядной камере, м/с	1–4
Площадь сечения разрядной камеры, мм ²	80–110
Максимальная потребляемая мощность установки, Вт	1500–3000
Расчетная напряженность электрического поля в разрядном промежутке, В/м	450 000
Частота переменного тока, кГц	20

Методика проведения эксперимента

Обрабатываемый материал (биологический макет подстилочной поверхности пола в птичнике с нанесенным защитным слоем) установлен после электроискровой разрядной камеры, продуваемой плазмообразующим газом (атмосферный воздух). Основными поражающими факторами являются активные химические соединения: озон, свободные радикалы (ОН, О, О₂), ультрафиолетовое излучение в диапазоне 750–1600 ТГц, электромагнитное излучение от 50 Гц до 980 МГц, заряженные частицы и колебательно возбужденные молекулы азота и кислорода.

Экспозицию воздействия ННП при разряде в газе изменяли от 5 до 300 с. При удалении непрозрачного экрана с поверхности кварцевой трубки дополнительно оценивали эффективность воздействия электромагнитного излучения в радио- и ультрафиолетовом диапазонах.

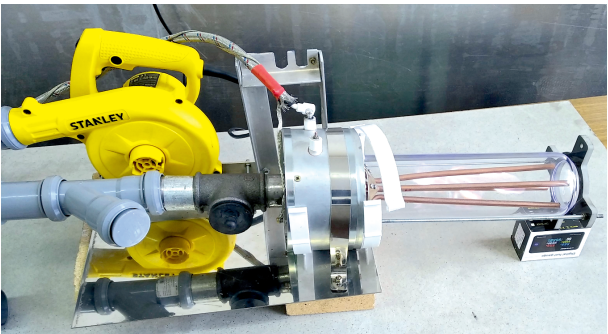


Рис. 1. Установка для генерации низкотемпературной плазмы (составлена авторами)

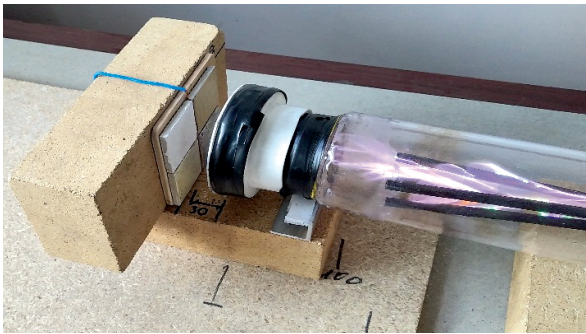


Fig. 1. Installation for low-temperature plasma generation (compiled by the authors)

Оценку проводили по снижению бактериальной обсемененности подстилочного материала в опытном образце по сравнению с контрольным. Для этого из объединенной пробы каждого экспериментального воздействия отмеряли навеску 5 г и вносили в 50 мл стерильного физраствора (разведение 1 : 10). Колбу со взвесью при комнатной температуре 8 °С помещали на шейкер при частоте 100 колебаний/мин и выдерживали 30 мин. Затем взвесь центрифугировали при 3000 об./мин для отделения крупных частиц. Далее из полученного супернатанта готовили последовательные разведения на приборе спирального посева EasySpiral. Каждым разведением засекали по три чашки Петри с мясопептонным агаром по 100 мкл. После 20 ч инкубации при 37 °С проводили подсчет выросших колоний на чашках прибором Scan 500. В качестве окончательного результата принимали среднее арифметическое чашек. Определяли микробную обсемененность исследуемой подложки. Оценку наличия роста отдельных видов микроорганизмов проводили на селективных питательных средах.

Оценку уровней напряженности электрического и магнитного полей генерируемой низкотемпературной плазмы, а также мощности потока излучения проводили на расстоянии 20 см от поверхности стеклянной трубки плазматрона. Замеры осуществляли с помощью прибора АТЭ-8507 на фиксированных частотах. Расстояние между датчиками плотности потока электромагнитного излучения и электроискровой камерой составило 0,4 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры электромагнитного излучения плазмы (ЭМИ), генерируемой при электроискровом разряде, представлены в табл. 2.

Плотность потока ЭМИ в диапазоне 190–400 нм представлена в табл. 3.

Концентрация озона в потоке воздуха составила 7–8 мг/м³.

Расчет напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве осуществляли с использованием программы ELCUT. Максимальная напряженность электрического поля составила 400 000–500 000 В/м. Общий вид распределения эквипотенциальных электрических полей в газоразрядной камере представлен на рис. 2.

Табл. 2. Значения напряженности электрического поля и плотности потока ЭМИ по диапазонам частот

Table 2. Values of electric field strength and electromagnetic radiation flux density by frequency ranges

Частота ЭМИ	Напряженность электрического поля, В/м	Плотность потока, Вт/м ²
100 кГц	270	148
200 кГц	149	62
500 кГц	128	45
1 МГц	174	84
10 МГц	192	98
13,56 МГц	158	67
100 МГц	138	60
900 МГц	0,93	0
1,8 ГГц	0,7	0
2,4 ГГц	0,5	0

Табл. 3. Плотность потока электромагнитного излучения в ультрафиолетовом спектре

Table 3. Electromagnetic radiation flux density in the UV spectrum

UV-диапазон	Значение плотности потока ЭМИ, мВт/м ²
UVA	48
UVB	50
UVC	130

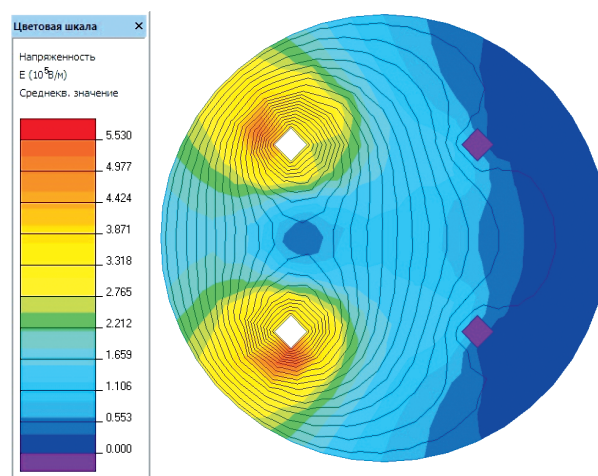


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля в приэлектродном пространстве плазматрона

Fig. 2. Distribution of electric field strength in the near-electrode space of the plasmatron

Для исследования динамических характеристик электроискрового разряда произведены осциллографирование и высокоскоростная видеосъемка разрядного тока и напряжения на электродах в режиме электроискрового и стримерного разрядов (см. рис. 3, 4). Спектр излучения ННП в диапазоне 600–1500 ТГц представлен на рис. 5.

Результаты инактивации микроорганизмов электромагнитным излучением и химически активными соединениями ННП для различных защитных поверхностей представлены в табл. 4, результаты исследования эффективности инактивации микроорганизмов для стримерного и факельного разрядов – в табл. 5.



Рис. 3. Осциллограмма факельного разряда (ток, напряжение)

Fig. 3. Oscillogram of the electrospark discharge (current, voltage)

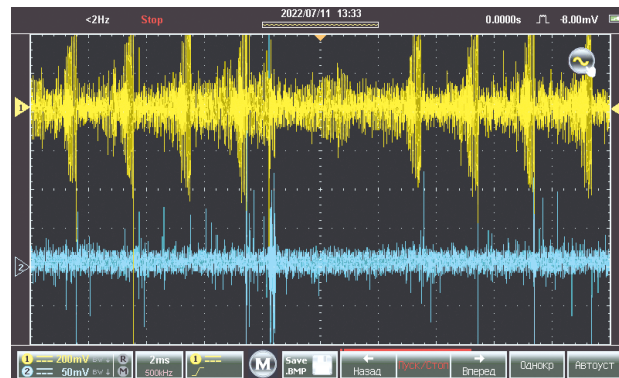


Рис. 4. Осциллограмма стримерного разряда (ток, напряжение)

Fig. 4. Oscillogram of the streamer discharge (current, voltage)

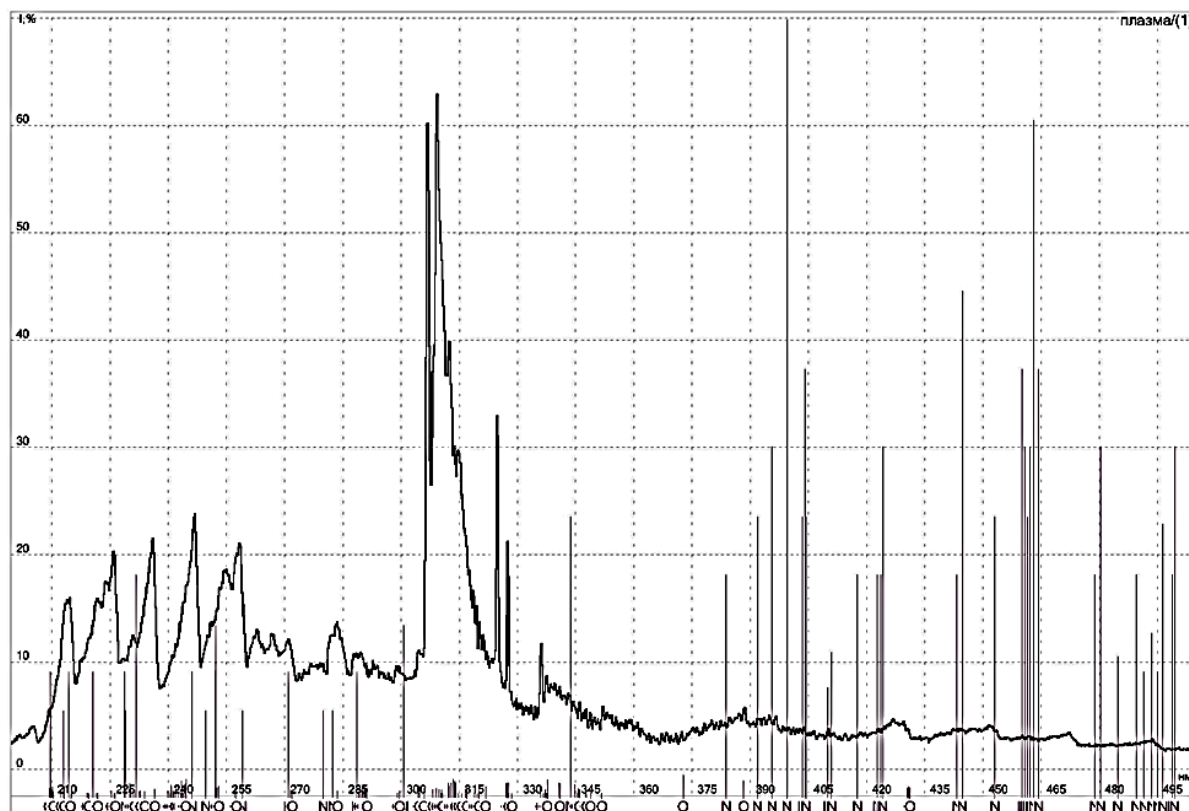


Рис. 5. Спектр излучения ННП в диапазоне 600–1500 ТГц

Fig. 5. Emission spectrum of the LNP in the range of 600–1500 THz

Табл. 4. Оценка инаktivации микроорганизмов ННП на различных защитных поверхностях
Table 4. Evaluation of inactivation of LNP microorganisms on various protective surfaces

Номер образца, материал подложки (грунтовочного слоя)	Время экспозиции, с	Количество бактерий, КОЕ/мл		Кратность инаktivации бактерий, отн. ед.	Инаktivация бактерий, %
		до обработки	после обработки		
Контроль (плитка без покрытия)	Без обработки	1,30E + 06	1,30E + 06	1,00	0,00E + 00
Плитка без покрытия	5	1,30E + 06	2,00E + 05	6,50	85
	10		2,00E + 05	6,50	85
Эпоксидный слой	5	1,30E + 06	3,00E + 05	4,33	77
	10		0,00E + 00	∞	100
Акриловый слой	5	1,30E + 06	2,00E + 05	6,50	85
	10		9,00E + 05	1,44	31
Плитка с вкраплениями металла	5	1,30E + 06	0,00E + 00	∞	100
	10		0,00E + 00	∞	100

Примечание. Расстояние до факела плазмы (L) составило 30 мм.

Табл. 5. Результаты инаktivации микроорганизмов ННП для различных видов электроискрового разряда
Table 5. Results of inactivation of LNP microorganisms for various types of electric spark discharge

Характеристика разряда	Материал подложки	Время экспозиции, с	Количество бактерий		Кратность инаktivации бактерий	Инаktivация бактерий
			до обработки	после обработки		
			КОЕ/мл		отн. ед.	%
С	Без покрытия	5	8,60E + 05	4,30E + 05	2,00	50,00
С		10		1,00E + 04	86,00	98,84
С		20		3,00E + 04	28,67	96,51
Ф		5		3,40E + 05	2,53	60,47
Ф		10		6,00E + 04	14,33	93,02
Ф		20		1,50E + 05	5,73	82,56
С	Лак яхтный	5	6,10E + 05	1,20E + 05	5,08	80,33
С		10		1,00E + 04	61,00	98,36
С		20		3,30E + 05	1,85	45,90
Ф		5		0,00E + 00	∞	100,00
Ф		10		3,60E + 05	1,69	40,98
Ф		20		6,10E + 05	1,00	0,00
С	Эпоксидная смола	5	7,10E + 05	2,00E + 04	35,50	97,18
С		10		0,00E + 00	∞	100,00
С		20		0,00E + 00	∞	100,00
Ф		5		1,00E + 04	71,00	98,59
Ф		10		0,00E + 00	∞	100,00
Ф		20		0,00E + 00	∞	100,00
С	Графит, сверху лак яхтный	5	6,60E + 05	1,00E + 05	6,60	84,85
С		10		9,00E + 04	7,33	86,36
С		20		3,00E + 05	2,20	54,55
Ф		5		7,00E + 04	9,43	89,39
Ф		10		1,00E + 04	66,00	98,48
Ф		20		1,70E + 05	3,88	74,24

Примечание. С – стример, Ф – факел.

По результатам исследований максимальный эффект при обработке открытых поверхностей низкотемпературной неравновесной плазмой достигался при использовании в качестве защитного материала эпоксидной смолы. Оценка эффективности использования яхтного лака требует проведения дополнительных исследований.

Результаты, представленные в табл. 5, позволяют сделать вывод, что стримерный и факельный разряды по эффективности инактивации микроорганизмов на открытых поверхностях примерно равнозначны.

Количество инаktivированных микроорганизмов при экспозиции 10–60 с и использовании в качестве защитного покрытия эпоксидной смолы достигало 100%.

При инаktivации микроорганизмов, находящихся на открытых поверхностях, длительность экспозиции экономически нецелесообразно принимать более 20 с.

В спектре излучения плазмы зафиксированы свободные радикалы (гидроксильная группа и др.). Оценка влияния свободных радикалов на инаktivацию микроорганизмов требует дополнительного изучения.

В дальнейшем необходимо оценить вклад каждого из поражающих факторов (электромагнитное излучение в радиодиапазоне, ультрафиолетовое излучение, заряженные частицы, озон) на степень инаktivации для различных групп микроорганизмов.

Полученные результаты исследований и литературный обзор работ других авторов [5–9] по данной теме позволяют сделать вывод о наличии синергетического эффекта воздействия поражающих факторов низкотемпературной неравновесной плазмы на исследуемые микроорганизмы.

По сравнению с традиционным методом обработки поверхности для обеззараживания воздуха в помещении (озонирование) использование генератора низкотемпературной плазмы позволяет получить требуемые параметры инаktivации и значительно сократить длительность экспозиции относительно простым способом – путем изменения геометрических размеров электроискровой камеры.

ВЫВОДЫ

1. Максимальный эффект обработки открытых поверхностей низкотемпературной неравновесной плазмой достигается при использовании в качестве защитного материала поверхностей эпоксидной смолы. Количество инаktivированных микроорганизмов при экспозиции 10–20 с достигает 100%.

2. При инаktivации микроорганизмов, находящихся на открытых поверхностях, длительность экспозиции экономически нецелесообразно принимать более 20 с.

3. Не выявлено существенного различия при использовании стримерного или факельного разрядов для обработки открытых поверхностей помещений. Затраты энергии при сопоставимом технологическом эффекте при стримерном разряде существенно ниже.

4. В дальнейших исследованиях по данной теме целесообразно провести испытание разработанного макета плазмотрона в производственных условиях при наличии реального видового состава микроорганизмов и оценить вклад каждого из поражающих факторов на степень инаktivации для различных групп микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акишев Ю.С. Низкотемпературная плазма при атмосферном давлении и ее возможности для приложений // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. Вып. 8. С. 26–60.
2. Zhitong Chen, Richard E. Wirtz. Technology and applications of cold atmospheric plasma (CAP) // General lectures on mechanical engineering. 2021. Vol. 6 (2). P. i-191. DOI: 10.2200/S01107ED1V01Y202105MEC035.
3. Koichi Takaki, Katsuyuki Takahashi, Daisuke Hamanaka, Riichiro Yoshida, Toshitaka Uchino. Plasma and electrostatic function to preserve the quality of agricultural products at the post-harvest stage // Japanese Journal of Applied Physics. 2021. Vol. 60 (1). P. 010501. DOI: 10.35848/1347-4065/abcc13.
4. Gulyaev Yu.V., Taranov I.V., Cherepenin V.A. The use of powerful electromagnetic pulses for influencing bacteria and viruses // Reports of the

- Russian Academy of Sciences. 2020. Vol. 493. P. 15–17.
5. Zakirova A.R. Protection of electrical personnel from the harmful effects of electromagnetic fields: monograph. Yekaterinburg: Publishing house of USUPS, 2017. 188 p.
 6. Koichi Taki, Katsuyuki Takahashi, Nobuo Hayashi, Dong Wan, Takayuki Okima. The use of pulsed energy in agriculture and the food industry // *Reviews of Modern Plasma Physics*. 2021. Vol. 5 (1). DOI: 10.1007/s41614-021-00059-9.
 7. Lin Zhang, Yongtao Guo, Jianfeng Te, Zhenghui Yao, Zhi hao Feng, Xiong Wu, Xinxin Wang, Haiyun Luo. Recalculated DBD program for air disinfection: characteristics of dosage and dose-dependent action // *Journal of Hazardous Materials*. 2023. Vol. 447. P. 130780. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.130780.
 8. Kang Wang, Siyi Lu, Zhiwei Zhang. Inactivation of airborne bacteria using various ultraviolet light sources: modeling efficiency, energy use, and endotoxin degradation // *General Environmental Science*. 2019. Vol. 655. P. 787–795. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.266.
 9. Hao Wang, Liyan Zhang, Haiyun Luo, Xinxin Wang, Jianfeng Te, Zhe Ren. Sterilization processes and mechanisms for the treatment of *E. coli* with plasma with a dielectric barrier // *Applied and Environmental Microbiology*. 2019. Vol. 86 (1). DOI: 10.1128/AEM.01907.
 10. Angela Luengas, Astrid Barona, Cecile Hort, Gorka Gallastegui, Vincent Platel, Ana Elias. Review of indoor air purification technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio Technology*. 2015. Vol. 14 (3). P. 499–522. DOI: 10.1007/s11157-015-9363-9.
 11. Lu Song, Jianfeng Zhou, Kang Wang, Ge Meng, Yunfei Li, Mourinho Yarin, Jian Wu, Xing Xie. Airborne pathogenic microorganisms and the development of air purification technology: an overview // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 424. P. 27429. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127429.
 12. Joseph P. Wood, Bolden Charles Adrian. Overview of disinfection methods for the detection of *Bacillus anthracis* and other microorganisms associated with sterile preparations, methylamines and other armed material // *Environmental Science and Technology*. 2019. Vol. 53 (8). P. 4045–4062. DOI: 10.1021/acs.est.8b05274.
- ## REFERENCES
1. Akishev Y.S. Non-thermal plasma at atmospheric pressure and its opportunities for applications. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Russian Journal Of Chemistry And Chemical Technology*, 2019, vol. 62, is. 8, pp. 26–60. (In Russian).
 2. Zhitong Chen, Richard E. Wirtz. Technology and applications of cold atmospheric plasma (CAP). *General lectures on mechanical engineering*, 2021, vol. 6 (2), p. i-191. DOI: 10.2200/S01107ED1V01Y202105MEC035.
 3. Koichi Takaki, Katsuyuki Takahashi, Daisuke Hamanaka, Riichiro Yoshida, Toshitaka Uchino. Plasma and electrostatic function to preserve the quality of agricultural products at the post-harvest stage. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2021, vol. 60 (1), p. 010501. DOI: 10.35848/1347-4065/abcc13.
 4. Gulyaev Yu.V., Taranov I.V., Cherepenin V.A. The use of powerful electromagnetic pulses for influencing bacteria and viruses. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 2020, vol. 493, pp. 15–17.
 5. Zakirova A.R. *Protection of electrical personnel from the harmful effects of electromagnetic fields*. Yekaterinburg: Publishing house of USUPS, 2017. 188 p.
 6. Koichi Taki, Katsuyuki Takahashi, Nobuo Hayashi, Dong Wan, Takayuki Okima. The use of pulsed energy in agriculture and the food industry. *Reviews of Modern Plasma Physics*, 2021, vol. 5 (1). DOI: 10.1007/s41614-021-00059-9.
 7. Lin Zhang, Yongtao Guo, Jianfeng Te, Zhenghui Yao, Zhi hao Feng, Xiong Wu, Xinxin Wang, Haiyun Luo. Recalculated DBD program for air disinfection: characteristics of dosage and dose-dependent action. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, vol. 447, p. 130780. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.130780.
 8. Kang Wang, Siyi Lu, Zhiwei Zhang. Inactivation of airborne bacteria using various ultraviolet light sources: modeling efficiency, energy use, and endotoxin degradation. *General Environmental Science*, 2019, vol. 655, pp. 787–795. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.266.
 9. Hao Wang, Liyan Zhang, Haiyun Luo, Xinxin Wang, Jianfeng Te, Zhe Ren. Sterilization processes and mechanisms for the treatment of *E. coli* with plasma with a dielectric barrier. *Applied and Environmental Microbiology*, 2019, vol. 86 (1). DOI: 10.1128/AEM.01907.

10. Angela Luengas, Astrid Barona, Cecile Hort, Gorka Gallastegui, Vincent Platel, Ana Elias. Review of indoor air purification technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 2015, vol. 14 (3), pp. 499–522. DOI: 10.1007/s11157-015-9363-9.
11. Lu Song, Jianfeng Zhou, Kang Wang, Ge Meng, Yunfei Li, Mourinho Yarin, Jian Wu, Xing Xie. Airborne pathogenic microorganisms and the development of air purification technology: an overview. *Journal of Hazardous Materi-als*, 2022, vol. 424, p. 27429. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127429.
12. Joseph P. Wood, Bolden Charles Adrian. Overview of disinfection methods for the detection of *Bacillus anthracis* and other microorganisms associated with sterile preparations, methylamines and other armed material. *Environmental Science and Technology*, 2019, vol. 53 (8), pp. 4045–4062. DOI: 10.1021/acs.est.8b05274.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Делягин В.Н., доктор технических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: valdel23@yandex.ru

Леонов С.В., старший научный сотрудник

Некрасов М.Ю., инженер

Кондратьев А.А., инженер

Карзанов А.Н., инженер

AUTHOR INFORMATION

✉ Valery N. Delyagin, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: valdel23@yandex.ru

Sergey V. Leonov, Senior Researcher

Mikhail Yu. Nekrasov, Engineer

Arkady A. Kondratiev, Engineer

Alexei N. Karzanov, Engineer

Дата поступления статьи / Received by the editors 08.09.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 18.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-13>

УДК: 636.082

Тип статьи: обзорная

Type of article: review

ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ ПЛЕМЕННОГО ДЕЛА В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

✉ Гинтер Е.В., Лыков А.С.

Магаданский научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Магадан, Россия

✉ e-mail: litvinuga@mail.ru

Статья призвана с опорой на исторические факты и прошлые достижения актуализировать важность и доказать возможность успешного ведения племенной работы на уровне региона с целью повышения объемов производства качественных социально значимых продуктов питания для обеспечения продовольственной безопасности. В начале становления сельскохозяйственной науки в Магаданской области перед учеными стояла задача по подбору оптимальных для региона пород скота. За 1964–1967 гг. было обследовано более 4000 коров. Установлено, что в экстремальных природно-климатических условиях Магаданской области наилучшим образом себя зарекомендовала холмогорская порода. В 1967 г. с целью дальнейшего совершенствования холмогорской породы сделана первая попытка изучения генеалогической структуры стада, выявления и оценки высокопродуктивных линий. В 1974 г. для повышения жирномолочности помесных коров холмогорской породы применяли вводное скрещивание с быками-айрширами, проверенными по качеству потомства. С целью совершенствования дойных стад отбор коров по наследственным признакам сочетают с их проверкой по первой лактации. С 1976 г. в совхозах было начато изучение племенных и продуктивных качеств айрширского скота, который отличался большой обильномолочностью и высоким содержанием жира в молоке. С 1982 г. айрширская порода утверждена как плановая для разведения в хозяйствах Приохотской зоны. В этом же году начато поглотительное скрещивание животных холмогорской породы с производителями айрширской породы. В рамках повышения эффективности селекции по обильномолочности в хозяйствах вели работу по увеличению наследственной изменчивости этого признака за счет разведения по линиям и семействам. Вместе с тем продолжилось совершенствование холмогорского скота путем вводного скрещивания с чистопородными быками голштино-фризской породы. К 1990-м годам основным вектором развития стало создание высокопродуктивных стад молочного скота, но тяжелое финансовое положение хозяйств в 1990-е годы привело к резкому снижению поголовья крупного рогатого скота и продуктивности оставшихся животных.

Ключевые слова: Магаданская область, история, развитие, молочное скотоводство, селекционно-племенная работа, продуктивность

THE PAST AND PRESENT OF BREEDING IN DAIRY CATTLE BREEDING IN THE FAR NORTH-EAST

✉ Ginter E.V., Lykov A.S.

Magadan Agricultural Research Institute

Magadan, Russia

✉ e-mail: litvinuga@mail.ru

Based on historical facts and past achievements, the work is designed to update the importance and prove the possibility of successful breeding work at the regional level in order to increase the production of high-quality, socially significant food products to ensure food security. At the beginning of the formation of agricultural science in the Magadan region, scientists were faced with the task of

selecting the optimal breeds for the region. More than 4000 cows were examined during 1964–1967. It was found that in extreme natural and climatic conditions of the Magadan region the Kholmogory breed proved to be the best one. In 1967, in order to further improve the Kholmogory breed, the first attempt was made to study the genealogical structure of the herd, to identify and evaluate highly productive lines. In 1974, in order to increase the milk fat content of crossbred cows of the Kholmogory breed, introductory crossing with the bulls of the Ayrshire breed, tested for the quality of the offspring, was used. In order to improve dairy herds, the selection of cows for hereditary traits is combined with checking them for the first lactation. Since 1976, state farms began to study the breeding and productive qualities of the Ayrshire cattle, which were distinguished by high milk production and high fat content in milk. Since 1982, the Ayrshire breed has been approved as a planned breed for breeding in the farms of the Okhotsk zone. In the same year, absorptive crossbreeding of the animals of the Kholmogory breed with the sires of the Ayrshire breed began. In order to increase the efficiency of breeding for abundant milk production, work began on the farms to increase the hereditary variability of this trait through breeding along lines and families. At the same time, the work on improving the Kholmogory cattle by introductory crossbreeding with the purebred bulls of the Holstein-Friesian breed continued. By the 1990s, the main vector of development was the creation of highly productive herds of dairy cattle, but the difficult financial situation at farms in the 1990s led to a sharp decrease in the number of cattle and the productivity of the remaining animals.

Keywords: Magadan region, history, development, selection and breeding work, dairy cattle breeding, productivity

Для цитирования: Гинтер Е.В., Лыков А.С. Прошлое и настоящее племенного дела в молочном скотоводстве Крайнего Северо-Востока // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 130–137. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-13>

For citation: Ginter E.V., Lykov A.S. The past and present of breeding in dairy cattle breeding in the Far North-East. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 130–137. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-13>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Интенсивное освоение Крайнего Северо-Востока, являющегося одним из наиболее значимых для страны регионов с точки зрения обеспеченности ресурсами и геополитических характеристик, началось со второй трети XX в. В ходе геологических экспедиций в районы верхней Колымы в конце 1920-х годов были открыты крупные месторождения золота. В связи с этим стратегическими задачами стали комплексное освоение и включение в единый народнохозяйственный комплекс страны ранее необжитых территорий как основного поставщика валюты для осуществления масштабных планов индустриализации. За годы советского строительства Крайний Северо-Восток превратился в бурно развивающийся промышленный регион [1]. Одной из приоритетных задач того периода было формирование продовольственной

базы там, где создание сельскохозяйственного производства казалось неосуществимой идеей. Необходимость обеспечения населения свежими продуктами питания способствовала развитию новых отраслей сельского хозяйства, организации совхозов, крупных животноводческих ферм, птицефабрик. Одной из базовых отраслей сельскохозяйственного производства стало молочное скотоводство.

В начале 1930-х годов Дальстроем было создано несколько сельскохозяйственных предприятий, для которых из Приморского края без соответствующего отбора завезли крупный рогатый скот разных пород: симментальской, холмогорской, ярославской, остфризской, швицкой, бестужевской, а также сибирский и красный степной скот. По состоянию на 1 января 1938 г. на предприя-

тиях Дальстроя имелось 1612 гол. крупного рогатого скота, в том числе 729 коров. К концу 1950 г. размер молочного стада достиг 8666 гол., в том числе 3680 коров. К началу 1960-х годов в общественном животноводстве региона насчитывалось 9509 гол., в том числе 6490 коров¹.

До 1967 г. на территории Магаданской области племенную работу в хозяйствах не проводили. Улучшение качества и повышение продуктивности скота шло по схеме для товарных ферм, в хозяйства завозили высококачественных быков-производителей и высокопродуктивное маточное поголовье из лучших племенных хозяйств страны. Искусственное осеменение крупного рогатого скота применяли недостаточно широко из-за отсутствия станции по племенной работе и искусственному осеменению.

В начале становления сельскохозяйственной науки в Магаданской области перед учеными стояла задача по подбору оптимальных для региона пород скота. На базе Магаданской областной государственной сельскохозяйственной опытной станции проводили сравнительную оценку продуктивных и породных качеств холмогорской, симментальской и костромской пород, путем планового отбора совершенствовали холмогорскую породу (см. рис. 1). Цели исследований заключались в выявлении линий чистопородного скота путем планового отбора и в разработке системы выращивания молодняка от высокопродуктивных коров.

На основании обследования проводили сравнительное изучение пород скота в девяти хозяйствах, производящих свыше 50,0% молока в области. За 1964–1967 гг. обследовали более 4000 коров. В результате было установлено, что в экстремальных природно-климатических условиях региона наилучшим образом себя зарекомендовала холмогорская порода.

В 1967 г. впервые были проведены научно-хозяйственные опыты в опытно-произ-



Рис. 1. Проведение экстерьерных промеров сотрудниками Магаданской областной государственной сельскохозяйственной опытной станции

Fig. 1. Conducting exterior measurements by the employees of the Magadan Regional State Agricultural Experimental Station

водственном хозяйстве Магаданской областной сельскохозяйственной опытной станции. По принципу аналогов отобрали коров холмогорской и симментальской пород. Исследования показали, что холмогорская порода в большей мере окупает затраты труда и корма, а значит, более приспособлена к условиям Магаданской области. При однотипном кормлении, уходе и содержании продуктивность коров в пересчете на молоко 4%-й жирности оказалась различной. За период лактации удой коров холмогорской породы был на 321 кг выше, чем у представительниц симментальской породы, а количество молока в пересчете на 100 кг живой массы – на 66 кг. При этом оплата корма молоком у коров холмогорской породы оказалась выше – на производство 1 ц молока было затрачено на 6 кормовых единиц меньше².

В это же время в области впервые был составлен план племенной работы в молочном животноводстве совхозов и колхозов на

¹Шумилов М.Ф., Сысоев В.В. Очерк развития ветеринарной службы Магаданской области // Магаданский оленевод. 1982. № 34. С. 33–36.

²Ваганова Е.С. Труды Магаданской областной государственной сельскохозяйственной опытной станции. Магадан, 1968. Вып. 3. С. 69–72.

1967–1970 гг., в котором холмогорская порода определялась как первая плановая порода для хозяйств региона. Отмечалось, что «проблема создания, тогда еще в недостаточно обжитом крае, первых молочно-животноводческих совхозов решалась за счет завоза продуктивного молочного скота из центральных районов страны, ибо практическое решение этого вопроса за счет аборигенного скота местного коренного населения ввиду его малочисленности было невозможным». В плане дана характеристика продуктивности, породного и классного состава имевшегося на территории Магаданской области стада. Из 8210 прошедших бонитировку животных в племгруппу было отнесено 3743 гол., в том числе по классу элита-рекорд – 23 гол., элита – 560, I классу – 2617, II классу – 543 гол. Была дана краткая характеристика быков холмогорской породы. Намечены основные организационно-хозяйственные и зоотехнические мероприятия в рамках племенной работы в хозяйствах на 1968–1970 гг. С целью дальнейшего совершенствования холмогорской породы сделана первая попытка изучения генеалогической структуры стада, выявления и оценки высокопродуктивных линий.

Для координации племенной работы в молочном животноводстве совхозов и колхозов Магаданской области был составлен план на 1971–1980 гг., в котором определялись общие направления работы с холмогорской породой и плановые показатели отрасли, а также план линейного закрепления быков-производителей холмогорской породы за хозяйствами региона. По состоянию на начало 1971 г. в области насчитывалось 16,1 тыс. гол. крупного рогатого скота, в том числе 9,5 тыс. коров. В рассматриваемый период среднегодовой удой на одну фуражную корову по сравнению с 1961–1965 гг. увеличился на 202 кг и составил 3072 кг.

С марта 1974 г. в хозяйствах региона начали осеменение коров глубоко охлажденным семенем от быков с Центральной станции искусственного осеменения. С целью повы-

шения жирномолочности помесных коров холмогорской породы применяли вводное скрещивание с быками-айрширами, проверенными по качеству потомства.

В плане на 1976–1985 гг. определены задачи и методы дальнейшего совершенствования поголовья, принципы отбора и подбора при разведении по линиям и семействам. Ведущим признаком отбора при удовлетворительном развитии других показателей остается молочная продуктивность. Животные желательного типа должны иметь продуктивность не ниже 4000–5000 кг в год, оптимальную массу около 550 кг, спокойный темперамент, объемное вымя. С целью совершенствования дойных стад отбор коров по наследственным признакам следует сочетать с их проверкой по результатам первой лактации. Одним из важнейших условий формирования высокопродуктивных стад в то время выступало получение и выращивание высококачественного ремонтного молодняка³.

Все больший интерес начинает вызывать айрширская порода, завозимая в Магаданскую область с 1969 г. из хозяйств Карельской АССР. Завозили помесных телок первого и второго поколений в возрасте 12–17 мес, материнской основой которых являлись помесные коровы холмогорской, бурой латвийской и джерсейской пород различной кровности, отцовской – чистопородные айрширские быки финского происхождения. Сравнительное изучение хозяйственно полезных признаков коров холмогорской и айрширской пород показало, что удой за 305 дней лактации у коров айрширской породы оказался на 77 кг выше относительно группы их холмогорских сверстниц (см. рис. 2). Полученные данные позволили заключить, что айрширский скот по продуктивности не уступает холмогорскому и может быть районирован в Приохотской зоне в качестве плановой породы. С 1976 г. в совхозах началось изучение племенных и продуктивных качеств айрширской породы, представительницы которой отличались значительной обильномолочностью и высоким

³Елин Г.Я., Ваганова Е.С., Авдеева Л.В. Труды Магаданского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока. Магадан, 1978. Вып. 7. С. 78–81.



Рис. 2. Проведение экспериментальных исследований сотрудниками Магаданского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока

Fig. 2. Conducting pilot studies by the employees of the Magadan Zonal Research Institute of North Eastern Agriculture

содержанием жира в молоке. В равных условиях удой айрширских коров был больше, чем у холмогорских, на 493 кг. При этом общего жира в молоке айрширских коров было на 23,95 кг больше. С 1982 г. айрширская порода утверждена как плановая для разведения в хозяйствах Приохотской зоны. В этом же году начато поглотительное скрещивание животных холмогорской породы с производителями айрширской. Для этой цели широко использовали сперму чистопородных быков, 30,0% которых являлись улучшателями⁴.

При формировании стад молочного направления особое значение приобрела селекция, основанная на отборе первотелок по их продуктивности. Ведущими селекционируемыми признаками по продуктивности остаются удой и содержание жира в молоке. Для повышения эффективности селекции по обильномолочности в хозяйствах проводили работу по увеличению наследственной изменчивости этого признака за счет разведе-

ния по линиям, семействам и углубленной индивидуальной племенной работы. Вместе с тем продолжали совершенствовать холмогорский скот путем вводного скрещивания с чистопородными быками голштино-фризской породы^{5,6}.

В связи с применением в широких масштабах межпородного скрещивания как метода улучшения продуктивных и племенных качеств в 1984 г. в план селекционно-племенной работы в Магаданской области на 1980–1990-е годы были внесены существенные дополнения и изменения. Предусматривалось максимальное использование имеющихся племенных ресурсов – повышение удоев, содержания жира в молоке, устойчивости животных к заболеваниям и приспособленности к условиям промышленной технологии содержания, увеличение энергии роста, уменьшение затрат кормов на единицу продукции.

Многолетний опыт разведения айрширского скота показал, что животные этой породы в условиях региона имели высокую продуктивность и показатели воспроизводства, а по качеству вымени, жирномолочности и оплате корма молоком превосходили холмогоров и их помесей с голштинцами, разводимых в совхозах области. В результате проводимого чистопородного разведения и целенаправленной селекции удалось создать популяцию айрширов, хорошо приспособленных к экстремальным условиям Севера Дальнего Востока [2]. По данным породного учета, к 1990 г. поголовье айрширов достигало 17 070 гол. и составляло 46,5% от всего разводимого скота. По итогам бонитировки того же года, удой за 305 дней последней лактации коров айрширской породы по области составлял 4016 кг молока жирностью 3,65%, на племенных фермах – 4979 кг жирностью 3,67% [3].

С 1989 г. лаборатория селекции и племенного дела Магаданского зонального науч-

⁴Ваганова Е.С., Соскин А.А. Селекция и племенное дело в молочном скотоводстве на промышленной основе. Новосибирск, 1981. С. 68–77.

⁵Ваганова Е.С., Ворсанова Г.А. Селекционная работа с молочными породами скота // Интенсификация животноводства в Магаданской области. 1984. № 10. С. 7–13.

⁶Каныгин Б.Н., Михайлов Н.Г. Состояние и перспективы развития молочного скотоводства // Интенсификация животноводства в Магаданской области. 1984. № 10. С. 3–7.

но-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока приступила к разработке планов селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве на 1990–2000 гг. Основным вектором развития стало создание высокопродуктивных, приспособленных для использования в условиях промышленной технологии стад молочного скота с генетическим потенциалом продуктивности 5500–6000 кг молока при жирности 3,8%, живой массой 600 кг, скоростью молокоотдачи 1,7–2,0 кг/мин.

К сожалению, данные планы не были реализованы. В 1990-х годах в результате непродуманных экономических реформ и недооценки стратегической роли северных регионов со стороны государства социально-экономическая обстановка здесь резко ухудшилась. Кризисная ситуация сложилась в агропромышленном комплексе. Местное производство продукции сельского и промыслового хозяйств сократилось на 40,0–58,0%. Одновременно резко сократился завоз продуктов питания в северные районы, что поставило проживающее здесь население в трудное положение⁷.

Тяжелое финансовое положение хозяйств и отсутствие кормов привели к значительному снижению поголовья крупного рогатого скота и его продуктивности. Уже в 1995 г., по данным бонитировки, поголовье составляло лишь половину от имевшегося в 1990 г. Удой на одну корову айрширской породы снизился до 2417 кг молока жирностью 3,72%. К началу 2000-х годов ликвидировали региональное Производственное объединение по племенной работе, прекратились контроль и координация племенной работы в хозяйствах. Селекционную работу с разводимым скотом не проводили, создаваемый десятилетиями генетический потенциал был утрачен. Основное поголовье крупного рогатого скота было сосредоточено в крестьянско-фермерских хозяйствах, которые сами решали, коров какой

породы разводить. Почти во всех хозяйствах, в которых не использовали искусственное осеменение (искусственным осеменением было охвачено 40,0% маточного поголовья), велась бессистемная случка без учета родословной. Используемые для воспроизводства производители не имели свидетельств о своем происхождении⁸.

В 2006 г. в регион из Вологодской области завезли 100 нетелей айрширской породы. Все животные пошли на пополнение товарного стада в одном их хозяйств. Скот трудно адаптировался к местным условиям, большинство отелов прошли с осложнениями, от нетелей было получено всего 15 живых телят. В Магаданской области к 2010 г. осталось около 400 гол. крупного рогатого скота айрширской породы, происхождение которых подтверждалось племенными свидетельствами. Последние три года коров и телок айрширской породы осеменяли спермой красно-пестрых голштинских быков, проводя поглотительное скрещивание. В результате уникальную местную популяцию айрширского скота, разводимую в хозяйствах области более 40 лет, полностью вытеснили животные других пород. По России в целом популяция айрширов остается стабильной. С точки зрения продуктивности коровы айрширской породы занимают третье место после голштинской и черно-пестрой [4–8].

В настоящее время основное поголовье крупного рогатого скота региона сосредоточено в крестьянско-фермерских хозяйствах. Процесс изменения породного состава скота происходит под воздействием экономических и субъективных причин [9, 10]. В большинстве хозяйств искусственное осеменение не проводят, чаще всего скот завозят из других регионов, сильно отличающихся от Магаданской области по климатическим и хозяйственным условиям. Черно-пестрая, красно-пестрая, симментальская и другие породы ранее на территории области не вы-

⁷Каиштанов А.Н. Развитие северного земледелия в свете концепции Н.И. Вавилова // Сельское хозяйство Севера на рубеже тысячелетий: сб. науч. тр. Магадан, 2004. Ч. 1. 253 с.

⁸Лыков А.С. Разведение айрширского скота на Колыме // Проблемы ветеринарной медицины и зооэкологии Российского и Азиатско-Тихоокеанского регионов: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Благовещенск, 2012. С. 225–227.

рачивались, не изучалась и их адаптация в суровых условиях Севера⁹.

В современных политических условиях, когда взят курс на сокращение зависимости экономики страны от внешних факторов, рост самообеспеченности жизненно важными продуктами питания приобретает стратегическое значение. Это обуславливает необходимость решения задач по формированию продовольственной базы на уровне регионов. Учитывая отдаленное расположение Магаданской области и сложную логистику при доставке грузов, проблема обеспечения населения качественными продуктами питания имеет практическую значимость [11]. Поэтому изучение адаптационных качеств завезенного скота, его продуктивных и воспроизводительных способностей, выявление наиболее приспособленных к условиям области пород и генотипов приобретает особую актуальность. Возобновление работы в данном направлении должно стать новым этапом в истории развития селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве в экстремальных условиях Крайнего Севера Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пустовойт Г.А. Геологические экспедиции и организация научных исследований на Северо-Востоке СССР (1931–1938 гг.) // Россия и Азиатско-Тихоокеанский регион. 2010. № 2. С. 91–100.
2. Лыков А.С. Особенности развития чистопородных телок айрширской породы, предназначенных для ремонта стада коров, адаптированных к условиям Магаданской области // Дальневосточный аграрный вестник. 2013. № 4 (28). С. 31–34.
3. Лыков А.С. Совершенствование методов отбора крупного рогатого скота в товарное айрширское стадо Магаданской области // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2017. № 3 (193). С. 83–87.
4. Матвеева Е.А., Тяпугин Е.Е., Боголюбова Л.П., Никитина С.В., Семенова Н.В.,

Тяпугин С.Е., Кочетков А.А. Динамика численности и продуктивности молочного и молочно-мясного скота в Российской Федерации // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 8. С. 3–6.

5. Абрамова Н.И., Богородова Л.Н. Современное состояние айрширской породы в России // Зоотехния. 2008. № 12. С. 2–3.
6. Болгов А.Е. Карельский тип айрширского скота // Зоотехния. 2014. № 10. С. 2–4.
7. Ескин Г.В., Племяшов К.В., Турбина И.С., Анисенков С.В. Состояние отечественного генофонда быков айрширской породы // Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 5. С. 5–8.
8. Кудрин А.Г., Седунова Т.В. Селекция айрширского скота по этологическим индексам // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 6. С. 9–10.
9. Чинаров В.И. Количественный и породный состав крупного рогатого скота России // Молочное и мясное скотоводство. 2022. № 4. С. 9–13.
10. Прожерин В.П., Ялуга В.Л. Итоги инвентаризации племенных ресурсов в стадах племенных холмогорского скота // Молочное и мясное скотоводство. 2022. № 3. С. 3–7.
11. Феоктистова Н.И. Оценка уровня и перспективы развития сельского хозяйства в Магаданской области // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114 (10). С. 1–15.

REFERENCES

1. Pustovoyt G.A. Geological expeditions and scientific investigation in the North-East of the USSR (1931–1938). *Russia i Aziatsko-Tikhookeanskiy region* = *Russia and the Pacific*, 2010, no. 2, pp. 91–100. (In Russian).
2. Lykov A.S. Characteristics of the Ayrshirsky breed thoroughbred heifer development intending for repair of cows head adapting to conditions of the Magadan region. *Dal'nevostochniy agrarniy vestnik* = *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2013, no. 4 (28), pp. 31–34. (In Russian).
3. Lykov A.S. Improvement of methods for selection of the cattle into the Ayrshire commercial in Magadan region. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = *Vestnik*

⁹Лыков А.С. Современное состояние племенной работы и перспективы разведения айрширского скота в хозяйствах Магаданской области // Проблемы формирования инновационной политики региона: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. Магадан, 2014. С. 122–127.

- of the Far East branch of the Russian Academy of Sciences, 2017, no. 3 (193), pp. 83–87. (In Russian).
4. Matveeva E.A., Tyapugin E.E., Bogolyubova L.P., Nikitina S.V., Semenova N.V., Tyapugin S.E., Kochetkov A.A. Dynamics of the number and productivity of dairy and dairy-beef cattle in the Russian Federation. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*, 2020, no. 8, pp. 3–6. (In Russian).
 5. Abramova N.I., Bogorodova L.N. The current state of the Ayrshire breed in Russia. *Zootekhniya = Zootechniya*, 2008, no. 12, pp. 2–3. (In Russian).
 6. Bolgov A.E. Karelian type of Ayrshire cattle. *Zootekhniya = Zootechniya*, 2014, no. 10, pp. 2–4. (In Russian).
 7. Eskin G.V., Plemyashov K.V., Turbina I.S., Anistenok S.V. Monitoring national gene pool of Ayrshire bulls. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*, 2015, no. 5, pp. 5–8. (In Russian).
 8. Kudrin A.G., Sedunova T.V. Selection of Ayrshire cattle according to ethological indices. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*, 2016, no. 6, pp. 9–10. (In Russian).
 9. Chinarov V.I. Quantitative and breed composition of cattle in Russia. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*, 2022, no. 4, pp. 9–13. (In Russian).
 10. Prozherin V.P., Yaluga V.L. The results of the inventory of breeding resources in the herds of breeding farms of the Kholmogory cattle. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*, 2022, no. 3, pp. 3–7. (In Russian).
 11. Feoktistova N.I. Evaluation of the Magadan region agriculture level and prospects of its development. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, 2015, no. 114 (10), pp. 1–15. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Гинтер Е.В., старший научный сотрудник;
адрес для переписки: Россия, 685000, г. Магадан,
ул. Пролетарская, 17; e-mail: litvinuga@mail.ru
Лыков А.С., старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ Elena V. Ginter, Senior Researcher; address: 17, Proletarskaya St., Magadan, 685000, Russia; e-mail: litvinuga@mail.ru
Alexander S. Lykov, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 27.07.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 06.10.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-14>

УДК: 633.854.78:632.4

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

МОНИТОРИНГ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПОДСОЛНЕЧНИКА С ЦЕЛЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ЛОЖНОЙ МУЧНИСТОЙ РОСЕ

✉ Мерк Л.Б.^{1,2}, Губарева Н.С.³, Николаева В.Н.⁴, Доланбаева Г.Т.⁴, Дидоренко С.В.⁵

¹Восточно-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция

Восточно-Казахстанская область, п. Опытное Поле, Казахстан

²Алтайский государственный аграрный университет

Барнаул, Россия

³Восточно-Казахстанская областная карантинная лаборатория – филиал Республиканского центра карантина растений Комитета государственной инспекции в агропромышленном комплексе Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан

Восточно-Казахстанская область, Усть-Каменогорск, Казахстан

⁴Национальная научная лаборатория коллективного пользования Восточно-Казахстанского университета им. С. Аманжолова

Восточно-Казахстанская область, Усть-Каменогорск, Казахстан

⁵Казахстанский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства

Алматинская область, п. Алмалыбак, Казахстан

✉ e-mail: ariva8881@mail.ru

Увеличение производства маслосемян подсолнечника требует использования урожайных, адаптированных к условиям возделывания сортов и гибридов, устойчивых к вредоносным патогенам зоны выращивания. Снижению устойчивости культуры способствует целый ряд причин. Одна из них – возникновение условий для развития не только новых заболеваний, но и более агрессивных рас уже хорошо известных патогенов. Самым эффективным и экологически безопасным путем борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур является создание устойчивого селекционного материала. В связи с этим в условиях Восточно-Казахстанской области были проведены исследования по оценке устойчивости к ложной мучнистой росе перспективного селекционного материала подсолнечника, созданного специалистами Восточно-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции. Определены количественные показатели пораженных растений и интенсивность поражения семядолей спороношением. Дана характеристика степени восприимчивости исследуемых образцов по 5-балльной шкале. Результаты опытов подтвердили возможность проведения отбора на разных этапах селекционной работы. Выделенный исходный материал может быть использован в качестве родительских форм при создании новых сортов и гибридов подсолнечника.

Ключевые слова: ложная мучнистая роса, подсолнечник, интенсивность поражения, тип реакции, устойчивость, патоген, гибрид, линия

MONITORING OF SUNFLOWER BREEDING MATERIAL TO IDENTIFY THE LEVEL OF RESISTANCE TO FALSE POWDERY MILDEW

✉ Merk L.B.^{1,2}, Gubareva N.S.³, Nikolaeva V.N.⁴, Dolanbaeva G.T.⁴, Didorenko S.V.⁵

¹East Kazakhstan Agricultural Experimental Station

Opytnoe Pole, East Kazakhstan region, Kazakhstan

²Altai State Agrarian University

Barnaul, Russia

³*East Kazakhstan Regional Quarantine Laboratory – Branch of the Republican Center for Plant Quarantine of the Committee of the State Inspection in Agro-industrial Complex of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan*

Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region, Kazakhstan

⁴*National Scientific Laboratory for Collective Use, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University*

Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region, Kazakhstan

⁵*Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant growing*

Almalybak village, Almaty region, Kazakhstan

(✉)e-mail: ariva8881@mail.ru

Increased production of sunflower oilseeds requires the use of yielding, adapted to the conditions of cultivation varieties and hybrids resistant to harmful pathogens of the growing area. A number of reasons contribute to the decline in crop resistance. One of them is the emergence of conditions for the development of not only new diseases, but also more aggressive races of already well-known pathogens. The most effective and environmentally friendly way to control crop diseases is to create sustainable breeding material. In this regard, in the conditions of the East Kazakhstan region studies were conducted to assess the resistance to false powdery mildew of the promising breeding material of sunflower created by the specialists of the East Kazakhstan Agricultural Experimental Station. Quantitative indices of affected plants and the intensity of sporoniferous lesions on seedlings were determined. Characterization of the degree of susceptibility of the tested samples on a 5-point scale was given. The results of the experiments confirmed the possibility of selection at different stages of the breeding work. The selected source material can be used as parental forms in the creation of new sunflower varieties and hybrids.

Keywords: Downy mildew, sunflower, lesion intensity, reaction type, resistance, pathogen, hybrid, line

Для цитирования: Мерк Л.Б., Губарева Н.С., Николаева В.Н., Доланбаева Г.Т., Дидоренко С.В. Мониторинг селекционного материала подсолнечника с целью определения уровня устойчивости к ложной мучнистой росе // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 11. С. 138–146. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-14>

For citation: Merk L.B., Gubareva N.S., Nikolaeva V.N., Dolanbaeva G.T., Didorenko S.V. Monitoring of sunflower breeding material to identify the level of resistance to false powdery mildew. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 11, pp. 138–146. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-11-14>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан (BR10764991, BR10765017).

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of program-targeted financing of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (BR10764991, BR10765017).

ВВЕДЕНИЕ

В Восточно-Казахстанской области в последние два десятилетия наблюдается устойчивая тенденция к увеличению посевных площадей подсолнечника, что обусловлено в том числе высокой экономической рентабельностью данной культуры. На фоне роста доли подсолнечника в севооборотах, естественным путем возникает необходимость обеспечения сельхозпроизводителей качественным

семенным материалом. Безусловно, ввоз и использование семян гибридов иностранной селекции¹ частично решают проблему удовлетворения потребностей региона в семенах подсолнечника. Однако из-за высокой стоимости семена импортных гибридов доступны не для всех местных фермеров. К тому же их качество не всегда соответствует заявленным параметрам. В связи с этим в Восточном Казахстане актуальным является вопрос нала-

¹Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017–2021 гг. Астана, 2017. 150 с.

живания производства отечественных семян подсолнечника.

Рост посевных площадей подсолнечника в севооборотах и, как результат, возвращение культуры на прежнее место не через 5–8 лет, а через 2–3 года, создают благоприятные условия для накопления инфекции и развития эпифитотий [1]. Агроклиматические условия Восточного Казахстана разнообразны, что обеспечивает сохранение и распространение на его территории широкого спектра инфекционных заболеваний. Наиболее вредоносными в регионе являются такие заболевания растений, как ложная мучнистая роса, серая и белая гниль, вертицеллюзное увядание, фомоз, сухая гниль корзинок².

Одно из самых распространенных и вредоносных грибковых заболеваний в посевах подсолнечника предгорной лугово-степной зоны Восточного Казахстана – ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая облигатным грибом-паразитом из класса оомицетов *Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni³.

Особенность данного заболевания – разнообразие форм проявления. Как известно, мучнистая роса имеет шесть форм проявления⁴. Так, до 2005 г. в посевах подсолнечника в Восточно-Казахстанской области отмечалась только одна форма, отличающаяся средней степенью патогенности. В последнее десятилетие наблюдается распространение всех шести форм⁵. Заболевание носит скрытый характер протекания, поэтому его идентификация по морфологическим признакам может быть затруднена⁶. Заражение корзинок, а также семян ведет к гибели проростков. Данный фактор значительно влияет на посевные качества семенного материала [2].

В сложившейся ситуации актуализируется задача обеспечения региона семенами подсолнечника, свободными от указанной грибковой инфекции. В связи с этим необходимо изучение вредоносности мучнистой росы на посевах подсолнечника в условиях региона. Для этого на первом этапе была проведена оценка семян подсолнечника, из коллекции Восточно-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции (ВКСХОС), являющейся одним из ведущих предприятий страны, занимающихся селекцией и семеноводством масличных культур.

Цель исследования – определение степени устойчивости к ложной мучнистой росе селекционного материала подсолнечника из генофонда ВКСХОС с выделением наиболее резистентных исходных форм.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – 28 экспериментальных гибридов и 30 самоопыленных линий из генофонда ВКСХОС. В качестве контроля использован восприимчивый ко всем расам патогена сорт Круглик А/41, созданный специалистами Всесоюзного научно-исследовательского института масличных культур.

Лабораторные исследования проводили в 2020 г. на базе Национальной научной лаборатории коллективного пользования Восточно-Казахстанского университета им. С. Аманжолова. В качестве основы взята методика проведения подобных опытов, ранее использованная М.В. Ивевор, Т.С. Антоновой и Н.М. Араслановой⁷⁻⁹ [3–5].

²Губарева Н.С., Кузьмина Г.Н., Чурсин А.С. Видовой состав зарегистрированных болезней подсолнечника в Восточном Казахстане // Записки Усть-Каменогорского филиала Казахского географического общества: материалы междунар. науч.-практ. конф. Усть-Каменогорск, 2014. Вып. 8. С. 104–112.

³Губарева Н.С., Кузьмина Г.Н. Учебное пособие по определению болезней подсолнечника в Восточно-Казахстанском регионе. Усть-Каменогорск, 2018. 59 с.

⁴Выприцкая А.А., Кузнецов А.А., Пучин А.М. *Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni в Тамбовской области // Вестник Тамбовского государственного университета. 2015. Т. 20. № 6. С. 1595–1600.

⁵Губарева Н.С. Мониторинг болезней подсолнечника и полевая выносливость сортов и гибридов при возделывании в Восточно-Казахстанской области. Усть-Каменогорск, 2018. С. 6–7.

⁶Cifticil T.H., Ozer N., Sabudak T. A preliminary study on control of sunflower downy mildew (*Plasmopara halstedii*) with culture filtrates of antagonistic fungi // Proceedings of 19th International Sunflower Conference. Edirne, 2016. P. 1106.

⁷Ивевор М.В. Идентификация рас возбудителя ложной мучнистой росы подсолнечника в регионах Северного Кавказа и выделение устойчивого к ним исходного материала для селекции: дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 2009. 144 с.

⁸Ивевор М.В., Антонова Т.С., Арасланова Н.М. Особенности проявления ложной мучнистой росы подсолнечника при искусственном заражении разными расами патогена // Масличные культуры. 2009. № 1 (140). С. 26–31.

⁹Екимова Т.С., Кузьмина Г.Н. Изучение методик оценки селекционного материала подсолнечника на иммунитет к ложной мучнистой росе // Global science and innovations 2019: Central Asia. Астана, 2019. Т. 2. С. 315–319.

Для приготовления инокулюма в поле собирали листья подсолнечника со спороношением на нижней стороне листа. Часть растительного материала помещали во влажную камеру для идентификации возбудителя. С поверхности отобранных образцов методом простого смыва зооспор дистиллированной водой получали инокулюм ЛМР. В камере Горяева подсчитывали число зооспор в 1 мл и при необходимости делали разведение до требуемого количества – 106–109 клеток/мл. Расовую принадлежность возбудителя не идентифицировали, для инокулюма использовали популяционную смесь.

Для проращивания отбирали семена в количестве 100 шт. из одной корзинки. Предварительно семена помещали в марлевый фильтр и промывали под струей дистиллированной воды в течение 15 мин с целью сократить число сапрофитных микроорганизмов. Затем семена сушили на фильтровальной бумаге и помещали в чашки Петри. На низ чашек прокладывали фильтровальную бумагу, сверху накрывали увлажненной ватой. Чашки Петри помещали в культивационное помещение под лампы дневного света при температуре 25–27 °С на 2–4 дня (см. рис. 1).

После образования проростков длиной 1,5–2,0 см проводили отбор визуально здоровых образцов: со здоровым корешком,

гипокотилем и семядолями. С отобранных проростков снимали лузгу и высаживали их в растильни, представляющие собой кюветы с крупноффрированной фильтровальной бумагой¹⁰ (см. рис. 2).

Инфицирование проростков осуществляли путем полива суспензией зооспор. На каждую растильню было использовано по 150 мл суспензии. Заражение линий и гибридов ЛМР проводили в фитотроне.

На протяжении первых 7 сут в фитотроне поддерживали температуру 23–25 °С днем и 18 °С ночью. В последующие 7 дней температура была снижена до 16–18 °С. В указанный период проводили полив водой, а также круглосуточно поддерживали влажность в пределах 90,0% путем опрыскивания 4 раза в сутки из пульверизатора¹¹.

На 14-й день осуществляли учет и оценку поражения селекционного материала (см. рис. 3). В ходе оценки определяли общее число пораженных растений и интенсивность проявления заболевания у каждого образца. Учет поражаемости проводили на основании установления интенсивности поражения семядолей: определяли площадь спороношения, хлороза, некроза.

Степень устойчивости к инфекции оценивали по шкале качественной реакции проростков подсолнечника на внедрение возбудителя (см. табл. 1). Тип реакции на заражение определяли по 5-балльной шкале.

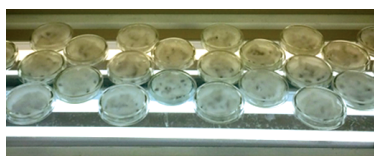


Рис. 1. Семена подсолнечника, помещенные в чашки Петри для проращивания

Fig. 1. Sunflower seeds placed in Petri dishes for germination

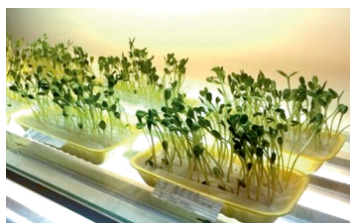


Рис. 2. Растильни с инокулированными проростками

Fig. 2. Planters with inoculated seedlings



Рис. 3. Проростки со спороношением на 14-й день после заражения

Fig. 3. Seedlings with sporulation on the 14th day after infection

¹⁰Маслиенко Л.В., Арасланова Н.М., Ковчигина М.А. Поиск оптимального метода искусственного заражения подсолнечника возбудителем ложной мучнистой росы для определения эффективности опытных образцов микробиопрепаратов // Масличные культуры. 2014. № 2. С. 159–160.

¹¹ГОСТ 12044–93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. М.: Издательство стандартов, 2011. 3 с.

Табл. 1. Показатели оценки реакции проростков подсолнечника на искусственное заражение *Plasmopara halstedii* (Farl.)

Table 1. Indicators for assessing the reaction of sunflower seedlings to artificial infection with *Plasmopara halstedii* (Farl.)

Балл	Характеристика типа поражения	Реакция на заражение
0	Пораженные растения отсутствуют или отмечаются единичные случаи, интенсивность поражения семядольных листьев – от 0,0 до 1,0%	Устойчивые
1	Пораженных проростков – до 50,0%, интенсивность поражения семядольных листьев – до 10,0%	Слабо поражаемые
2	Пораженных проростков – до 50,0%, со спороношением на семядолях – более 10,0%, со слабым спороношением – от 50,0 до 75,0%, интенсивность поражения семядольных листьев – до 10,0%	Средне поражаемые
3	Пораженных проростков со слабым спороношением – от 50,0 до 75,0% при интенсивности поражения семядольных листьев более 10,0%, пораженных проростков – от 75,0 до 100,0% при средней интенсивности спороношения на семядолях (от 10,0 до 30,0%)	Сильно поражаемые
4	Пораженных проростков – от 75,0 до 100,0% при высоком уровне спороношения на семядолях (от 30,0 до 50,0%)	Восприимчивые
5	Все проростки с поражением, интенсивность поражения семядолей – 50,0% и более	Неустойчивые

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Низкое качество семенного материала является в том числе следствием поражения его грибными инфекциями. Считается, что потери в результате инфицирования данным патогеном составляют больше половины от валового сбора [6]. Распространенность заболеваний исследователи во многом связывают с переносчиками болезней, климатическими условиями, нарушением севооборотов. Помимо выявления и учета, разрабатываются методы предотвращения распространения заболеваний^{12, 13}. Селекция на устойчивость к болезням имеет свои особенности, поскольку направление работ связано с селективируемой культурой и возникновением новых вариантов патогена [7]. В настоящее время поиск устойчивого селекционного материала представляется перспективным направлением.

В процессе исследования выявлено значительное варьирование показателей по искусственному заражению ЛМР 28 гибридных комбинаций. В табл. 2. отражены средние результаты по опыту.

На основе представленных данных видно, что в разных вариантах исследования доля зараженных проростков составила от 30,0 (ГК 1/31) до 100,0% (ГК 1/13, ГК 1/42). В контроле этот показатель достиг в среднем 90,0%. Интенсивность поражения семядолей в опыте составила от 2,0 (ГК 1/17) до 80,5% (ГК 1/42). Максимальная интенсивность поражения семядолей отмечена у двух образцов: ГК 1/42 – 80,5%, ГК 1/13 – 80,3% при распространении болезни на всех растениях. Из 28 изучаемых образцов было выделено шесть с максимальной степенью поражения проростков, что позволило определить их как неустойчивые (5 баллов).

Большинство гибридных комбинаций имели невысокую степень поражения проростков (до 22,0%), но в то же время число проростков со спороношением составило более половины всех растений. Такие образцы были отнесены к средне и сильно поражаемым (см. рис. 4).

По сумме характеристик к слабо поражаемым были отнесены ГК 1/39, ГК 1/25, ГК 1/57, средне поражаемым – ГК 1/60,

¹²Iwebor M., Antonova T.S. Changes in the racial structure of *Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni population in the South of the Russian Federation // Heliathis link is disabled. 2016. N 39 (64). P. 113–121.

¹³Костина Е.Е., Лобачев Ю.В. Селекционная ценность и устойчивость к ложной мучнистой росе и заразах экспериментальных гибридов подсолнечника // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. 2012. № 5. С. 26–27.

Табл. 2. Результаты заражения экспериментальных гибридных комбинаций

Table 2. Results of infection of experimental hybrid combinations

Селекционный индекс	Доля проростков со спороношением, %	Интенсивность, %	Тип реакции, балл
ГК 1/31	30,0 ± 1,5	8,3 ± 0,4	0
ГК 1/17	35,0 ± 1,8	2,0 ± 0,1	0
ГК 1/25	45,0 ± 2,3	7,8 ± 0,4	1
ГК 1/57	50,0 ± 2,5	6,3 ± 0,3	1
ГК 1/39	37,5 ± 1,9	18,8 ± 0,9	1
ГК 1/60	55,0 ± 2,8	4,0 ± 0,2	2
ГК 1/59	55,0 ± 2,8	8,5 ± 0,4	2
ГК 1/7	52,9 ± 2,6	16,8 ± 0,8	2
ГК 1/45	73,7 ± 3,7	5,5 ± 0,3	2
ГК 1/34	63,2 ± 3,2	21,8 ± 1,1	3
ГК 1/58	65,0 ± 3,3	12,8 ± 0,6	3
ГК 1/18	65,0 ± 3,3	15,3 ± 0,8	3
ГК 1/23	65,0 ± 3,3	30,8 ± 1,5	3
ГК 1/64	70,0 ± 3,5	14,3 ± 0,7	3
ГК 1/33	70,6 ± 3,5	11,2 ± 0,6	3
ГК 1/48	75,0 ± 3,8	13,5 ± 0,7	3
ГК 1/53	75,0 ± 3,8	14,0 ± 0,7	3
ГК 1/32	77,8 ± 3,9	18,9 ± 0,9	3
ГК 1/16	80,0 ± 4,0	15,8 ± 0,8	3
ГК 1/37	80,0 ± 4,0	20,5 ± 1,0	3
ГК 1/55	80,0 ± 4,0	23,0 ± 1,2	3
ГК 1/10	85,0 ± 4,3	38,3 ± 1,9	4
ГК 1/9	88,2 ± 4,4	30,6 ± 1,5	4
ГК 1/44	95,0 ± 4,8	14,8 ± 0,7	4
ГК 1/43	95,0 ± 4,8	76,5 ± 3,8	4
ГК 1/13	100,0 ± 5,0	80,3 ± 4,0	5
ГК 1/42	100,0 ± 5,0	80,5 ± 4,0	5
Контроль	90,0 ± 4,5	56,0 ± 2,8	5
НСР _{0,05}	± 3,5	± 1,1	

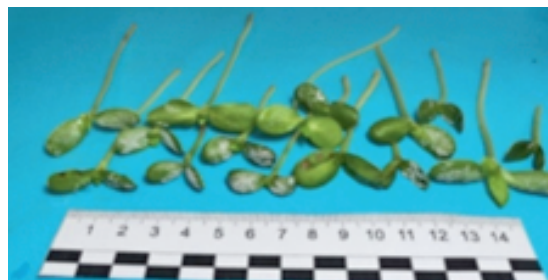


Рис. 4. Третий тип реакции

Fig. 4. Third type of reaction

ГК 1/59, ГК 1/7, ГК 1/45. Высокую степень устойчивости показали образцы ГК 1/17, ГК 1/31. В итоге было решено именно эти девять гибридных комбинаций использовать далее в селекционной работе.

Следует отметить, что у гетерозисных гибридов иммунный ответ к возбудителю ЛМР возможен при условии присутствия в родительских формах горизонтальной и вертикальной устойчивости¹⁴ [8–10]. В связи с этим возникла необходимость изучения константных самоопыленных линий. В ходе опыта на устойчивость к ЛМР было исследовано 30 константных самоопыленных линий (см. табл. 3).

Оценка устойчивости селекционного материала подсолнечника к ЛМР показала, что все исследуемые образцы были в разной степени поражены инфекцией. Количество проростков со спороношением варьировало от 40,0 (КЛ/21) до 100,0% (КЛ/32, КЛ/57). В контрольном варианте этот показатель составил 90,0%. Максимальная интенсивность поражения семядолей у константных линий варьировала от 2,5 (КЛ/5) до 51,8% (КЛ/32), в контроле она составила 54,5%.

Результаты исследования позволили выявить три линии с третьим типом реакции, где отмечалось максимальное количество пораженных растений. Четвертый тип реакции на заражение – «восприимчивые» – отмечен у десяти образцов. Интенсивность поражения семядолей в данном случае составила от 10,0 до 29,3%, количество пораженных растений достигло 75,0%. К средне поражаемым отнесено 12 образцов (см. рис. 5). В указанной

¹⁴Markin N.V., Usatov A.V., Vasilenko V.N., Maidanyuk D.N., Getmantseva L.V. SSR analysis of maternal and paternal lines selected in the don region (Russia) // American Journal of Agricultural and Biological Science. 2016. N 11 (1). P. 13–18.

Табл. 3. Результаты заражения самоопыленных линий

Table 3. Results of infection of self-pollinated lines

Селекционный индекс	Доля проростков со спороношением, %	Интенсивность, %	Тип реакции, балл
КЛ/21	40,0 ± 2,0	2,8 ± 0,1	1
КЛ/5	45,0 ± 2,3	2,5 ± 0,1	1
КЛ/6	50,0 ± 2,5	4,0 ± 0,2	1
КЛ/12	50,0 ± 2,5	2,8 ± 0,1	1
КЛ/4	55,0 ± 2,8	3,3 ± 0,2	2
КЛ/18	55,0 ± 2,8	2,8 ± 0,1	2
КЛ/33	55,0 ± 2,8	5,8 ± 0,3	2
КЛ/2	60,0 ± 30,0	4,3 ± 0,2	2
КЛ/23	65,0 ± 3,3	8,3 ± 0,4	2
КЛ/31	65,0 ± 3,3	7,3 ± 0,4	2
КЛ/61	65,0 ± 3,3	5,0 ± 0,3	2
КЛ/3	75,0 ± 3,8	6,0 ± 0,3	2
КЛ/15	75,0 ± 3,8	7,3 ± 0,4	2
КЛ/22	75,0 ± 3,8	9,5 ± 0,5	2
КЛ/26	75,0 ± 3,8	5,0 ± 0,3	2
КЛ/35	75,0 ± 3,8	8,8 ± 0,4	2
КЛ/24	60,0 ± 3,0	14,3 ± 0,7	3
КЛ/25	70,0 ± 3,5	16,3 ± 0,8	3
КЛ/30	70,0 ± 3,5	29,3 ± 1,5	3
КЛ/58	70,0 ± 3,5	10,5 ± 0,5	3
КЛ/60	70,0 ± 3,5	23,3 ± 1,2	3
КЛ/62	70,0 ± 3,5	18,8 ± 0,9	3
КЛ/29	75,0 ± 3,8	15,8 ± 0,8	3
КЛ/34	75,0 ± 3,8	16,0 ± 0,8	3
КЛ/56	75,0 ± 3,8	15,0 ± 0,8	3
КЛ/63	75,0 ± 3,8	10,0 ± 0,5	3
КЛ/59	95,0 ± 4,8	43,8 ± 2,2	4
КЛ/32	100,0 ± 5,0	51,8 ± 2,6	5
КЛ/57	100,0 ± 5,0	37,5 ± 1,9	5
Контроль	90,0 ± 4,5	54,5 ± 2,7	5
НСР _{0,05}	± 3,5	± 0,7	



Рис. 5. Второй тип реакции

Fig. 5. Second type of reaction

группе инфицированными оказались больше половины растений, с небольшим поражением семядолей – от 2,8 до 9,5%.

Среди изучаемых линий как перспективный селекционный материал по степени устойчивости к ЛМР выделены образцы, имеющие небольшое число проростков со слабым поражением (КЛ/5, КЛ/6, КЛ/12, КЛ/21). Эти линии можно охарактеризовать как слабо поражаемые.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило выделить не только исходный селекционный материал для создания новых экспериментальных гибридов, устойчивых к ЛМР, но также слабо поражаемые и устойчивые перспективные гибридные комбинации.

Необходимо отметить, что опыты были проведены в 2020 г., и в настоящее время отобранный на основании учета устойчивости к ЛМР селекционный материал мог ее утратить в силу возникновения в популяции возбудителя более агрессивной расы.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что для повышения устойчивости к ЛМР константных линий и гибридов необходимо продолжать исследования по выявлению устойчивых форм, которые можно использовать в селекции и клеточной биотехнологии. Параллельно следует изучать биологию гриба и его расовый состав в условиях Восточно-Казахстанской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голощапова Н.Н., Гончаров С.В., Самелик Е.Г. Ложная мучнистая роса: заражение, симптомы и устойчивость подсолнечника к возбудителю болезни // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 175 (1). С. 56–68. DOI: 10.21515/1990-4665-175-004.
2. Лукомец В.М., Трунова М.В., Демури Я.Н. Современные тренды селекционно-генетического улучшения сортов и гибридов подсолнечника во ВНИИМК // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25 (4). С. 388–393. DOI: 10.18699/vj21.042.
3. Маслиенко Л.В., Арасланова Н.М. Метод искусственного заражения проростков подсолнечника возбудителем ложной мучнистой росы для определения эффективности лабораторных образцов микробиопрепаратов на основе штаммов-антагонистов // Масличные культуры. 2022. № 3 (191). С. 67–72. DOI: 10.25230/2412-608x-2022-3-191-67-73.
4. Голощапова Н.Н., Гончаров С.В., Савченко В.Д., Ивебор М.В. Создание линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника, устойчивых к наиболее распространенным расам ложной мучнистой росы в Краснодарском крае // Масличные культуры. 2019. № 3 (179). С. 3–10. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-3-179-3-10.
5. Ивебор М.В., Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Саукова С.Л., Путинова Ю.В., Елисеева К.К. Состояние популяции возбудителя ложной мучнистой росы подсолнечника в регионах Российской Федерации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (1). С. 90–97. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.1.90-97.
6. Gilley M.A., Gulya T.J., Seiler G.J., Misar C.G., Markell S.G. Determination of virulence phenotypes of *plasmopara halstedii* in the United States // Plant Disease. 2020. N 104 (11). P. 2823–2831. DOI: 10.1094/pdis-10-19-2063-re.
7. Gontcharov S.V., Korotkova T.S., Goloschapova N.N., Nesmyslenov A.P. Shuttle breeding in sunflower lines development // Helia. 2021. N 44 (75). P. 125–130. DOI: 10.1515/helia-2021-0011.
8. Голощапова Н.Н., Гончаров С.В. Применение термогигрограмм в селекции подсолнечника на горизонтальную устойчивость к возбудителю ложной мучнистой росы // Масличные

культуры. 2020. № 1 (181). С. 21–30. DOI: 10.25230/2412-608x-2020-1-181-21-30.

9. Gontcharov S.V., Goloschapova N.N. Evaluation of horizontal resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to downy mildew (*Plasmopara halstedii*) // Oilseeds and fats, Crops and Lipids. 2021. Vol. 28. P. 1–6. DOI: 10.1051/oel/2021047.
10. Голощапова Н.Н., Гончаров С.В., Самелик Е.Г. Общая и специфическая комбинационная способность родительских линий подсолнечника с разным типом устойчивости к ложной мучнистой росе // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 174. С. 79–91. DOI: 10.21515/1990-4665-174-009.

REFERENCES

1. Goloshchapova N.N., Goncharov S.V., Same-lik E.G. Downy mildew: infection, symptoms and resistance of sunflower to the disease agent. *Nauchniy zhurnal Kubanskogo gosudarstvenno-go agrarnogo universiteta = Scientific Journal of KubSAU*, 2022, no. 175 (1), pp. 56–68. (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-175-004.
2. Lukomets V.M., Trunova M.V., Demurin Ya.N. Modern trends in breeding and genetic improvement of sunflower varieties and hybrids at VNIIMK. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selek-tcii = Vavilov Journal of Genetics and Bree-ding*, 2021, no. 25 (4), pp. 388–393. (In Rus-sian). DOI: 10.18699/vj21.042.
3. Maslienko L.V., Araslanova N.M. Method of artificial inoculation of sunflower seedlings with downy mildew pathogen to determine the effectiveness of laboratory samples of micro-biological preparations based on antagonist strains. *Maslichnie kulturi = Oil Crops*, 2022, no. 3 (191), pp. 67–72. (In Russian). DOI: 10.25230/2412-608x-2022-3-191-67-73.
4. Goloshchapova N.N., Goncharov S.V., Savchenko V.D., Ivebor M.V. Development of sunflower fertility restorer lines with resistant to the prevalent in the Krasnodar region races of downy mildew. *Maslichnie kulturi = Oil Crops*, 2019, no. 3 (179), pp. 3–10. (In Russian). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-3-179-3-10.
5. Ivebor M.V., Antonova T.S., Araslanova N.M., Saukova S.L., Pitinova Yu.V., Eliseeva K.K. The situation in the population of the sunflower downy mildew pathogen in some regions of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vo-*

- stoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*, 2022, no. 23 (1), pp. 90–97. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.1.90-97.
6. Gilley M.A., Gulya T.J., Seiler G.J., Misar C.G., Markell S.G. Determination of virulence phenotypes of *plasmopara halstedii* in the United States. *Plant Disease*, 2020, no. 104 (11), pp. 2823–2831. DOI: 10.1094/pdis-10-19-2063-re.
 7. Gontcharov S.V., Korotkova T.S., Goloschapova N.N., Nesmyslenov A.P. Shuttle breeding in sunflower lines development. *Helia*, 2021, no. 44 (75), pp. 125–130. DOI: 10.1515/helia-2021-0011.
 8. Goloshchapova N.N., Goncharov S.V. Thermogigrogramm application in sunflower breeding for horizontal resistance to downy mildew. *Maslichnie kulturi* = *Oil crops*, 2020, no. 1 (181), pp. 21–30. (In Russian). DOI: 10.25230/2412-608x-2020-1-181-21-30.
 9. Gontcharov S.V., Goloschapova N.N. Evaluation of horizontal resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to downy mildew (*Plasmopara halstedii*). *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 2021, vol. 28, pp. 1–6. DOI: 10.1051/ocl/2021047.
 10. Goloshchapova N.N., Goncharov S.V., Sameilik E.G. General and specific combinational ability of sunflower parental lines with different types of resistance to downy mildew. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Scientific Journal of KubSAU*, 2021, no. 174, pp. 79–91. (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-174-009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Мерк Л.Б.**, заведующая отделом;
адрес для переписки: Казахстан, 070512,
Восточно-Казахстанская область, п. Опыт-
ное Поле, ул. Нагорная, 3; e-mail: ariva8881@
mail.ru

Губарева Н.С., кандидат сельскохозяй-
ственных наук, руководитель филиала

Николаева В.Н., научный сотрудник

Доланбаева Г.Т., научный сотрудник

Дидоренко С.В., кандидат биологических
наук, заведующая лабораторией

AUTHOR INFORMATION

✉ **Larisa B. Merk**, Department Head; **ad-
dress:** 3, Nagornaya St., Opytnoe Pole, East Ka-
zakhstan Region, 070512, Kazakhstan; e-mail:
ariva8881@mail.ru

Natalya S. Gubareva, Candidate of Science
in Agriculture, Branch Manager

Valentina N. Nikolaeva, Researcher

Gulsain T. Dolanbaeva, Researcher

Svetlana V. Didorenko, Candidate of Sci-
ence in Biology, Laboratory Head

Дата поступления статьи / Received by the editors 22.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 06.09.2023
Дата публикации / Published 15.12.2023



НАТАЛИЯ ГРИГОРЬЕВНА ВЛАСЕНКО



Российская академия наук, Сибирское отделение Российской академии наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования понесли тяжелую утрату: 8 октября 2023 г. безвременно ушла из жизни Наталия Григорьевна Власенко, академик Россельхозакадемии, Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный академик Монгольской академии аграрных наук, заслуженный работник Российской Федерации, заслуженный ветеран Сибирского отделения Российской академии наук.

Наталия Григорьевна родилась 4 марта 1955 г. в г. Ставрополе. В 1977 г. окончила Кишиневский государственный университет, с 1977 по 1984 г. работала во Всесоюзном научно-исследовательском институте биологических методов защиты растений (Кишинев) старшим лаборантом, исполняющим обязанности младшего научного сотрудника лаборатории вирусов насекомых, младшим научным сотрудником лаборатории инфекционной патологии вредных организмов. С 1984 по 2023 г. продолжила свою деятельность в СО ВАСХНИЛ/РАСХН, где работала в Сибирском научно-исследовательском институте земледелия и химизации сельского хозяйства и в Сибирском федеральном научном центре агробиотехнологий младшим научным сотрудником лаборатории систем удобрений полевых культур, младшим, затем старшим научным сотрудником лаборатории биометода, руководителем группы по защите рапса, заведующей сектором, заведующей лабораторией агроценологии, заведующей отделом защиты растений, руководителем научно-исследовательского центра по защите растений. С 2016 г. – главный научный сотрудник, заведующая лабораторией защиты растений, с 2022 г. – начальник отдела защиты растений, заведующая лабораторией защиты зерновых и картофеля в СФНЦА РАН.

Академик Н.Г. Власенко – видный российский ученый в области защиты растений. Ее научные исследования посвящены разработке теоретических, методических и технологических основ экологически адаптированных систем защиты сельскохозяйственных культур от вредных патогенов и вредителей. Также она занималась экологической оценкой применения

различных средств интенсификации в технологиях возделывания зерновых культур в условиях Западной Сибири. Наталией Григорьевной разработаны зональные системы защиты яровой пшеницы от вредителей, болезней и сорняков для Западной Сибири. Ею исследованы особенности формирования фитосанитарной ситуации в посевах яровой пшеницы при внедрении системы No-Till; созданы новые препараты для защиты растений на основе местного растительного сырья. Под ее руководством и при непосредственном участии разработана экологически безопасная система защиты ярового рапса, основанная на использовании метода ловчих культур, не имеющая аналогов в России.

Наталией Григорьевной в соавторстве опубликовано 360 научных трудов, из них 20 монографий. Новизна исследований подтверждена восьмью патентами на изобретения. Широкому кругу ученых хорошо известны труды, написанные ею индивидуально и в соавторстве: «Становление и развитие защиты растений в Сибири», «Защита растений: теория и практика», «Экологически безопасная защита капусты белокочанной от вредителей в Якутии», «Сорные растения и борьба с ними при возделывании зерновых культур в Сибири», «Практическая реализация системного подхода в защите растений», «Особенности формирования фитосанитарной ситуации в посевах сортов яровой пшеницы сибирской коллекции», «Фитосанитарная оптимизация посевов ячменя в условиях лесостепи Западной Сибири», «Модель адаптивно-ландшафтного земледелия и агротехнологий (на примере ФГУП «Кремлевское» Коченевского района Новосибирской области)»: методическое пособие, «К вопросу о формировании фитосанитарной ситуации в посевах в системе No-Till», «Зональные системы защиты яровой пшеницы от сорняков, болезней и вредителей в Западной Сибири», «Возможности экологизации технологий в земледелии Сибири», «Экологизация технологий возделывания сельскохозяйственных культур – важный фактор повышения плодородия почв» и др. Работы академика Н.Г. Власенко нашли широкое практическое применение в хозяйствах Новосибирской области, в субъектах Сибирского федерального округа и Российской Федерации.

Наталия Власенко подготовила 4 доктора и 20 кандидатов наук. Она была членом редколлегии журналов «Земледелие», «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки», внешним рецензентом журнала «Кормопроизводство», членом экспертного совета по направлению «Защита растений» секции растениеводства, защиты и биотехнологии растений Отделения сельскохозяйственных наук РАН и Объединенного ученого совета СО РАН по сельскохозяйственным наукам, членом экспертного совета Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ по агрономии и лесному хозяйству, членом попечительского совета Сибирского ботанического сада при Томском государственном университете, экспертом Министерства науки, образования и инновационной деятельности правительства Новосибирской области.

Н.Г. Власенко награждена дипломом качества и золотой медалью Европейской научно-промышленной палаты, медалями «60 лет СО РАН», «80 лет Новосибирской области», медалью им. академика И.И. Синягина. Она отмечена почетными грамотами губернатора Новосибирской области, Министерства образования РФ, РАН, СО РАН, СО РАСХН, СФНЦА РАН.

Научно-практическая сельскохозяйственная общественность Российской Федерации и Сибири, хорошо знавшая научно-практические заслуги Наталии Григорьевны Власенко в области развития АПК, навсегда сохранит о ней светлую память. Она была видным ученым и очаровательной женщиной, способной без показной активности, спокойно и настойчиво решать сложные научные и производственные задачи. Ее уход из жизни – огромная потеря для всех тех, кто знал и работал с ней.

Г.А. Романенко, В.Н. Пармон, Ю.Ф. Лачуга, А.Л. Иванов,
В.И. Кирюшин, М.С. Чекусов, В.С. Бойко

В.В. Альт, Л.В. Будажапов, К.С. Голохваст, Г.П. Гамзиков, А.В. Гончарова,
А.С. Донченко, Н.А. Донченко, Н.М. Иванов, Н.И. Кашеваров, А.А. Малюга, К.Я. Мотовилов,
Ю.А. Новоселов, В.А. Солошенко, Н.А. Сурин, Н.В. Цугленок, А.А. Шпедт

НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ДОНЧЕНКО



17 октября 2023 г. безвременно ушел из жизни Николай Александрович Донченко, руководитель Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН, член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, заслуженный ветеран Сибирского отделения Российской академии наук.

Николай Александрович родился 30 марта 1964 г. в Алма-Ате. После окончания средней школы в 1981 г. поступил в Новосибирский сельскохозяйственный институт на ветеринарный факультет. В студенческие годы активно занимался научными исследованиями и после окончания института в 1986 г. поступил в очную аспирантуру при Всероссийском институте экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко (Москва). В 1991 г. успешно защитил кандидатскую диссертационную работу «Течение туберкулеза крупного рогатого скота у животных, инфицированных микобактериями комплекса *avium-intracellulerae*» и продолжил трудовую деятельность старшим преподавателем кафедры эпизоотологии и микробиологии Новосибирского государственного аграрного университета.

В 1993 г. Николай Александрович начал работать в Институте экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока старшим научным сотрудником в лаборатории туберкулеза сельскохозяйственных животных, которую в качестве заведующего возглавил в 1997 г. В 1998 г. решением президиума СО РАСХН Николай Александрович утвержден в ученом звании старшего научного сотрудника по специальности 16.00.03 – ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология. В 2008 г. он успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук «Усовершенствование средств и методов диагностики и профилактики туберкулеза крупного рогатого скота». В 2019 г. он был избран членом-корреспондентом Российской академии наук. В 2014 г. прошел профессиональную переподготовку в Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации по специализации административно-государственное управление. С 2010 по 2012 г. занимал должность заместителя директора ИЭВСиДВ СО РАН по научной работе, в 2012 г. назначен директором этого института. При образовании СФНЦА РАН с 2016 по 2019 г. совмещал руководство институтом с должностью заместителя директора по научной работе СФНЦА РАН.

Николай Александрович активно и целеустремленно занимался научными исследованиями, которые были посвящены изучению культуральных и генетических свойств микобактерий, созданию научно обоснованных ветеринарных технологий и систем, диагностикумов, химиопрепаратов и аппаратов для диагностики, профилактики и ликвидации туберкулеза сельскохозяйственных животных. С его участием разработан ряд нормативно-технических документов федерального уровня, регламентирующих профилактические и оздоровительные мероприятия при туберкулезе и лейкозе сельскохозяйственных животных. Из числа этих разработок шесть включены в каталоги информационных материалов по научному обеспечению реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК в Сибири».

Николай Александрович внес значительный вклад в разработку теоретических основ систем и технологий, касающихся мероприятий по профилактике и оздоровлению животноводческих хозяйств от туберкулеза, а также в создание систем дифференциальной диагностики неспецифических туберкулиновых реакций при исследовании крупного рогатого скота в благополучных по туберкулезу хозяйствах. Освоение практикой этих и многих других научных разработок позволило предотвратить необоснованный убой реагирующих на туберкулин коров и оздоровить неблагополучные пункты по этому зоонозу в Сибири.

Совместно с учеными ГНЦ ВБ «Вектор» Николай Александрович принимал участие в разработке способов повышения естественной резистентности организма животных с помощью иммуномодуляторов, некоторые из них используются для повышения иммуногенности противотуберкулезной вакцины БЦЖ. Активное освоение ветеринарными специалистами научных разработок Николая Александровича позволило оздоровить от туберкулеза крупного рогатого скота Красноярский, Алтайский края, Новосибирскую, Кемеровскую, Томскую и Тюменскую области.

В качестве директора ИЭВСиДВ СО РАСХН Николай Александрович координировал НИР по ветеринарной медицине в Сибири, вел большую научно-организационную и методическую работу по совершенствованию научно-исследовательской деятельности научных учреждений ветеринарного направления в регионе совместно с научными институтами Министерства сельского хозяйства РФ и Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, а также с ведущими научными центрами ветеринарного и биологического профиля России, Казахстана, Белоруссии, Монголии.

Результаты научно-исследовательских работ Николая Александровича отражены в 250 научных публикациях, в том числе в 6 монографиях и 18 научно-методических рекомендациях. Новизна выполненных им научных работ подтверждена 18 патентами РФ, а также свидетельствами на регистрацию трех компьютерных программ. Под научным руководством Николая Александровича подготовлено и защищено шесть кандидатских диссертаций. Многочисленные научные труды Н.А. Донченко являются значительным вкладом в сельскохозяйственную науку и практику, используются в учебном процессе и научно-исследовательской работе учебных и научно-исследовательских учреждений РФ, стран СНГ, Республики Монголия и Казахстана. Его фундаментальные труды хорошо известны у нас в стране и признаны международным научным сообществом, а их автор известен в России и в странах СНГ как один из ведущих ученых в области ветеринарной фтизиатрии.

Николай Александрович принимал активное участие в общественной жизни РАСХН, СО РАСХН, СФНЦА РАН, являлся экспертом РАН, членом Объединенного ученого совета СО РАН по сельскохозяйственным наукам, членом редколлегии журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки», заместителем и председателем совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, был неоднократно председателем ГАК в высших учебных заведениях ветеринарного профиля, а также членом противоэпизоотической комиссии при губернаторе Новосибирской области.

Николай Александрович занимался преподавательской деятельностью и подготовкой ветеринарных специалистов высшей квалификации в Новосибирском ГАУ, многое сделал для воспитания молодых исследователей, которым он передал свою любовь к науке и постоянное стремление к новым открытиям.

За высокие показатели в организационной и научно-педагогической деятельности Николай Александрович награжден почетными грамотами РАСХН, СО РАСХН, СФНЦА РАН, губернатора Новосибирской области, Законодательного собрания Новосибирской области, Министерства сельского хозяйства Новосибирской области, почетными медалями «За вклад в развитие Новосибирской области», «За достижения в области ветеринарной науки», «За развитие биологической науки и промышленности», медалью им. академика И.И. Синягина.

Николай Александрович посвятил свой жизненный путь служению интересам ветеринарной науки. Внес большой вклад в развитие высшей сельскохозяйственной школы и аграрной науки, всегда подходил творчески к любому порученному ему делу. Глубокие теоретические знания, широта эрудиции, доброжелательность и ответственность были характерными чертами Николая Александровича. Он был безгранично предан своему делу. Его коллеги и друзья навсегда запомнят его неугасающую жизненную энергию, целеустремленность, высокие душевные и этические качества.

Николай Александрович любил жизнь во всех ее проявлениях, был человеком исключительной порядочности, честности, полным созидательных сил и энергии. Скромность и чуткость, высокий творческий потенциал ученого, умение создать вокруг себя доброжелательную атмосферу вызывали к нему глубокое уважение и сейчас усиливают возникшее ощущение непоправимой утраты.

Ветеринарное сообщество России и Сибири, коллеги и друзья Николая Александровича Донченко выражают искренние соболезнования его отцу – академику РАН Александру Семеновичу Донченко – и его матери – кандидату биологических наук Валерии Николаевне Донченко, его родным и близким.

Светлая память о Николае Александровиче сохранится в сердцах его коллег, учеников и всех, кто его знал, а имя его – в ветеринарной науке.

Г.Я. Красников, В.Н. Пармон, Я.П. Лобачевский, Г.А. Романенко, Ю.Ф. Лачуга,
А.М. Смирнов, М.И. Гулюкин, А.И. Клименко, В.М. Лукомец,
А.А. Тулупов, Б.В. Уша, Ю.Н. Федоров, А.Г. Шахов

К.С. Голохваст, А.А. Шпедт, А.А. Гаркуша, С.М. Чекусов

В.В. Альт, Г.П. Гамзиков, Н.П. Гончаров, В.Г. Гугля, Н.И. Кашеваров, В.А. Солошенко, Н.А. Сурин

Л.В. Будажапов, А.В. Гончарова, Н.М. Иванов, Л.И. Инишева, К.Я. Мотовилов, М.А. Ливзан,
Ю.А. Новоселов, Г.И. Рутц, Н.В. Цугленок

А.В. Глотов, Т.И. Глотова, Л.Н. Гордиенко, Е.А. Ефремова, С.В. Ионина,
Н.М. Мандро, В.А. Марченко, Г.П. Протодьяконова, О.А. Рожко,
Ю.И. Смолянинов, Е.Ю. Смертина, Г.М. Стеблева, В.В. Табакаев, А.М. Третьяк, В.Г. Черных,
В.В. Чайка, Н.А. Шкиль, Н.Н. Шкиль, Ю.Г. Юшков, Л.Я. Юшкова

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Правила для авторов составлены на основе этических принципов, общих для членов научного сообщества, и правил публикации в международных и отечественных научных периодических изданиях, а также в соответствии с требованиями ВАК для периодических изданий, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал публикует оригинальные статьи по фундаментальным и прикладным проблемам по направлениям:

- общее земледелие и растениеводство;
- селекция, семеноводство и биотехнология растений;
- агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений;
- кормопроизводство;
- инфекционные болезни и иммунология животных;
- частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства;
- разведение, селекция, генетика и биотехнология животных;
- технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса;
- пищевые системы.

Статья, направляемая в редакцию, должна соответствовать тематическим разделам журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»:

Наименование рубрики	Шифр и наименование научной специальности в соответствии с Номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени
Земледелие и химизация	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Растениеводство и селекция	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
Защита растений	4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Кормопроизводство	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Зоотехния и ветеринария	4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных
Механизация, автоматизация, моделирование и информационное обеспечение	4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса
Переработка сельскохозяйственной продукции	4.3.3. Пищевые системы
Проблемы. Суждения	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
Научные связи	4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
Из истории сельскохозяйственной науки	4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Краткие сообщения	4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных
Из диссертационных работ	4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса 4.3.3. Пищевые системы

В журнале также публикуются обзоры, краткие сообщения, хроника, рецензии, книжные обозрения, материалы по истории сельскохозяйственной науки и деятельности учреждений и ученых.

Число публикаций одного автора в номере журнала не должно превышать двух, при этом вторая статья допустима лишь в соавторстве.

К рассмотрению принимаются материалы от различных категорий исследователей, аспирантов, докторантов, специалистов и экспертов в соответствующих областях знаний.

Все статьи рецензируются и имеют зарегистрированный в системе CrossRef индекс DOI.

Публикации для авторов **бесплатны**.

При направлении статьи в редакцию журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» рекомендуем руководствоваться следующими правилами.

РЕКОМЕНДАЦИИ АВТОРУ ДО ПОДАЧИ СТАТЬИ

Представление статьи в журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» подразумевает, что:

- статья ранее не была опубликована в другом журнале;
- статья не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией текущей версии статьи.

Перед отправкой статьи на рассмотрение необходимо убедиться, что в файле (файлах) содержится вся необходимая информация на русском и английском языках, указаны источники информации, размещенной на рисунках и в таблицах, все ссылки оформлены корректно.

ПОРЯДОК НАПРАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Отправка статьи осуществляется через электронную редакцию на сайте журнала <https://sibvest.elpub.ru/jour/index>. После предварительной регистрации автора в правом верхнем углу страницы выбрать опцию «Отправить рукопись». Затем загрузить рукопись статьи (в формате *.doc или *.docx) и сопроводительные документы к ней. После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи.

Сопроводительные документы к рукописи статьи:

- скан-копия письма от организации с подтверждением авторства и разрешением на публикацию (образец на <http://sibvest.elpub.ru/>);
- скан-копия авторской справки по представленной форме (образец на <http://sibvest.elpub.ru/>), в которой должно быть выражено согласие на открытое опубликование статьи в печатном варианте журнала и его электронной копии в сети Интернет;
- скан-копия рукописи с подписями авторов. Автор, подписывая рукопись и направляя ее в редакцию, тем самым передает авторские права на издание этой статьи СФНЦА РАН;
- анкеты авторов на русском и английском языках (образец на <http://sibvest.elpub.ru/>);
- скан-копия справки из аспирантуры (для очных аспирантов).

2. Все поступающие в редакцию рукописи статей регистрируются через систему электронной редакции. В личном кабинете автора отражается текущий статус рукописи.

3. Нерецензируемые материалы (материалы научной хроники, рецензии, книжные обозрения, материалы по истории сельскохозяйственной науки и деятельности учреждений и ученых) направляются на e-mail: sibvestnik@sfsc.ru и регистрируются ответственным секретарем.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Текст рукописи оформляется шрифтом Times New Roman, кеглем 14 с интервалом 1,5, все поля 2,0 см, нумерация страниц внизу. Объем статьи не более 15 страниц (включая таблицы, иллюстрации и библиографию); статей, размещаемых в рубриках «Из диссертационных работ» и «Краткие сообщения», – не более 7 страниц.

Структура оформления статьи:

1. **УДК**
2. **Заголовок статьи на русском и английском языках (не более 70 знаков).**
3. **Фамилии и инициалы авторов, полное официальное название научного учреждения, в котором проведены исследования, на русском и английском языках.**

Если в подготовке статьи принимали участие авторы из разных учреждений, необходимо указать принадлежность каждого автора к конкретному учреждению с помощью надстрочного индекса.

4. **Реферат на русском и английском языках.** Объем реферата не менее 200–250 слов. Реферат является кратким и последовательным изложением материала статьи по основным разделам и должен отражать основное содержание, следовать логике изложения материала и описания результатов в статье с приведением конкретных данных. Не следует включать впервые введенные термины, аббревиатуры (за исключением общеизвестных), ссылки на литературу. В реферате не следует подчеркивать новизну, актуальность и личный вклад автора; место исследования необходимо указывать до области (края), не упоминать конкретные организации.

5. **Ключевые слова на русском и английском языках.** 5–7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли реферат и название статьи.

6. **Информация о конфликте интересов либо его отсутствии.** Автор обязан уведомить редактора о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в соответствующий раздел статьи. Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом.

Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

7. **Благодарности на русском и английском языках.** В этом разделе указываются все источники финансирования исследования, а также благодарности людям, которые участвовали в работе над статьей, но не являются ее авторами.

8. **Основной текст статьи.** При изложении оригинальных экспериментальных данных рекомендуется использовать подзаголовки:

ВВЕДЕНИЕ (постановка проблемы, цели, задачи исследования)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ (условия, методы (методика) исследований, описание объекта, место и время проведения)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ или **ВЫВОДЫ**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Количество источников не менее 15. В список литературы включаются только рецензируемые источники: статьи из научных журналов и монографии. Самоцитирование не более 10% от общего количества. Библиографический список должен быть оформлен в виде общего списка в порядке упоминания в тексте, желательны ссылки на источники 2–3-летнего срока давности. Правила оформления списка литературы – в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008 (требования и правила составления библиографической ссылки). В тексте ссылка на источник отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на тех языках, на которых она издана. В библиографическое описание публикации необходимо вносить всех авторов, не сокращая их одним, тремя и т.п. Недопустимо сокращение названий статей, журналов, издательств.

Если необходимо сослаться на авторефераты, диссертации, сборники статей, учебники, рекомендации, учебные пособия, ГОСТы, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и прочее, то такую информацию следует оформить в *сноску* в конце страницы. Сноски нумеруются арабскими цифрами, размещаются постранично сквозной нумерацией.

Внимание! Теоретические, обзорные и проблемные статьи могут иметь произвольную структуру, но обязательно должны содержать реферат, ключевые слова, список литературы.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ, REFERENCES И СНОСОК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Монография

Климова Э.В. Полевые культуры Забайкалья: монография. Чита: Поиск, 2001. 392 с.

Часть книги

Холмов В.Г. Минимальная обработка кулисного пара под яровую пшеницу при интенсификации земледелия в южной лесостепи Западной Сибири // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. С. 230–235.

Периодическое издание

Пакуль А.Л., Лапишинов Н.А., Божанова Г.В., Пакуль В.Н. Технологические качества зерна мягкой яровой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 4. С. 27–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4.

REFERENCES:

Составляется в том же порядке, что и русскоязычный вариант, по следующим правилам:

Фамилии И.О. авторов в устоявшемся способе транслитерации, англоязычное название статьи, *транслитерация названия русскоязычного источника (например, через сайт: <https://antropophob.ru/translit-bis/>)* = англоязычное название источника. Далее оформление для монографии: город, англоязычное название издательства, год, количество страниц; для журнала: год, том, номер, страницы. (In Russian).

Пример: Avtor A.A., Avtor B.B., Avtor C.C. Title of article.

Транслитерация авторов. Англоязычное название статьи

Zaglavie jurnala = Title of Journal, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 49–54.

Транслитерация источника = Англоязычное название источника

Монография

Klimova E.V. *Field crops of Zabaikalya*. Chita, Poisk Publ., 2001, 392 p. (In Russian).

Часть книги

Kholmov V.G. Minimum tillage of coulisse-strip fallow for spring wheat with intensification of arable agriculture in southern forest-steppe of Western Siberia. *Resource-saving tillage systems*, Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, pp. 230–235. (In Russian).

Периодическое издание

Pakul A.L., Lapshinov N.A., Bozhanova G.V., Pakul V.N. Technological grain qualities of spring common wheat depending on the system of soil tillage. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, vol. 48, no. 4, pp. 27–35. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4.

СНОСКИ:

Цитируемый текст¹.

¹Климова Э.В., Андреева О.Т., Темникова Г.П. Пути стабилизации кормопроизводства Забайкалья // Проблемы и перспективы совершенствования зональных систем земледелия в современных условиях: материалы науч.-практ. конф. (Чита, 16–17 октября 2008 г.). Чита, 2009. С. 36–39.

Цифровой идентификатор Digital Object Identifier – DOI (когда он есть у цитируемого материала) необходимо указывать в конце библиографической ссылки.

Пример:

Chu T., Starek M.J., Brewer M.J., Murray S.C., Pruter L.S. Assessing lodging severity over an experimental maize (*Zea mays* L.) field using UAS images // *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9. P. 923. DOI: 10.3390/rs9090923.

Наличие DOI статьи следует проверять на сайте <http://search.crossref.org/> или <https://www.citethisforme.com>. Для этого нужно ввести в поисковую строку название статьи на английском языке.

РИСУНКИ, ТАБЛИЦЫ, СКРИНШОТЫ И ФОТОГРАФИИ

Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Все рисунки должны иметь подрисуночные подписи. Подрисуночную подпись необходимо перевести на английский язык. Рисунки нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если рисунок в тексте один, то он не нумеруется. Отсылки на рисунки оформляются следующим образом: «На рис. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. рис. 3)». Подрисуночная подпись включает

порядковый номер рисунка и его название: «Рис. 2. Описание жизненно важных процессов». Перевод подписи следует располагать после подписи на русском языке.

Таблицы должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Предпочтительны таблицы, пригодные для редактирования, а не отсканированные или в виде рисунков. Все таблицы должны иметь заголовки. Название таблицы должно быть переведено на английский язык. Таблицы нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если таблица в тексте одна, то она не нумеруется. Отсылки на таблицы оформляются следующим образом: «В табл. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. табл. 3)». Заголовок таблицы включает порядковый номер таблицы и ее название: «Табл. 2. Описание жизненно важных процессов». Перевод заголовка таблицы следует располагать после заголовка таблицы на русском языке.

Фотографии, скриншоты и другие нерисованные иллюстрации необходимо загружать отдельно в виде файлов формата *.jpeg (*.doc и *.docx – в случае, если на изображение нанесены дополнительные пометки). Разрешение изображения должно быть >300 dpi. Файлам изображений необходимо присвоить название, соответствующее номеру рисунка в тексте. В описании файла следует отдельно привести подписи, которая должна соответствовать названию фотографии, помещаемой в текст.

Следует обратить внимание на написание формул в статье. Во избежание путаницы необходимо греческие (α , β , π и др.), русские (А, а, Б, б и др.) буквы и цифры писать прямым шрифтом, латинские – курсивным (*W*, *Z*, *m*, *n* и др.). Математические знаки и символы нужно писать также прямым шрифтом. Необходимо четко указывать верхние и нижние надстрочные символы (W^1 , F_1 и др.).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЖУРНАЛОМ И АВТОРОМ

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться изложенными выше правилами.

Все поступающие в журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» статьи проходят предварительную проверку на соответствие формальным требованиям. На этом этапе редакция оставляет за собой право:

- принять статью к рассмотрению;
- вернуть статью автору (авторам) на доработку с просьбой устранить ошибки или добавить недостающие данные;
- вернуть статью автору (авторам) без рассмотрения, оформленную не по требованиям журнала;
- отклонить статью из-за несоответствия ее целям журнала, отсутствия оригинальности, малой научной ценности.

Переписка с авторами рукописи ведется через контактное лицо, указанное в рукописи.

Все научные статьи, поступившие в редакцию журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки», проходят обязательное двухстороннее «слепое» рецензирование (double-blind – автор и рецензент не знают друг о друге). Рукописи направляются по профилю научного исследования на рецензию членам редакционной коллегии.

В спорных случаях редактор может привлечь к процессу рецензирования нескольких специалистов, а также главного редактора. При положительном заключении рецензента статья передается редактору для подготовки к печати.

При принятии решения о доработке статьи замечания и комментарии рецензента передаются автору. Автору дается 2 месяца на устранения замечаний. Если в течение этого срока автор не уведомил редакцию о планируемых действиях, статья снимается с очереди публикации.

При принятии решения об отказе в публикации статьи автору отправляется соответствующее решение редакции.

Ответственному (контактному) автору принятой к публикации статьи направляется финальная версия верстки, которую он обязан проверить.

ПОРЯДОК ПЕРЕСМОТРА РЕШЕНИЙ РЕДАКТОРА/РЕЦЕНЗЕНТА

Если автор не согласен с заключением рецензента и/или редактора или отдельными замечаниями, он может оспорить принятое решение. Для этого автору необходимо:

- исправить рукопись статьи согласно обоснованным комментариям рецензентов и редакторов;
- ясно изложить свою позицию по рассматриваемому вопросу.

Редакторы содействуют повторной подаче рукописей, которые потенциально могли бы быть приняты, однако были отклонены из-за необходимости внесения существенных изменений или сбора дополнительных данных, и готовы подробно объяснить, что требуется исправить в рукописи для того, чтобы она была принята к публикации.

ДЕЙСТВИЯ РЕДАКЦИИ В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАГИАТА, ФАБРИКАЦИИ ИЛИ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Редакция научного журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» в своей работе руководствуется традиционными этическими принципами научной периодики и сводом принципов «Кодекса этики научных публикаций», разработанным и утвержденным Комитетом по этике научных публикаций, требуя соблюдения этих правил от всех участников издательского процесса.

ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК И ОТЗЫВ СТАТЬИ

В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, влияющих на ее восприятие, но не искажающих изложенные результаты исследования, они могут быть исправлены путем замены pdf-файла статьи. В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, искажающих результаты исследования, либо в случае плагиата, обнаружения недобросовестного поведения автора (авторов), связанного с фальсификацией и/или фабрикацией данных, статья может быть отозвана. Инициатором отзыва статьи может быть редакция, автор, организация, частное лицо. Отзывная статья помечается знаком «Статья отозвана», на странице статьи размещается информация о причине ее отзыва. Информация об отзыве статьи направляется в базы данных, в которых индексируется журнал.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

Подписку на журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»
(как на годовой комплект, так и на отдельные номера)
можно оформить одним из следующих способов:

**На сайте
АО «Почта России»
подписной индекс
ПМ401**

Зайти в раздел
«Онлайн-сервисы»,
затем – «Подписаться
на газету или журнал»

**В агентстве подписки
ООО «Урал-Пресс»
подписной индекс
014973**

Ссылка на издание
[https://www.ural-press.ru/
search/?q=014973.](https://www.ural-press.ru/search/?q=014973)
В разделе контакты зайти
по ссылке
<http://ural-press.ru/contact/>,
где можно выбрать филиал
по месту жительства

В редакции журнала

тел. 7 (383) 348-37-62
e-mail: sibvestnik@sfzca.ru

Полнотекстовая версия журнала
«Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»
размещена на сайте Научной электронной библиотеки:
<http://www.elibrary.ru>.

THE SCIENTIFIC JOURNAL
SIBERIAN HERALD
OF AGRICULTURAL SCIENCE
SIBIRSKII VESTNIK SEL'SKOKHOZYAISTVENNOI NAUKI

FOUNDERS: SIBERIAN FEDERAL SCIENTIFIC CENTRE OF AGRO-BIOTECHNOLOGIES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ESTABLISHED IN 1971

12 ISSUES PER YEAR

Volume 53, No 11 (300)

DOI: 10.26898



2023
November

Editor-in-Chief – Alexander S. Donchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Head Researcher, Head of Research Group of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Deputy Editor-in-Chief – Tatyana A. Lombanina, Head of the «Agronauka» Publishing House of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Editorial board:

Vladimir V. Azarenko	Dr. Sci. in Engineering, Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. of Belarus, Minsk, Belarus
Victor V. Alt	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Olga S. Afanasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Saint-Petersburg, Russia
Kirill S. Golokhvast	Cor. Mem. of Russ. Acad. Edu., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Olga V. Golub	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Nikolay P. Goncharov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Mikhail I. Gulyukin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Moscow, Russia
Valery N. Delyagin	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Seyed Ali Johari	Associate Professor, PhD, Sanandaj, Iran
Irina M. Donnik	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Nikolay M. Ivanov	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Andrey Yu. Izmailov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Moscow, Russia
Nikolay I. Kashevarov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Valery I. Kiryushin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Sergey N. Mager	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Konstantin Ya. Motovilov	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Oleg K. Motovilov	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Askar M. Nametov	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. Rep. of Kazakhstan, Uralsk, Kazakhstan
Vasil S. Nikolov	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Sofia, Bulgaria
Sergey P. Ozornin	Dr. Sci. in Engineering, Chita, Russia
Valery L. Petukhov	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Revmira I. Polyudina	Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Marina I. Selionova	Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Vladimir A. Soloshenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Nikolay A. Surin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Krasnoyarsk, Russia
Sezai Ercisli	Professor, PhD, Erzurum, Turkey
Seung H. Yang	Professor, PhD, Gwangju, Korea



www.sibvest.elpub.ru

Editors *E.M. Isaevich, E.V. Mosunova, G.N. Yagupova*. Corrector *V.E. Selianina*.
Desktop Publisher *N.U. Borisko*. Translator *M.Sh. Gacenko*.

Certificate PI FS77-64832 issued by the Federal Service for Supervision of Media,
Communications and Information Technologies on February 2, 2016

Publisher: Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Editorial and publisher's address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, 630501, Russia.

Printing house address: room 156, SRI of Fodder Crops building, Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, 630501, Russia.

Tel/fax: +7-383-348-37-62; **e-mail:** sibvestnik@sfscs.ru, vestnik.nsk@ngs.ru; www.sibvest.elpub.ru

© Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, 2023

© Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023