



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

Том 51 № 3 2021

СИБИРСКИЙ ВЕСТНИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

Сибирский вестник СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ SIBERIAN HERALD OF AGRICULTURAL SCIENCE

№ 3
TOM 51



МАЙ • ИЮНЬ 2021



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

6 ISSUES PER YEAR

Volume 51, No 3 (280)

DOI: 10.26898

2021

May – June

Editor-in-Chief is Alexander S. Donchenko Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Head Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
Deputy Editor-in-Chief is Olga N. Zhiteleva, Deputy Head of the Scientific and Organizational Department of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Editorial board:

Viktor 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
Anatoly N. Vlasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Natalia G. Vlasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Nikolay P. Goncharov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Kirill S. Golokhvast	Cor. Mem. of Russ. Acad. Edu, Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Mikhail I. Gulyukin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Moscow, Russia
Valery N. Delyagin	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Irina M. Donnik	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Nikolay A. Donchenko	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Novosibirsk, 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
Vladimir K. Kalichkin	Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Nikolay I. Kashevarov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Sergey N. Mager	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Sergey P. Ozornin	Dr. Sci. in Engineering, Chita, Russia
Valery L. Petukhov	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Revмира I. Polyudina	Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Marina I. Selionova	Dr. Sci. in Biology, Stavropol, 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
Ivan F. Khramtsov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Omsk, Russia
Ivan N. Sharkov	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia

Foreign Members of Editorial Board:

Vladimir V. Azarenko	Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. of Belarus, Dr. Sci. in Engineering, Academician-Secretary of the Department of Agrarian Sciences NASB, Minsk, Belarus
B. Byambaa	Member of the Mongolian Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, President of the Mongolian Acad. of Agricultural Sci., Ulaanbaatar, Mongolia
Askar M. Nametov	Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. Rep. of Kazakhstan, Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Zhanqir khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University, Rector, Astana, Kazakhstan
Vasil Nikolov	Prof., Dr., Chairman of the Agricultural Acad. Rep. of Bulgaria, Sofia, Bulgaria.

Editors *E.V. Mosunova, G.N. Yagupova*. Corrector *V.E. Selianina*. Desktop Publisher *N.U. Borisko*. Translator *E.A. Romanova*
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
Address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District,
Novosibirsk Region, 630501, Russia. Tel/fax: +7-383-348-37-62
e-mail: vestnik.nsk@ngs.ru; www.sibvest.elpub.ru

The journal is meant for scientists and researchers in agriculture.

The "Siberian Herald of Agricultural Science" publishes original articles on fundamental and applied problems in the following areas: general agriculture and crop production, breeding and seed production of agricultural plants, plant protection, fodder production, farm animals nutrition and feed technology, veterinary microbiology, virology, epizootology, mycology with mycotoxicology and immunology, technologies and means of agricultural mechanization, including surveys, original research, brief reports, as well as chronicles, reviews, book reviews, materials on the history of agricultural science and the activities of research institutions and scientists.

The scientific journal "Siberian Herald of Agricultural Science" is included on the Higher Certification Commission (VAK) List of Russian Reviewed Scientific Periodicals issued in the Russian Federation, in which major scientific results of theses for Doctor and Candidate degrees must be published.

The journal is presented in the international database AGRIS, and is included in the catalogue Ulrich's Periodicals Directory, Browker, USA.

The "Siberian Herald of Agricultural Science" is registered in the Russian Science Citation Index (RSCI) on the basis of Web of Science.



www.sibvest.elpub.ru



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 ШЕСТЬ РАЗ В ГОД

Том 51, № 3 (280)

DOI: 10.26898



2021

май – июнь

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

Заместитель главного редактора – Жителева Ольга Николаевна, заместитель начальника научно-организационного отдела Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Редакционная коллегия:

В.В. Альт	академик РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
О.С. Афанасенко	академик РАН, д-р биол. наук, Санкт-Петербург, Россия
А.Н. Власенко	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
Н.Г. Власенко	академик РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
Н.П. Гончаров	академик РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
К.С. Голохваст	член-корреспондент РАО, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
М.И. Гулюкин	академик РАН, д-р с.-х. наук, Москва, Россия
В.Н. Делягин	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
И.М. Донник	академик РАН, д-р биол. наук, Москва, Россия
Н.А. Донченко	член-корреспондент РАН, д-р ветеринар. наук, Новосибирск, Россия
Н.М. Иванов	член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
А.Ю. Измайлов	академик РАН, д-р техн. наук, Москва, Россия
В.К. Каличкин	д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
Н.И. Кашеваров	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
С.Н. Магер	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
С.П. Озорнин	д-р техн. наук, Чита, Россия
В.Л. Петухов	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
Р.И. Полюдина	д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
М.И. Селионова	д-р биол. наук, Ставрополь, 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
И.Ф. Храмцов	академик РАН, д-р с.-х. наук, Омск, Россия
И.Н. Шарков	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия

Иностранные члены редколлегии:

В.В. Азаренко	д-р техн. наук, член-корреспондент НАН Беларуси, академик-секретарь Отделения аграрных наук НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Б. Бямбаа	д-р ветеринар. наук, академик Академии наук Монголии, президент Монгольской академии аграрных наук, Улан-Батор, Монголия
А.М. Наметов	д-р ветеринар. наук, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, ректор Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, Астана, Казахстан
В.С. Николов	д-р ветеринар. наук, председатель Сельскохозяйственной академии Республики Болгария, София, Болгария

Редакторы *Е.В. Мосунова, Г.Н. Ягунова*. Корректор *В.Е. Селянина*. Оператор электронной верстки *Н.Ю. Бориско*. Переводчик *Е.А. Романова*. 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: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СФНЦА РАН, к. 456, а/я 463.
Тел./факс (383)348-37-62 e-mail: vestnik.nsk@ngs.ru; www.sibvest.elpub.ru

Вышел в свет 26.07.2021. Формат 60 × 84^{1/8}. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Печ. л. 15,00.

Уч-изд. л. 14,75. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано в Сибирском федеральном научном центре агrobiотехнологий Российской академии наук

© ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук», 2021

© ФГБУ «Сибирское отделение Российской академии наук», 2021

Журнал для ученых и практиков сельскохозяйственного производства.

«Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» публикует оригинальные статьи по фундаментальным и прикладным проблемам по направлениям: общее земледелие и растениеводство, селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, защита растений, кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов, ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология, технологии и средства механизации сельского хозяйства, в том числе обзоры, оригинальные исследования, краткие сообщения, а также хронику, рецензии, книжные обзоры, материалы по истории сельскохозяйственной науки и деятельности учреждений и ученых.

Научный журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» включен в утвержденный ВАК Перечень периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны публиковаться основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал представлен в международной библиографической базе данных Agriis, включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory» (издательство «Bowker», США).

«Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» входит в Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science.



www.sibvest.elpub.ru





СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ХИМИЗАЦИЯ

AGRICULTURE
AND CHEMICALIZATION

Семендяева Н.В., Морозова А.А., Добротворская Н.И., Елизаров Н.В. Редкоземельные элементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины

5 Semendyaeva N.V., Morozova A.A., Dobrotvorskaya N.I., Elizarov N.V. Rare earth elements in soils of saline agro-landscapes of the Baraba plain

Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Агрофизические и агрохимические свойства темно-серых лесных почв при различных системах основной обработки

15 Perfilyev N.V., Vyushina O.A. Agrophysical and agrochemical properties of dark grey forest soils under different systems of basic tillage

Данилова А.А., Итэсь Ю.В., Колбин С.А. Содержание глифосата в зерне при десикации посевов в Приобье

24 Danilova A.A., Ites Yu.V., Kolbin S.A. Glyphosate residues in grain after desiccation of crops in the Ob Region

РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ

PLANT GROWING AND BREEDING

Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е. Показатель проницаемости клеточных мембран проростков в оценке стрессоустойчивости сортов пшеницы

31 Gurova T.A., Svezhintseva E.A., Chesnochenko N.E. The indicator of cell membrane permeability of wheat seedlings in abnormal stress resistance of wheat varieties

- Виноградова Т.А., Кудряшова Т.А., Козьякова Н.Н.** Эффективность использования биологического потенциала сортов льна-долгунца томской селекции при переработке льнотресты 44
- Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Kozyakova N.N.** Efficiency of using the biological potential of fiber flax varieties of the Tomsk school of breeding in flax straw processing

- Исачкова О.А., Логинова А.О., Егушова Е.А.** Формирование урожайности сортов голозерного овса при различных условиях возделывания 56
- Isachkova O.A., Loginova A.O., Egushova E.A.** Formation of productivity of naked oat varieties under different cultivation conditions

- Марченко Л.А.** Продуктивность земляники садовой и селекционные возможности ее повышения 65
- Marchenko L.A.** Productivity of garden strawberry and breeding possibilities to improve it

*ЖИВОТНОВОДСТВО
И ВЕТЕРИНАРИЯ*

*ANIMAL HUSBANDRY
AND VETERINARY SCIENCE*

- Инербаев Б.О., Храмцова И.А., Инербаева А.Т.** Промышленное скрещивание коров молочного скота с быками мясных пород в Западной Сибири 75
- Inerbaev B.O., Khramtsova I.A., Inerbaeva A.T.** Commercial cross breeding of dairy cattle with beef bulls in Western Siberia

- Шкиль Н.Н., Нefeldова Е.В.** Влияние наночастиц серебра на бактерицидную активность и антибиотикочувствительность *Salmonella enteritidis* 82
- Shkil N.N., Nefedova E.V.** Effect of silver nanoparticles on bactericidal activity and antibiotic sensitivity of *Salmonella enteritidis* 182

- Куликова С.Г., Логинов С.И., Назаренко Ю.С., Калинина Н.С.** Цитогенетические нарушения у молодняка крупного рогатого скота при вакцинации против сальмонеллеза 92
- Kulikova S.G., Loginov S.I., Nazarenko Yu.S., Kalinina N.S.** Cytogenetic abnormalities in young cattle during vaccination against salmonellosis

НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

SCIENTIFIC RELATIONS

- Иванов Н.П., Саттарова Р.С.** Диссоции- **104** **Ivanov N.P., Sattarova R.S.** Dissociated
рованные формы моракселл, выделен- forms of moraxella isolated from the af-
ные из пораженных глаз крупного ро- fected eyes of cattle
гатого скота

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

IN COMMEMORATION OF SCIENTIST

- Николай Александрович Петухов** **114** **Nikolay Alexandrovich Petukhov**





РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ЗАСОЛЕННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

¹Семендяева Н.В., ^{1,2,4}Морозова А.А., ³Добротворская Н.И., ⁴Елизаров Н.В.

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

²Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

³Сибирский государственный университет геосистем и технологий
Новосибирск, Россия

⁴Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

 e-mail: valeri_170886@mail.ru

Изучено валовое содержание редкоземельных элементов в профиле почв катены засоленных агроландшафтов Барабинской равнины в пределах Новосибирской области. Определено валовое содержание циркония, иттрия, скандия, галлия, в том числе лантаноидов – церия, лантана и иттербия. Редкоземельные элементы крайне слабо изучены. В настоящее время влияние их на растения, организмы животных и человека активно исследуют, хотя предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации для них пока не разработаны. Валовое содержание редкоземельных элементов, определяемое в почвах катены, зависит от гранулометрического состава и степени гумусированности почвенных горизонтов. Выявлено, что в изученных почвах они в основном содержатся в количестве кларков земной коры, за исключением лантана в гумусовых горизонтах, где его содержание почти в 1,5 раза (44–48 мг/кг) больше кларка в земной коре (29 мг/кг) и иттербия (в 10 раз больше кларка). По профилю почв отмечено незначительное передвижение редкоземельных элементов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, что свидетельствует о малой подвижности их соединений. В профиле изучаемых почв из группы редкоземельных элементов преобладает цирконий. Его содержание в гумусовых горизонтах почв элювиальных позиций находится в пределах кларка земной коры, колебания по профилю незначительны. В больших количествах содержится иттербий – от 1,89 до 4,05 мг/кг почвы, что значительно больше кларка земной коры (0,3 мг/кг почвы). Роль лантаноидов в системе почва – растения – животное – человек требует дальнейшего глубокого изучения.

Ключевые слова: Барабинская равнина, засоленные агроландшафты, катена, редкоземельные элементы, лантаноиды

RARE EARTH ELEMENTS IN SOILS OF SALINE AGROLANDSCAPES OF THE BARABA PLAIN

¹Semendyaeva N.V., ^{1,2,4}Morozova A.A., ³Dobrotvorskaya N.I., ⁴Elizarov N.V.

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

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²*Novosibirsk State Agrarian University*

Novosibirsk, Russia

³*Siberian State University of Geosystems and Technology*

Novosibirsk, Russia

⁴*Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences*

Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: valeri_170886@mail.ru

The total content of rare earth elements in the soil profile of saline agricultural landscapes catena of the Baraba plain within Novosibirsk region was studied. The total content of zirconium, yttrium, scandium, gallium, including lanthanides – cerium, lanthanum and ytterbium was determined. Rare earth elements are extremely poorly analyzed. At present, their influence on plants, organisms of animals and humans is being actively studied, although the maximum permissible and tentatively permissible concentrations for them have not yet been developed. The total content of rare earth elements, determined in the soils of the catena, depends on the granulometric composition and the degree of humus content of the soil horizons. It was revealed that in the studied soils they are mainly contained in the number of clarkes of the earth's crust, with the exception of lanthanum in the humus horizons, where its content is almost 1.5 times (44–48 mg/kg) higher than the clarkes in the earth's crust (29 mg/kg), and ytterbium (10 times higher than the clarkes). Along the soil profile, an insignificant movement of rare earth elements in both vertical and horizontal directions was noted, which indicates a low mobility of their compounds. Zirconium predominates in the profile of the studied soils from the group of rare earth elements. Its content in the humus horizons of soils of eluvial positions is within the clarkes of the earth's crust; variations along the profile are insignificant. Ytterbium is contained in large quantities – from 1.89 to 4.05 mg/kg of soil, which is significantly higher than the clarkes of the earth's crust (0.3 mg/kg of soil). The role of lanthanides in the soil – plant – animal – human system requires further in-depth study.

Keywords: Baraba plain, saline agricultural landscapes, catena, rare earth elements, lanthanides.

Благодарность

Работа выполнена по государственному заданию СФНЦА РАН и ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и при поддержке гранта РФФИ № 19-316-90035.

Acknowledgments

The work was carried out by the SFSCA RAS and ISSA SB RAS following the state order with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and with the support of RFBR grant № 19-316-90035.

Для цитирования: Семендяева Н.В., Морозова А.А., Доброворская Н.И., Елизаров Н.В. Редкоземельные элементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-1>

For citation: Semendyaeva N.V., Morozova A.A., Dobrotvorskaya N.I., Elizarov N.V. Rare earth elements in soils of saline agrolandscapes of the Baraba plain. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи со сложной экологической ситуацией как в целом в России, так и в Западной Сибири, особое внимание при изучении свойств агроландшафтов стали уделять их микроэлементному составу. Важно знать не только его среднее со-

держание для той или иной территории, но и более подробное для каждого агроландшафта. Полученные данные необходимы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия: научно обоснованных систем обработки, севооборотов, удобрений и др. Главная цель научно обоснованных систем земледелия – получение высоких и стабиль-

ных урожаев сельскохозяйственных культур экологически чистых и высокого качества. Это возможно лишь при глубоком знании элементного химического состава почв и почвообразующих пород. Химический состав почв напрямую определяется составом почвообразующих пород, в которых, в свою очередь, сохраняется состав исходных горных пород, что подробно рассмотрено в работах В.Б. Ильина, А.И. Сысо [1, 2]. Для почвенного покрова Новосибирской области характерна большая пестрота валового содержания микроэлементов (тяжелых металлов), которая унаследована от почвообразующих пород. В процессе почвообразования происходит их некоторое перераспределение по почвенному профилю, элементам рельефа и проявляется биогенная аккумуляция в гумусовых горизонтах. Установлено, что основные носители тяжелых металлов – илистые частицы, гумусовые вещества и гидрооксиды [2].

Как утверждал А.П. Виноградов, «...все химические элементы земной коры, в том числе и почв, могут оказаться необходимыми или полезными для растений и живых организмов. В природе не может быть токсичных элементов, есть их токсичные концентрации»¹.

В настоящее время определенная часть микроэлементов в почвах достаточно глубоко изучена. Разработаны нормативы их опасности для разных территорий, предельно допустимые концентрации, ориентировочно допустимые и др. Однако появились приборы, позволяющие определить более точно большой ряд микроэлементов. Значение некоторых из них для жизни растений, животных и человека пока не установлено, но само постоянное наличие в растениях свидетельствует об их значимости.

В процессе изучения микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины методом атомно-эмиссионной спектроскопии определено содержание 37 макро- и микроэлементов.

В данной статье рассмотрено валовое содержание редкоземельных элементов (РЗЭ), значение которых в настоящее время для растений и живых организмов мало изучено.

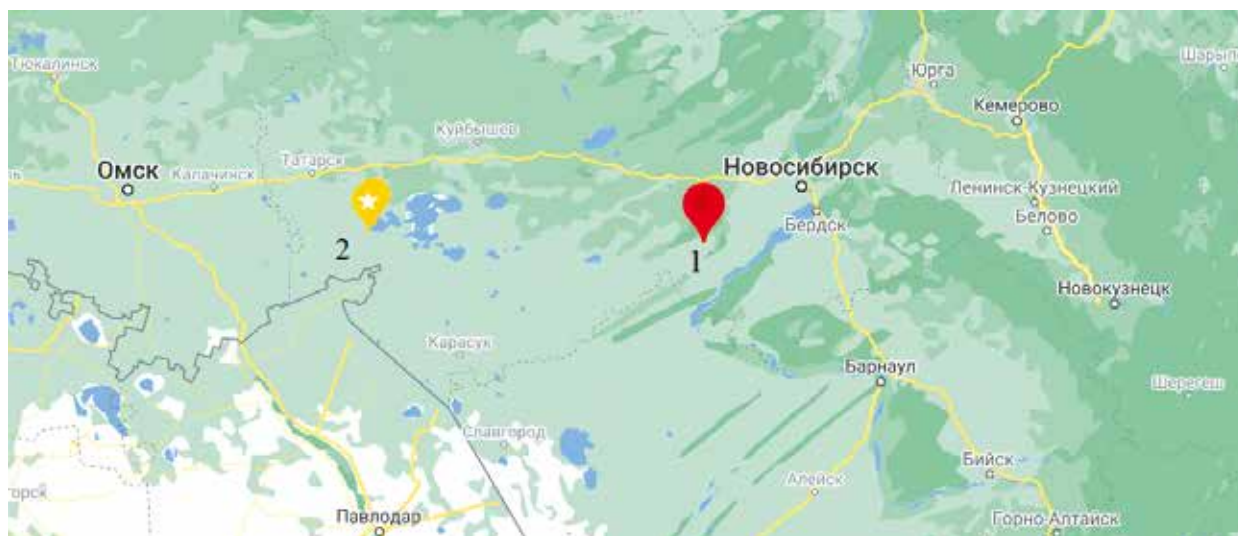
Цель исследования – изучить валовое содержание редкоземельных элементов в профиле почв катены засоленных агроландшафтов Барабинской равнины в пределах Новосибирской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в двух ключевых участках Барабинской равнины: в широкой долине р. Карасук и в бассейне оз. Чаны. Первый участок расположен в Чулымском районе Новосибирской области вблизи с. Большеникольское. В засоленном агроландшафте по катене заложили три почвенных разреза. На элювиальной позиции мезорельефа (пологая грива) расположен разрез № 1. Координаты – 54°31'28,9" с.ш. и 81°29'45,3" в.д., высота над уровнем моря 203,3 м. Почва – лугово-черноземная обыкновенная выщелоченная среднесуглинистая. В транзитной зоне выкопан разрез № 2. Координаты – 54°35'14,5" с.ш. и 81°29'45,3" в.д. Почва – черноземно-луговая солончаковая супесчаная, в которой на глубине 72 см четко выделяется профиль погребенной почвы с горизонтами $A_{\text{погр}}$ и $B_{\text{погр}}$. В аккумулятивной зоне заложили разрез № 3. Координаты – 54°35'37,4" с.ш. и 81°29'11,5" в.д., высота над уровнем моря 229 м. Почва – солонец луговой глубокий солончаковатый тяжелосуглинистый (см. рисунок).

Второй участок расположен на обсыхающем Юдинском плесе оз. Чаны. По катене заложили два разреза. В элювиальной позиции разрез № 40 выкопан на вершинной части гривы на высоте 120 м над уровнем моря. Координаты – 54°74'58,98" с.ш. и 76°06'94,00" в.д. Почва – лугово-черноземная обыкновенная слабоосолодевшая среднесуглинистая. В аккумулятивной зоне в геохимическом подчинении заложили разрез № 20. Координаты – 54°78'11,33" с.ш. и 76°83'95,28" в.д., абсо-

¹Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Издательство АН СССР, 1952. С. 7–20.



Географическое расположение объектов исследования
Geographic location of research objects

лютная отметка над уровнем моря 103 м. Грива резким уступом переходит к полого-наклонной поверхности высохшего дна Юдинского плеса. Грунтовая вода обнаружена на глубине 60 см. Почва – лугово-болотная солончакковая тяжелосуглинистая (см. рисунок).

Выполнено морфологическое описание профилей почв и взяты почвенные образцы по генетическим горизонтам. В них проведены анализы по общепринятым методикам: гранулометрический состав по Качинскому, поглощенные основания – по Шоллербергеру, гумус – по Тюрину, pH – потенциметрически². Микроэлементы определяли на двух-струйном атомно-эмиссионном плазмотроне (ДАЭП) методом атомной спектроскопии в лаборатории биогеохимии почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах катен засоленных агроландшафтов изучено валовое содержание семи редко определяемых микроэлементов – циркония (Zr), иттрия (Y), скандия (Sc) и галлия (Ga), в том числе лантаноидов – церия (Ce), лантана (La) и иттербия (Yb). Поскольку они проявляют схожие свойства,

их объединили в одну группу редкоземельных элементов. Такое название связано с тем, что эти элементы, как считают, редко встречаются и сильно разбросаны их концентрации как внутри земной коры, так и в почвах. Однако глубокие исследования последних лет показали, что РЗЭ не являются редкими. По суммарной распространенности они превосходят свинец в 10 раз, молибден в 50 раз [5].

В последнем десятилетии редкоземельные элементы стали использовать в различных отраслях производства, соответственно увеличилось их поступление в окружающую среду. Влияние РЗЭ на растения и организмы животных и человека в настоящее время активно изучается.

Как показали наши исследования, в почвах обеих катен из группы РЗЭ преобладает цирконий (см. табл. 1, 2). Его содержание в гумусовых горизонтах почв элювиальных позиций катен составляет 179–200 мг/кг сухой почвы. Вниз по профилю колебания незначительны, но его количество несколько меньше – около 170 мг/кг почвы, что соответствует кларку данного элемента в земной коре³.

²Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Издательство МГУ. 2001. 687 с.

³Алексеев В.А. Экологическая геохимия: учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.

Табл. 1. Содержание редкоземельных микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов первой катены**Table 1.** The content of rare earth trace elements in the soils of saline agricultural landscapes of the first catena

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, см	Микроэлемент (тяжелый металл), мг/кг сухой почвы						
		Zr	Y	Sc	Ga	Ce	La	Yb
Элювиальная, Р, № 1, лугово-черноземная средне- мощная среднесуглинистая	A _{пах} 0–18	200	29,9	14,9	10,6	68,7	31,4	3,01
	A ₁ 18–45	270	41,6	18,4	10,3	92,5	44,9	4,05
	AB 45–65	198	32,4	17,8	15,7	94,7	41,4	3,38
	B 65–85	254	42,9	20,8	12,4	87,5	48,6	4,29
	B _к 85–135	215	36,1	18,0	10,5	77,7	42,4	3,52
Транзитная, Р, № 2, черноземно-луговая слабо- солончаковая тяжелосуглини- стая	A _д 0–10	208	20,7	10,3	11,7	43,8	28,2	1,94
	A ₁ 10–24	129	15,1	10,8	8,75	80,4	33,5	2,08
	AB _q 24–43	174	13,5	9,09	7,25	14,0	22,6	1,59
	B _q 43–72	113	15,5	9,38	5,67	54,2	24,7	1,83
	A _{пог} 72–90	222	28,6	14,6	11,1	61,0	37,5	2,98
	B _к 90–130	135	15,2	11,2	8,85	66,3	32,5	1,91
Аккумулятивная, Р, № 3, солонец глубокий луговой солончаковатый тяжелосу- глинистый	A _{пах} 0–20	276	19,4	12,2	8,39	69,3	29,7	2,18
	B ₁ 25–35	126	19,3	10,6	9,11	51,3	22,8	1,89
	B _{2q} 35–50	149	24,6	11,7	9,8	60,8	26,7	2,36
	B _{3q} 50–68	168	31,2	13,2	10,1	84,7	35,6	3,25
	B _{4q} 68–80	195	28,9	14,9	8,17	71,0	32,3	2,82
Кларк элемента в земной коре [5]		170	20	10	19	70	29	0,3

Табл. 2. Содержание редко определяемых микроэлементов в почвах засоленных агроландшафтов второй катены**Table 2.** The content of rarely detected trace elements in the soils of saline agricultural landscapes of the second catena

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, см	Микроэлемент (тяжелый металл), мг/кг сухой почвы						
		Zr	Y	Sc	Ga	Ce	La	Yb
Элювиальная, Р, 40, лугово-черноземная осолодевшая супесчаная	A ₁ 3–18	193,0	26,2	12,1	8,87	50,2	30,4	2,62
	A ₁ 18–30	224,0	26,9	11,4	9,93	39,7	24,8	2,72
	AB 35–45	177,0	19,1	8,4	8,41	38,7	23,3	1,86
	B _{са} 61–93	178,0	24,5	16,9	8,65	58,2	34,1	2,28
	C _{са} 90–100	178,0	25,5	11,9	8,62	52,5	29,5	2,41
Аккумулятивная, Р, № 20 лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая	A _q 0–7	179,0	21,3	24,1	14,9	69,6	49,0	3,57
	A _{1q} 10–20	171,0	30,7	21,0	13,0	59,4	39,3	3,37
	B _q 40–50	136,0	24,9	17,4	12,3	46,6	25,5	2,68
	G 65–75	174,0	31,5	22,8	12,0	55,6	39,4	3,34
Кларк элемента в земной коре [5]		170	20	10	19	70	29	0,3

В транзитной позиции первой катены в профиле черноземно-луговой почвы на глубине 72–90 см четко выделяется горизонт А погребенной почвы, в котором содержание циркония высокое – 222 мг/кг. В аккумулятивной позиции наибольшее количество циркония обнаружено в гумусовом горизонте солонца глубокого – 276 мг/кг, вниз по профилю оно снижается. Известно, что цирконий относится к малоподвижным элементам, в пределах ландшафта не образует водорастворимых соединений, слабо мигрирует с органическими комплексами [3, 4]. По нашему мнению, некоторое его накопление в гумусовом горизонте почв в аккумулятивной зоне связано с эрозионными процессами передвижения глинистых фракций с верхних позиций катены в нижние водными потоками. Во второй катене в профилях изу-

чаемых почв обнаружено примерно такое же содержание циркония.

Валовое содержание иттрия в профилях почв изучаемых катен также близко кларку данного химического элемента в земной коре. В первой катене на элювиальной позиции в лугово-черноземной почве количество иттрия несколько больше, чем во второй, за счет более тяжелого гранулометрического состава (см. табл. 3). В.В. Иванов отмечал, что надежных почвенных кларков иттрия нет, поскольку «почвы редко анализируются на иттрий». Он считает, что иттрий находится в глинистой фракции почв, где его среднее содержание составляет 33 мг/кг, в песчаных и карбонатных почвах – соответственно 18 и 8 мг/кг сухой почвы [5]. Данный вывод соответствует выводам других исследователей [1, 2], в том числе и нашим.

Табл. 3. Физико-химические свойства почв катены

Table 3. Physical and chemical properties of catena soils

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Горизонт, см	Физико-химические свойства		
		pH	Гумус, %	Физическая глина, частицы < 0,01 мм, %
Элювиальная, Р, № 1, лугово-черноземная среднемошная среднесуглинистая	A _{пах} 0–18	6,6	9,7	36,5
	A ₁ 18–45	6,6	7,7	31,1
	AB 45–65	6,3	1,3	53,5
	B 65–85	6,7	Не опр.	53,9
	B _к 85–135	8,4	» »	56,3
Транзитная, Р, № 2, черноземно-луговая слабосолодевая тяжелосуглинистая	A _d 0–10	7,9	10,8	14,0
	A ₁ 10–24	8,2	4,5	8,8
	AB _q 24–43	8,3	1,0	21,4
	B _q 43–72	8,4	0,6	22,6
	A _{пог} 72–90	8,9	0,9	53,3
	B _к 90–130	9,1	0,6	56,1
	A _{пах} 0–20	9,8	5,2	60,6
Аккумулятивная, Р, № 3, солонец глубокий луговой солончаковатый тяжелосуглинистый	B ₁ 25–35	10,1	2,6	60,2
	B _{2q} 35–50	10,2	0,9	41,2
	B _{3q} 50–68	10,0	Не опр.	41,2
	B _{4q} 68–80	10,0	» »	54,6
	A ₁ 3–18	6,8	5,7	14,8
Элювиальная, Р, № 40, лугово-черноземная осолодевая супесчаная	A ₁ 18–30	7,1	4,5	14,1
	AB 35–45	7,3	1,1	36,1
	B _{са} 61–93	8,9	0,5	29,4
	C _{Ca} 90–100	9,0	0,2	26,9
	A _q 0–7	8,9	5,9	72,2
Аккумулятивная, Р, № 20, лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая	A _{1q} 10–20	9,0	2,8	88,1
	B _q 40–50	8,6	2,8	66,1
	G 65–75	8,9	2,5	51,1

Скандий – типичный рассеянный литофильный элемент. Ввиду очень слабой концентрации в земной коре его геохимия слабо изучена, хотя он имеет довольно высокий кларк – 10 мг/кг. Это выше, чем у олова, и почти такой же, как у свинца. В последнем десятилетии установлено, что содержание скандия в почвах зависит от его содержания в материнской породе. Наименьшая его концентрация характерна для песчаников и легких почв, в тяжелых и глинистых почвах содержание скандия значительно выше [6].

Следует отметить, что в почвах обеих катен содержание скандия равно кларку или несколько выше. В первой катене его больше в профиле лугово-черноземной среднесуглинистой почвы элювиальной позиции, во второй – в лугово-болотной солончаковой тяжелосуглинистой аккумулятивной позиции. По профилю колебания содержания скандия не столь существенны, что свидетельствует о слабом передвижении его соединений.

Среднее содержание данного элемента в растениях суши составляет 0,008 мг/кг сухой массы⁴, в овощах – 0,005 мг/кг, в траве – 0,07, тогда как в корнях ячменя – 0,63 мг/кг. Содержание скандия в старых листьях выше, чем в молодых [7]. Биологическая роль скандия и его миграция по биологическим цепям изучена очень слабо. В настоящее время установлено, что скандий, как и другие РЗЭ, не является необходимым химическим элементом для жизни растений, животных и человека, тем более он не является «минералом смерти» – сильнодействующим ядом [8, 9].

Валовое содержание галлия в профиле почв катены практически в 2,0–2,5 раза ниже, чем его величина кларка в земной коре – 19 мг/кг. По профилю колебания его незначительны. В почвах первой катены количество галлия больше в лугово-черноземной среднесуглинистой почве элювиальной позиции, чем в лугово-черноземной осолоделой супесчаной второй катены (см. табл. 1). В ак-

кумулятивной позиции обнаружена обратная зависимость содержания галлия в почвах, что связано как с гранулометрическим составом, так и с местоположением разрезов по рельефу. Содержание галлия, вероятно, зависит от содержания гумуса: с уменьшением гумуса в горизонтах А почв его количество снижается. В погребенном горизонте А почвы оно примерно такое же, как и в верхнем горизонте А (см. табл. 1).

Валовое содержание церия, кларк которого равен 70 мг/кг (см. сноску 3), в профиле почв второй катены значительно меньше, чем в профиле почв первой, что, вероятно, связано с их более легким гранулометрическим составом по генетическим горизонтам и содержанием церия в материнской породе.

В гумусовом горизонте черноземно-луговой почвы транзитной зоны его несколько меньше, чем в элювиальной и аккумулятивной. О роли церия в жизни растений, животных и человека мало данных, но в последнее время появились исследования по изучению его влияния на элементный состав и развитие растений⁵.

Валовое содержание лантана примерно одинаковое в почвах обеих катен и оно находится в пределах кларка земной коры – 29 мг/кг почвы (см. табл. 1, 2). Выделяется лишь профиль лугово-черноземной почвы элювиальной позиции в первой катене, где валовое содержание лантана по профилю находится в количестве выше кларка – от 41,4 до 48,6 мг/кг, тогда как в профиле почв транзитной и аккумулятивной позиции его несколько меньше – от 22,6 до 37,5 мг/кг. Большое внимание данному элементу уделено Ю.Н. Водяницким [10]. Установлено, что лантан в микродозах оказывает стимулирующие действие на растения, в высоких – депрессивное [11, 12].

Установлено, что валовое содержание иттербия в профиле почв катен в засоленных агроландшафтах Барабы значительно превышает кларк в земной коре. Кларк иттербия –

⁴Scandium. it's Occurrence, Chemistry, Physics, Metallurgy and Technology. London, New York, Krancisco: Acad. Press, 1975. 598 p.

⁵Котельникова А.Д., Волков Д.С., Фастовец И.А., Рогова О.Б. Влияние церия на элементный состав растений ячменя при внесении в дерново-подзолистую почву // Почвоведение: Горизонты будущего: материалы III Междунар. конф. (Почвенный институт им. Докучаева). М., 2019.

0,3 мг/кг, а в почвах катены его содержится от 1,6 до 4,3 мг/кг почвы. Наибольшее его количество в лугово-черноземной почве первой катены, наименьшее – здесь же в транзитной зоне, что напрямую связано с гранулометрическим составом. Следует отметить, что растения способны сопротивляться аккумуляции РЗЭ. Они блокируют их перенос в организм человека и не накапливаются в нем.

Статистическая обработка материала. Для выполнения статистической обработки рассмотрим физико-химические свойства почв катен, представленные в табл. 3. Гранулометрический состав почв в первой катене меняется по профилю в элювиальной позиции от среднесуглинистого до тяжелосуглинистого, в транзитной – от супесчаного в горизонте А до тяжелосуглинистого в нижних горизонтах. Содержание гумуса в изучаемых почвах довольно высокое в верхних горизонтах (9,7–10,8%). Вниз по профи-

лю оно резко падает. Величина рН в почвах нарастает от элювиальной позиции к аккумулятивной.

В почвах второй катены в элювиальной позиции гранулометрический состав почв в горизонте А супесчаный, книзу утяжеляется до легкосуглинистого. В аккумулятивной позиции он сильно утяжеляется до тяжелосуглинистого. Почвы второй катены менее гумусированы, чем первой. Величина рН в почвах элювиальной позиции в верхних горизонтах нейтральная, с глубиной становится щелочной. В аккумулятивной – во всем профиле сохраняется щелочная среда.

Статистическую обработку результатов исследований выполняли в пакете прикладной статистики стандартных программ Excel. В частности, выполнен корреляционный анализ между содержанием редкоземельных элементов в почвах с гранулометрическим составом, гумусом и рН (см. табл. 4).

Табл. 4 Коэффициенты корреляции между распределением редкоземельных элементов по профилю и физико-химическими свойствами почв

Table 4. Coefficients of correlation between distribution of rare earth elements along the profile and the physical and chemical properties of soils

Геоморфологическая позиция, № разреза, почва	Физико-химические свойства	Микроэлемент						
		Zr	Y	Sc	Ga	Ce	La	Yb
Элювиальная, Р, № 1, лугово-черноземная среднемощная среднесуглинистая	Физическая глина	–0,34	0,01	0,45	0,51	0,12	0,37	0,08
	Гумус	0,32	0,10	–0,55	–0,96	–0,73	–0,47	–0,06
	рН	–0,10	0,05	0,05	–0,48	–0,42	0,08	–0,06
Транзитная, Р, № 2, черноземно-луговая слабоосолодевая тяжелосуглинистая	Физическая глина	0,20	0,43	0,66	0,20	0,18	0,52	0,51
	Гумус	0,37	0,14	–0,15	0,61	–0,01	–0,03	–0,10
	рН	–0,09	0,22	0,56	–0,05	0,32	0,50	0,41
Аккумулятивная, Р, № 3, солонец глубокий луговой солончаковатый тяжелосуглинистый	Физическая глина	0,39	–0,70	–0,17	–0,81	–0,46	–0,42	–0,64
	Гумус	0,85	–0,79	0,41	–0,99	0,57	0,53	–0,27
	рН	–0,93	0,19	–0,22	0,46	–0,46	–0,42	–0,06
Элювиальная, Р, № 40, лугово-черноземная осолодевая супесчаная	Физическая глина	–0,78	–0,85	–0,11	–0,78	0,05	–0,06	–0,95
	Гумус	0,68	0,49	–0,17	0,57	–0,32	–0,17	0,68
	рН	–0,49	0,04	0,58	–0,34	0,70	0,58	–0,21
Аккумулятивная, Р, № 20, лугово-болотная солончаковая тяжелосуглинистая	Физическая глина	0,09	–0,10	0,32	0,43	0,32	0,16	–0,09
	Гумус	0,43	–0,82	0,81	0,96	0,81	0,70	0,58
	рН	0,61	0,82	0,22	–0,21	0,22	0,34	0,37

Определенные закономерности между содержанием редкоземельных элементов, гранулометрическим составом, гумусом и рН проявляются слабо, хотя можно отметить, что в почвах элювиальных позиций эта взаимосвязь отсутствует. Лишь между цирконием и иттербием, гранулометрическим составом и гумусом установлена тесная обратная связь. В аккумулятивной позиции между церием, лантаном, иттрием, иттербием, скандием и гумусом также установлена тесная обратная связь.

ВЫВОДЫ

1. Редкоземельные элементы цирконий, иттрий, скандий, галлий, в том числе лантаноиды – церий, лантан, иттербий в настоящее время мало изучены, не установлено их значение в жизни растений, животных и человека. Однако постоянное нахождение редкоземельных элементов в химическом составе растений свидетельствует об их необходимости.

2. Редкоземельные элементы обнаружены во всех почвах изучаемых засоленных агроландшафтов. Их содержание определяется содержанием в материнской породе, зависит от гранулометрического состава и количества органического вещества в гумусовых горизонтах.

3. В почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины редкоземельные элементы, в том числе и лантаноиды, в основном находятся в количествах кларков земной коры, за исключением лантана в гумусовом горизонте (1,5 раза больше величины кларка) и иттербия (до 10 раз выше кларка). По профилю почв наблюдается некоторое изменение в содержании редкоземельных элементов. Однако эти изменения незначительны, что свидетельствует о слабом передвижении соединений РЗЭ как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Но-

восибирской области: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2001. 229 с.

2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012. 220 с.
3. Жукова Л.А., Гуламова Н.В., Глебова И.В. Основные закономерности кинетики сорбции ионов циркония серыми лесными почвами Центрального Черноземья // Известия ТСХА. 2008. Вып. 2. С. 25–31.
4. Жукова Л.А. Распределение тяжелых металлов в природных гетерогенных системах // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2008. № 4. С. 14–17.
5. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: монография. М.: Экология, 1997. Кн. 6. 606 с.
6. Янин Е.В. Скандий в окружающей среде (распространенность, техногенные источники, вторичные ресурсы) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2007. № 8. С. 70–80.
7. Золин В.Ф., Корнеева Л.Г. Редкометалльный зонд в химии и биологии: монография. М.: Наука, 1980. 350 с.
8. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов: монография; пер. с англ. / Ф.Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер и др. М.: Мир, 1993. 368 с.
9. Эмили Дж. Элементы: монография; пер. с англ. М.: Мир, 1993. 256 с.
10. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах: монография. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2009. 95 с.
11. Tyler Y. Rare earth elements in soil and plant systems – A review // Plant and Soil. 2004 a. Vol. 267. P. 191–206.
12. Tyler Y. Vertical distribution of minor, minor and rare elements in Haplic Podzol // Ceoderma. 2004 b. Vol. 119. P. 277–290.

REFERENCES

1. Ilyin V.B., Syso A.I. *Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region*. Novosibirsk, CO RAN Publ., 2001, 229 p. (In Russian).
2. Ilyin V.B. *Heavy metals and non-metals in the soil – plant system*. Novosibirsk, CO RAN Publ., 2012, 220 p. (In Russian).

3. Zhukova L.A., Gulamova N.V., Glebova I.V. Main laws of zirconium ions kinetics sorption in gray forest soils. *Izvestiya TSKhA = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2008, issue 2, p. 25–31. (In Russian).
4. Zhukova L.A. Distribution of heavy metals in natural heterogeneous systems. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*, 2008, no. 4, pp. 14–17. (In Russian).
5. Ivanov V.V. *Ecological geochemistry of elements*. Moscow, Ecology, 1997, book 6, 606 p. (In Russian).
6. Yanin E.V. Scandium in the environment (prevalence, technogenic sources, secondary resources). *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov = Problems of the Environment and Natural Resources*, 2007, no. 8, pp. 70–80. (In Russian).
7. Zolin V.F., Korneeva L.G. *Rare metal probe in chemistry and biology*. Moscow, Nauka Publ., 1980, 350 p. (In Russian).
8. *Some questions of the toxicity of metal ions*. Trans. from English. Moscow, Mir Publ., 1993, 368 p. (In Russian).
9. Emily J. *Elements*. Trans. from English. Moscow, Mir Publ., 1993, 256 p. (In Russian).
10. Vodyanitskiy Yu.N. *Heavy and superheavy metals and metalloids in contaminated soils*. Moscow, Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva = V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2009, 95 p.
11. Tyler Y. Rare earth elements in soil and plant systems – A review. *Plant and Soil*, 2004 a, vol. 267, pp. 191–206.
12. Tyler Y. Vertical distribution of minor, minor and rare elements in Haplic Podzol. *Ceoderm*, 2004 b, vol. 119, pp. 277–290.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Семендяева Н.В., главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор; e-mail: semendyaeva@ngs.ru

✉ **Морозова А.А.**, аспирантка, инженер-аналитик; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: valeri_170886@mail.ru

Добровотворская Н.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор; e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

Елизаров Н.В., кандидат биологических наук, научный сотрудник; e-mail: elizarov_89@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Nina V. Semendyaeva, Head Researcher, Doctor of Science in Agriculture, Professor; e-mail: semendyaeva@ngs.ru

✉ **Anna A. Morozova**, postgraduate student, analytical engineer; address: PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: valeri_170886@mail.ru

Nadezhda I. Dobrotvorskaya, Doctor of Science in Agriculture, Professor; e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

Nikolay V. Elizarov, Candidate of Science in Biology, Researcher; e-mail: elizarov_89@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 05.02.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 26.05.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕМНО-СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

✉ Перфильев Н.В., Вьюшина О.А.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
Тюмень, Россия

✉ e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

Определено влияние продолжительного использования различных систем основной обработки темно-серой лесной почвы на агрофизические свойства, питательный режим и урожайность зерновых в зернопаровых севооборотах. Исследования проведены в условиях Северного Зауралья в стационарном опыте в 1996–2018 гг. Изучены традиционная отвальная и ресурсосберегающие системы основной обработки почвы. Опыт проходил в течение 3–6-й ротации двух зернопаровых севооборотов, развернутых во времени и в пространстве: чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – яровая вика – яровой ячмень; чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – яровая пшеница – яровой ячмень. При возделывании зерновой культуры, завершающей зернопаровой севооборот, в четвертом поле после пара по зернобобовому предшественнику (яровой вике) целесообразно применение систем основной обработки почвы с элементами минимизации. К ним относятся безотвальная и комбинированная системы с безотвальным рыхлением плугом со стойками СибИМЭ на 20–22 см; дифференцированная с плоскорезной обработкой на 12–14 см и дискование на 10–12 см. Изучаемые системы обработки обеспечивали близкие отвальной системе условия водного режима, сложения почвы и пищевого режима. Сформирована практически равная отвальной системе урожайность ячменя: на фоне естественного плодородия – 2,97–3,03 т/га, с применением $N_{40}P_{40}K_{40}$ – 3,47–3,65 т/га. Применение систем обработки с элементами минимизации в зернопаровом севообороте без наличия зернобобовой культуры под данную культуру по повторной зерновой культуре (пшенице) приводило к следующим результатам. Обеспеченность продуктивной влагой в слое почвы 0–1,0 м снизилась на 8,6–28,0%, значительно ухудшился пищевой режим, в особенности азотный (на 15,5–43,8%) и фосфорный (на 39,1–51,1%), с отрицательной дифференциацией плодородия почвенного профиля, урожайность зерна снизилась на 0,09–0,40 т/га.

Ключевые слова: система основной обработки, севооборот, предшественник, элементы плодородия, яровой ячмень, урожайность, эффективность производства

AGROPHYSICAL AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF DARK GREY FOREST SOILS UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF BASIC TILLAGE

✉ Perfiliev N.V., Vyushina O.A.

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

✉ e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

The effect of long-term use of different systems of basic tillage of dark grey forest soils on the agrophysical properties, nutrient regime and yield of grain crops in grain-fallow crop rotations was determined. The study was carried out in the conditions of the Northern Trans-Urals in a stationary experiment in 1996–2018. The traditional moldboard and resource-saving systems of basic tillage were studied. The experiment took place during the third–sixth rotations of two grain-fallow crop rotations spread in time and space: bare fallow – winter rye – spring wheat – spring vetch – spring barley; bare fallow – winter rye – spring wheat – spring wheat – spring barley. When cultivating a grain crop that completes a grain-fallow crop rotation, in the fourth field after the fallow with a legume forecrop (spring vetch), it is advisable to use systems of basic tillage with elements of minimization. These include non-moldboard and combined tillage with subsurface loosening by

a plow with SibIME tines to a depth of 20–22 cm differentiated with stubble-mulch at 12–14 cm and disk harrowing at 10–12 cm. The studied tillage systems ensured the conditions of the water regime, soil composition and nutritional regime close to the moldboard tillage system. The yield of barley almost equal to the moldboard system was formed: against the background of natural land fertility – 2.97–3.03 t/ha, with the use of $N_{40}P_{40}P_{40}$ – 3.47–3.65 t/ha. Application of tillage systems with minimization elements in a grain-fallow crop rotation without planting a leguminous crop with a given crop for a repeated grain crop (wheat) led to the following results. Productive moisture availability in the soil layer 0–1.0 m decreased by 8.6–28.0%, the nutrient regime worsened significantly, especially nitrogen (by 15.5–43.8%) and phosphorus (by 39.1–51.1%), with the negative differentiation of soil fertility, and reduction of grain yield by 0.09–0.40 t/ha.

Keywords: system of basic tillage, crop rotation, forecrop, fertility elements, spring barley, yield, production efficiency.

Для цитирования: Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Агрофизические и агрохимические свойства темно-серых лесных почв при различных системах основной обработки // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 15–23. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-2>

For citation: Perfilyev N.V., Vyushina O.A. Agrophysical and agrochemical properties of dark grey forest soils under different systems of basic tillage. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2021. T. 51. № 3. P. 15–23. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В Северном Зауралье, как и в других регионах страны, в полеводстве при основной обработке все шире применяют энергетически менее затратные, чем вспашка, приемы обработки с использованием безотвальной, плоскорезной обработки и дискования. Это вызвано причинами экономического порядка, возможностью увеличения производительности и снижения затрат на топливо. Однако научные исследования по данной тематике в регионе и за рубежом не дают однозначного ответа о влиянии различных по интенсивности технологий на элементы плодородия почв, а также об их сравнительной эффективности в сравнении с традиционной вспашкой [1–3]. При этом важно установить особенности влияния систем обработки на плодородие почвы при возделывании зерновых в севооборотах с различными по биологии предшественниками [4–6].

Цель исследования – определить влияние продолжительного использования различных систем основной обработки темно-серой лесной почвы в условиях Северного Зауралья на агрофизические свойства, пи-

тательный режим и урожайность при возделывании зерновой культуры по зерновому (яровая пшеница) и зернобобовому (вика на зерно) предшественникам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в 1996–2018 гг. в стационарном опыте Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра СО РАН. Опыт проходил в период 3–6-й ротаций двух зернопаровых севооборотов, развернутых во времени и в пространстве: чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – зернобобовые (яровая вика на зерно) – яровой ячмень; чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – яровая пшеница – яровой ячмень. Наблюдения и учеты проведены в поле ячменя. Изучаемые системы обработки почвы представлены в табл. 1. Приемы основной обработки выполняли после уборки культур.

Предпосевная обработка по всем изучаемым системам основной обработки заключалась в ранневесеннем бороновании зубowymi боронами БЗСС-1,0 в четыре следа,

Табл. 1. Системы обработки почвы

Table 1. Soil tillage systems

Система обработки почвы	Способы обработки почвы после уборки культуры				
	Пар	Озимая рожь	Пшеница	Зернобобовые / пшеница	Ячмень
Отвальная	Вспашка плугом Лемкен на глубину 20–22 см				
Безотвальная	Рыхление стойками СибИМЭ на глубину 20–22 см				
Комбинированная	Лемкен на 20–22 см	Стойки СибИМЭ на 20–22 см	Лемкен на 20–22 см	Стойки СибИМЭ на 20–22 см	Лемкен на 20–22 см
Дифференцированная	Культиватор Смарагд на 12–14 см	Культиватор Смарагд на 12–14 см	Лемкен на 20–22 см	БДТ-2,5 на 10–12 см	БДТ-2,5 на 10–12 см
Плоскорезная	Культивация Смарагд на 12–14 см				
Поверхностная	Дискование БДТ-2,5 на 10–12 см				

предпосевной культивации культиватором Смарагд-6 на глубину заделки семян. Посев проведен сеялкой СЗП-3,6. Минеральные удобрения (на фоне с удобрениями) вносили перед предпосевной культивацией нормой $N_{40}P_{40}K_{40}$ кг д.в. на 1 га севооборотной площади. Для уничтожения сорняков применяли гербициды на всех изучаемых вариантах.

Площадь делянок (5,5–6,0 × 63 м) 346–378 м², учетная – 100 м². В годы исследований по условиям влагообеспеченности вегетационного периода 74% лет были близкими к средним, 26% – недостаточно обеспеченными осадками. Техника закладки и проведение опыта и статистическая обработка полученных данных проведены по методике Б.А. Доспехова¹ с использованием компьютерных программ О.Д. Сорокина². Определение агрофизических свойств почвы осуществляли по методике Н.А. Качинского³. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом в каждом 10-сантиметровом слое до глубины 0–100 см. Запасы продуктивной влаги рассчитывали с учетом плотности сложения и влажности завядания для каждого 10-сантиметрового слоя. Полученные данные объединяли по слоям 0–30 и 0–100 см. Химический анализ почвенных образцов выполнен по общепринятым методам⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях неустойчивого увлажнения Северного Зауралья урожайность, а также возможность эффективного применения средств интенсификации (интенсивных сортов, удобрений, средств защиты, биостимуляторов) в значительной степени определяются наличием влаги в почве. Потребность в ее максимальном накоплении и сохранении обусловлена неблагоприятным балансом между поступлением и расходом влаги, особенно в начальный период вегетации [7, 8].

Одна из главных практических мер воздействия на наиболее рациональное использование имеющихся ресурсов влаги – обработка почвы [9]. В наших исследованиях в период посева – всходов зерновых запасы влаги слоя почвы 0–100 см оценивались как удовлетворительные – 90–125 мм (60–83% от НВ), в слое почвы 0–30 см – 32,0–35,7 мм (52–58% от НВ).

Наиболее стабильно высокие запасы влаги в этот период в посевах зерновой культуры (ячменя), завершающей севооборот по зернобобовой культуре и по повторной пшенице, обеспечивала вспашка (96,8–125,0 мм) и безотвальное рыхление плугом со стойками конструкции СибИМЭ (93,0–122,4 мм) на глубину 20–22 см. При использовании зернобобовой культуры в качестве предше-

¹Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

²Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.

³Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965. 318 с.

⁴Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ, 1970. 478 с.

ственников ресурсосберегающие системы обработки (безотвальная, комбинированная с использованием стоек СиБИМЭ) обеспечили запасы влаги в метровом слое в период посева – всходов ячменя, близкие варианту вспашки. Снижение запасов влаги по мелким обработкам (плоскорезной обработке культиватором Смарагд на глубину 12–14 см и по дискованию БДТ-2,5 на глубину 10–12 см) по сравнению с вариантом вспашки составило 4,2–7,1 мм, или 4,3–7,7% по отношению к контролю (см. рис. 1).

При размещении завершающей севооборот зерновой культуры (ячменя) по повторной зерновой культуре (пшенице) отмечено увеличение отрицательного воздействия ресурсосберегающих систем и способов обработки на запасы влаги в сравнении со вспашкой. Так, по ежегодной безотвальной обработке на глубину 20–22 см снижение запасов влаги в метровом слое почвы по отношению к варианту вспашки достигало 10,3 мм, или 8,2% по отношению к нему, по плоскорезной обработке – 8,6%, по дискованию – 28%. В слое почвы 0–30 см все изучаемые системы обработки по обоим предшественникам

обеспечивали равные условия увлажнения. Лучшие условия влагообеспеченности по глубоким отвальным и безотвальным обработкам объясняются тем, что по системам с преимущественно мелкими обработками происходило более значительное, чем по глубоким, уплотнение слоя почвы 0–20 см (на 0,03–0,04 г/см³), в слое 10–30 см – на 0,03–0,07 г/см³ [10], что ухудшало по этим обработкам условия для усвоения влаги из осадков. Кроме того, в большинстве лет проведения исследований обеспеченность осадками была близкой к среднегодовой, почва в период обработки имела хорошее увлажнение. Запасы влаги перед проведением обработки составляли 80 мм и более. По данным исследователей, в этих условиях у глубоких обработок имеются преимущества по влагонакоплению по сравнению с мелкими обработками⁵ [11]. Увеличение отрицательного воздействия мелких обработок на накопление влаги в посевах ячменя по повторной пшенице в сравнении с посевами по зерновому предшественнику (повторной пшенице) объясняется более коротким послеуборочным периодом.

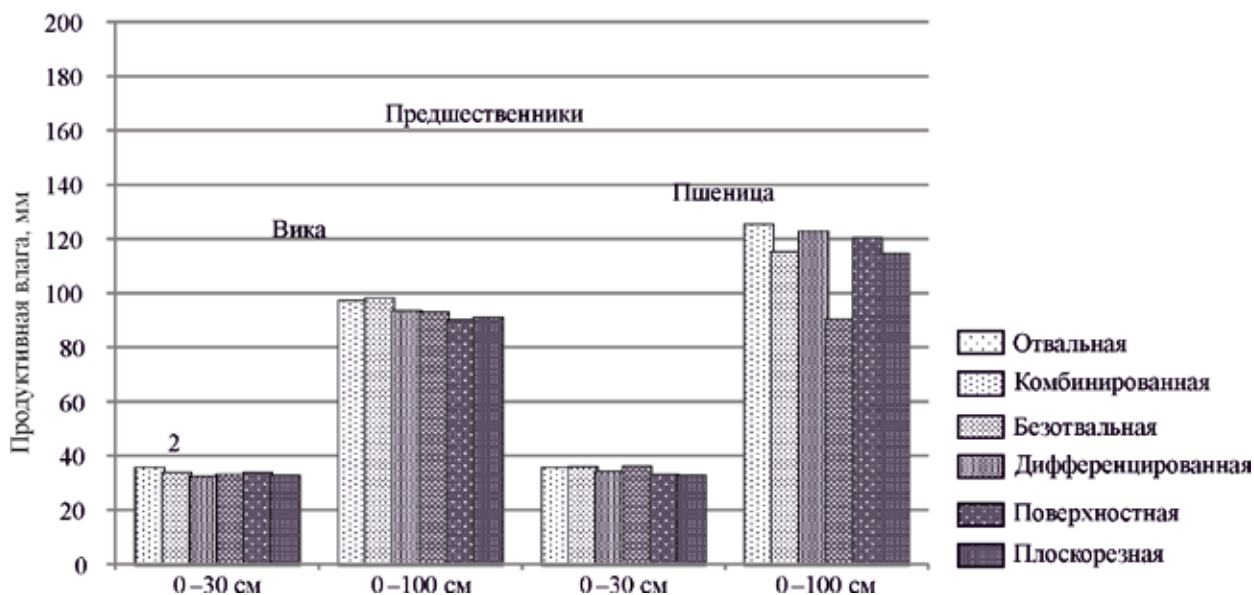


Рис. 1. Влияние основной обработки почвы на влагообеспеченность зерновых в период посев – всходы

Fig. 1. Effect of basic tillage on moisture availability of grain crops during sowing – sprouting period

⁵Моценко Ю.Б. Совершенствование элементов системы земледелия при выращивании яровой пшеницы на черноземах степной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск, 1990. 32 с.

Почвы опытного участка по сложности обладают не вполне благоприятными свойствами. Равновесная плотность их ($1,36\text{--}1,41\text{ г/см}^3$) далека от оптимальной ($1,00\text{--}1,25\text{ г/см}^3$) [12]. В связи с этим важно оценить эффективность систем обработки почвы и способов обработки в изучаемых системах на формирование режима сложности почвы.

Наши данные свидетельствуют о том, что плотность пахотного слоя почвы независимо от способа обработки и предшественника была близкой к верхнему пределу оптимальных значений ($1,00\text{--}1,25\text{ г/см}^3$) для зерновой культуры (см. рис. 2) [13, 14].

Отмечено повышение плотности почвы на $0,03\text{ г/см}^3$ по обработке дискованием БДТ-2,5 на 10–12 см при дифференцированной системе по зернобобовому предшественнику, по повторной зерновой культуре – на $0,04\text{ г/см}^3$ в сравнении с вариантом отвальной системы обработки.

О важности влияния систем основной обработки на особенности формирования питательного режима и необходимости изучения его применительно к зональным и почвенным условиям отмечено многими учеными [15, 16]. Нашими исследования-

ми по питательному режиму установлено также значительное влияние обработки почвы и предшественника на обеспеченность пахотного и подпахотного слоев почвы доступными элементами питания (см. табл. 2). Выявлено, что возделывание зерновых в зернопаровом севообороте с присутствием зернобобовой культуры на фоне внесения удобрений $N_{40}P_{40}K_{40}$ обеспечивает благоприятные условия питательного режима в поле, замыкающем севооборот. Наоборот, в четвертом поле зерновой культуры после пара в севообороте без зернобобовой культуры содержание нитратного азота уменьшилось в пахотном слое в сравнении с полем с зернобобовым предшественником на $15,5\text{--}43,8\%$, P_2O_5 на $39,1\text{--}52,1$, K_2O на $15,1\text{--}26,4\%$. Это объясняется различными по выносу питательных элементов зернобобовой и яровой колосовой культурами, частичной компенсацией выноса азота зернобобовой культурой за счет симбиотической азотофиксации и более продолжительным периодом нитрификации в послеуборочный период.

По обоим предшественникам лучшие условия питания как в пахотном слое $0\text{--}0,2\text{ м}$, так и в слое $0,2\text{--}0,4\text{ м}$, складывались при отвальной системе обработки, чему способ-

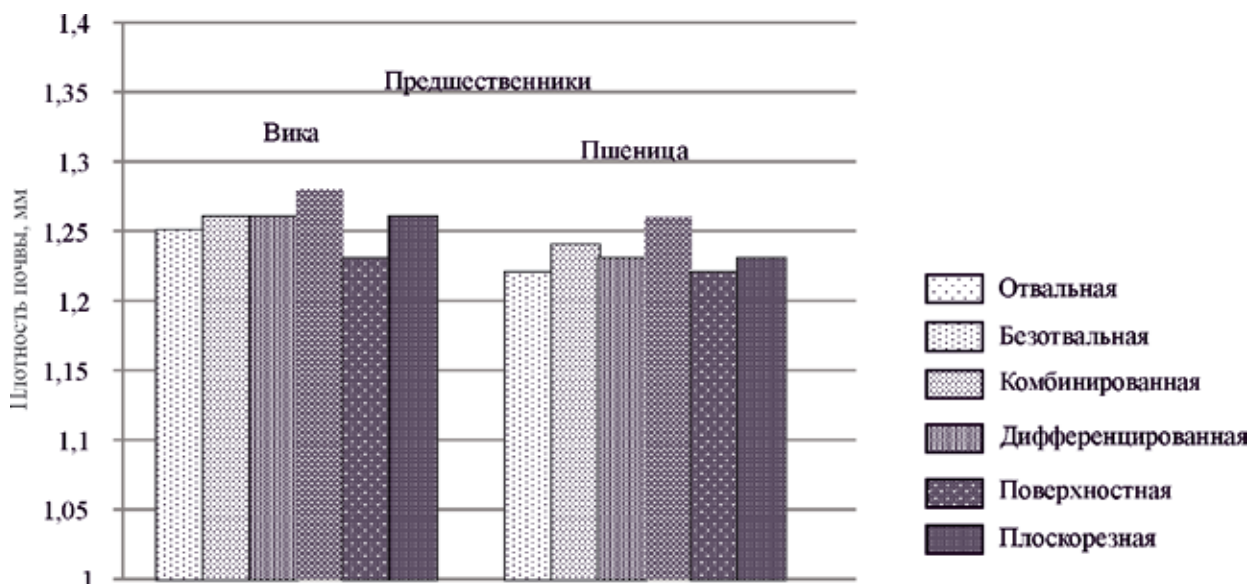


Рис. 2. Плотность пахотного ($0\text{--}0,2\text{ м}$) слоя почвы в период посев – всходы в среднем за 3–6 ротаций севооборотов

Fig. 2. Density of arable ($0\text{--}0.2\text{ м}$) soil layer, in the period of sowing – sprouting on average 3–6 crop rotations

Табл. 2. Содержание питательных элементов в почве перед посевом зерновых (в среднем за 3–6 ротаций севооборотов)

Table 2. Nutrient content before sowing of grain crops (on average for 3–6 crop rotations)

Система обработки почвы	Предшественник	N–NO ₃ , мг/кг почвы		P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы		K ₂ O, мг/100 г почвы	
		Горизонт почвы 0–0,2 м					
		0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
Отвальная	Вика	8,84	6,26	28,10	17,26	22,85	16,00
	Пшеница	6,51	5,21	15,60	9,00	17,20	11,80
Безотвальная	Вика	7,78	4,35	25,26	8,81	22,55	14,70
	Пшеница	5,13	4,46	13,20	5,60	16,60	11,10
Комбинированная	Вика	6,24	4,15	25,30	11,09	21,25	14,90
	Пшеница	5,27	4,29	15,40	6,40	17,75	10,80
Дифференцированная	Вика	6,24	4,60	26,08	10,08	20,55	13,60
	Пшеница	3,78	3,55	12,50	5,20	16,80	11,30
Поверхностная	Вика	6,88	5,07	25,70	9,96	20,35	13,70
	Пшеница	5,25	3,87	15,40	6,60	15,67	9,81
Плоскорезная	Вика	7,58	4,87	25,70	8,50	18,95	13,20
	Пшеница	4,26	3,30	13,70	6,60	16,08	11,58
НСР ₀₅	По вике	0,96	0,93	1,95	1,56	1,40	1,15
Частных эффектов	По пшенице	0,84	0,81	1,12	0,87	1,00	0,73

ствовали лучшие условия агрофизических свойств почвы. Продолжительное применение обработки без оборота пласта, систем обработки с преимущественно мелкими обработками привело к снижению содержания N–NO₃ в пахотном слое на 12–42%, P₂O₅ на 7,1–19,9, K₂O на 6,5–17,1%, которое усиливалось в посевах по повторной зерновой культуре.

Общая дифференциация плодородия пахотного и подпахотного слоев почвы по всем изучаемым системам обработки показала следующее. Произошло снижение содержания питательных элементов в слое почвы 0,2–0,4 м по отношению к слою 0–0,2 м: N–NO₃ на 13,1–44,1%, P₂O₅ на 38,6–66,9 и K₂O на 28,0–39,2%. Наиболее высокая отрицательная дифференциация отмечена в содержании P₂O₅, причем она была наименьшей по отвальной системе обработки – 38,6–42,3%, тогда как по ресурсосберегающим системам – 51,8–66,9%.

Анализ влияния изучаемых систем обработки почвы на урожайность культур показал, что в зернопаровом севообороте при размещении по зернобобовой культуре ресурсосберегающие системы обработки обеспечивали практически равную отвальной

системе обработки урожайность ячменя. На фоне естественного плодородия она составила 2,57–3,03 т/га, с применением удобрений – 3,47–3,65 т/га (см. рис. 3).

После зернобобового предшественника по отвальной и ресурсосберегающим системам обработки складывались благоприятные условия агрофизических свойств, пищевого режима и в особенности азотного питания по зернобобовой культуре: азот в почве пополнялся как за счет текущей нитрификации благодаря более длительному послеуборочному периоду, так и за счет симбиотической фиксации азота воздуха. В связи с этим по ним получены показатели экономической и энергетической эффективности, близкие варианту отвальной системы обработки. Различия по чистому доходу между отвальной и ресурсосберегающими системами обработки не превышали на фоне без применения удобрений 0,6–3,7%, с удобрениями – 2,6–6,0%.

Самая высокая эффективность отмечена по отвальной системе обработки: чистый доход составил 14,67 тыс. р./га на фоне без удобрений и 22,75 тыс. р./га на фоне их применения; энергетический коэффициент 2,65 и 2,75 соответственно [17].

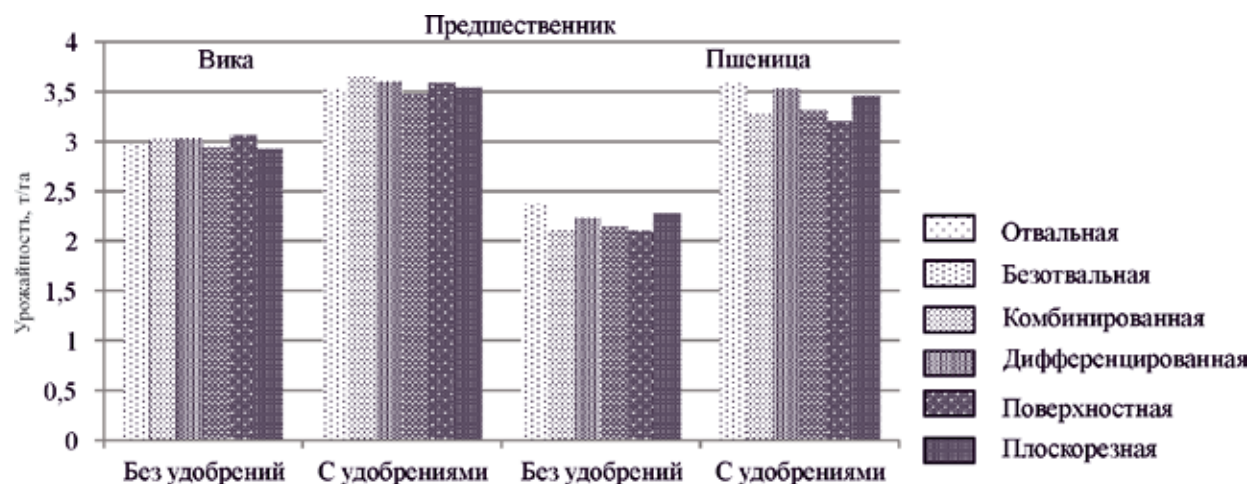


Рис. 3. Урожайность ячменя в среднем за 3–6 ротаций севооборотов

Fig. 3. Barley yield on average for 3–6 crop rotations

В севообороте без присутствия зернобобовой культуры, где ячмень возделывали по повторной пшенице, произошло достоверное снижение его урожайности по ресурсосберегающим системам обработки: на фоне естественного плодородия на 0,09–0,27 т/га (на 3,8–11,4%), с применением удобрений на 0,07–0,40 т/га (на 2,0–11,1%). Это привело к снижению чистого дохода при возделывании ячменя в сравнении с зернобобовым предшественником на 31–44,1% [17]. Данное снижение обусловлено снижением содержания нитратного азота, подвижного фосфора и калия в почве по безотвальным и мелким обработкам, в особенности в севообороте без наличия зернобобовой культуры. В этом случае при возделывании ячменя по повторной пшенице отмечено устойчивое преимущество отвальной системы, которое объясняется более благоприятными условиями обеспечения влагой, сложения почвы и содержания питательных элементов.

ВЫВОДЫ

1. На темно-серых лесных почвах северной лесостепи Северного Зауралья в зернопаровом севообороте при возделывании зерновой культуры – четвертой культуры после пара по зернобобовому предшественнику (яровой вике) – рекомендуется применение систем основной обработки с элемен-

тами минимизации – безотвальной и комбинированной с безотвальным рыхлением плугом со стойками СиБИМЭ на 20–22 см, дифференцированной с плоскорезной обработкой на 12–14 см и дискованием на 10–12 см. Данные системы обработки после зернобобовых под ячмень обеспечили близкие отвальной системе условия водного режима, сложения почвы, пищевого режима, формирование практически равной отвальной системе обработки урожайности: на фоне естественного плодородия – 2,97–3,03 т/га, с применением $N_{40}P_{40}P_{40}$ – 3,47–3,65 т/га, а также экономической эффективности.

2. Применение ресурсосберегающих систем обработки в зернопаровом севообороте без зернобобовой культуры под зерновую культуру по повторной пшенице приводило к снижению запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на 8,6–28,0%, значительному ухудшению пищевого режима, в особенности азотного (на 15,5–43,8%) и фосфорного (на 39,1–51,1%), с отрицательной дифференциацией плодородия почвенного профиля, снижению урожайности зерна ячменя на 0,09–0,40 т/га, уменьшению чистого дохода на 31–44%.

3. Для повышения потенциала почвенного плодородия и урожайности зерновых колосовых культур, завершающих звено севооборота по отвальной и по ресурсосбе-

регающим системам основной обработки, целесообразно размещение и посев их по зернобобовому предшественнику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Götze P., Rücknagel J., Holzweißig B., Steinz M., Christen O., Jacobs A., Märlander B., Koch H.-J. Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in central Germany // *European Journal of Agronomy*. 2016. Vol. 76. P. 198–207.
2. Едимицев Ю.Ф. Оптимизация и экологизация зональной системы обработки почвы в Красноярском крае // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2017. № 7. С. 16–23.
3. Belenkov A., Mazirov M., Arefieva V. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // *Eurasian Journal Soil Science*. 2018. N 7 (4). P. 300–307. DOI: 10.18393/ejss.448593.
4. Gülser F., Salem S., Gülser C. Changes in some soil properties of wheat fields under conventional and reduced tillage systems in Northern Iraq // *Eurasian Journal Soil Science*. 2020. N 9 (4). P. 314–320. DOI: 10.18393/ejss.780120.
5. Соловиченко В.Д., Воронин А.Н., Никитин В.В., Новальнева Е.В. Продуктивность ячменя в зависимости от вида севооборота, способа обработки почвы и удобрений // *Земледелие*. 2017. № 7. С. 29–31.
6. Галеев Р.Ф., Шаикова О.Н. Продуктивность кормовых севооборотов и их влияние на плодородие чернозема выщелоченного // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 50. № 5. С. 28–37. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-5-3.
7. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Элементы плодородия и продуктивность пашни в зависимости от обработки почвы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 50. № 1. С. 5–12. DOI:10.26898/0370-8799-2020-1-1.
8. Гилев С.Д., Цимбаленко И.Н., Курлов А.П., Бастрычкина О.С. Водный режим выщелоченного чернозема и водопотребление зерновых культур в центральной лесостепной зоне Зауралья // *Аграрный вестник Урала*. 2015. № 5 (135). С. 6–9.
9. Nabayi A., Girei A., Abubakar M. Physical and hydraulic properties of soils under a long-term tillage practices in Hadejia Local Government Area, Jigawa State, Nigeria // *Eurasian Journal Soil Science*. 2019. N 8 (3). P. 267–274. DOI: 10.18393/ejss.573914.

10. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Параметры темно-серой лесной почвы при длительном применении различных систем основной обработки // *Земледелие*. 2016. № 2. С. 23–25.
11. Вразнов А.В., Агеев А.А. Совершенствование адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Челябинской области // *Земледелие*. 2009. № 7. С. 3–5.
12. Конищев А.А., Гарифуллин И.И., Конищева Е.Н. О методике использования характеристики «оптимальная плотность» в исследованиях по обработке почвы // *Владимирский земледелец*. 2019. № 1 (87). С. 16–20. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10048.
13. Конищев А.А., Перфильев Н.В., Гарифуллин И.И. Исследование взаимосвязи «оптимальной плотности» с влажностью почвы и урожайностью ячменя // *Агрофизика*. 2019. № 2. С. 25–31. DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.04.
14. Юшкевич Л.В., Хамова О.Ф., Щитов А.Г., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В. Агроэкологические особенности возделывания ячменя в лесостепи Западной Сибири // *Плодородие*. 2019. № 4 (109). С. 42–46. DOI:10.25680/S19948603.2019.109.14.
15. Шевченко Н.В. Изменение элементов плодородия чернозема типичного в зависимости от способов основной обработки почвы // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 5. С. 57–59.
16. Власенко А.Н., Шарков И.Н., Шоба В.Н., Кобабин С.А. Эффективность удобрения азотом яровой пшеницы и ячменя в лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2015. № 1. С. 25–27.
17. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Власенко А.Н. Эффективность систем основной обработки темно-серой лесной почвы при возделывании ячменя // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 51. № 1. С. 11–17. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-1.

REFERENCES

1. Götze P., Rücknagel J., Holzweißig B., Steinz M., Christen O., Jacobs A., Märlander B., Koch H.-J. Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in central Germany // *European Journal of Agronomy*. 2016, vol. 76, pp. 198–207.
2. Edimeichev YU.F. Optimization and environmentalization of zone system of soil processing in Krasnoyarsk Region. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo*

- universiteta = *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2017, no. 7, pp. 16–23. (In Russian)
3. Belenkov A., Mazirov M., Arefieva V. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia. *Eurasian Journal Soil Science*, 2018, no. 7 (4), pp. 300–307. DOI: 10.18393/ejss.448593.
 4. Gülser F., Salem S., Gülser C. Changes in some soil properties of wheat fields under conventional and reduced tillage systems in Northern Iraq. *Eurasian Journal Soil Science*, 2020, no. 9(4), pp. 314–320. DOI: 10.18393/ejss.780120.
 5. Solovichenko V.D., Voronin A.N., Nikitin V.V., Noval'neva E.V. Barley productivity depending on crop rotation type, method of soil cultivation and fertilizers. *Zemledelie*, 2017, no. 7, pp. 29–31. (In Russian).
 6. Galeev R.F., Shashkova O.N. Productivity of fodder crop rotations and their impact on the fertility of leached chernozem. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 5, pp. 28–37. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-5-3.
 7. Perfil'ev N.V., V'yushina O.A. Elements of fertility and productivity of arable land depending on the soil tillage system. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 1, pp. 5–12. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-1.
 8. Gilev S.D., Tsimbalenko I.N., Kurllov A.P., Bastrychikina O.S. The water regime of leached chernozem and water requirements for crops in the central forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2015, no. 5 (135), pp. 6–9. (In Russian).
 9. Nabayi A., Girei A., Abubakar M. Physical and hydraulic properties of soils under a long-term tillage practices in Hadejia Local Government Area, Jigawa State, Nigeria. *Eurasian Journal Soil Science*, 2019, no. 8 (3), pp. 267–274. DOI: 10.18393/ejss.573914
 10. Perfil'ev N.V., V'yushina O.A. Parameters of dark grey forest soil at prolonged application of different tillage systems. *Zemledelie*, 2016, no. 2, pp. 23–25. (In Russian).
 11. Vrazhnov A.V., Ageev A.A. Improvement of the adaptive-landscape agricultural systems in Chelyabinsk region. *Zemledelie*, 2009, no. 7, pp. 3–5. (In Russian).
 12. Konishhev A.A., Garifullin I.I., Konishheva E.N. Method of use of “bulk density” in soil treatment research. *Vladimirskii zemledelets = Vladimir Agricolist Journal*, 2019, no. 1 (87), pp. 16–20. (In Russian). DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10048.
 13. Konishhev A.A., Perfil'ev N.V., Garifullin I.I. Relationship of “optimum bulk density” with soil moisture and barley yield. *Agrofizika = Agrophysics*, 2019, no. 2, pp. 25–31. (In Russian). DOI: 10.25695/AGRP.2019.02.04.
 14. Yushkevich L.V., Khamova O.F., Shhitov A.G., Shuliko N.N., Tukmacheva E.V. Agroecological specifics of barley cultivation in the forest-steppe of Western Siberia. *Plodorodie*, 2019, no. 4 (109), pp. 42–46. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.14.
 15. Shevchenko N.V. Change in fertility elements of typical chernozem, depending on the methods of basic tillage. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 2015, no. 5, pp. 57–59. (In Russian).
 16. Vlasenko A.N., Sharkov I.N., Shoba V.N., Koabin S.A. Efficiency of fertilizer spring wheat nitrogen and barley in forest-steppe of Western Siberia. *Zemledelie*, 2015, no. 1, pp. 25–27. (In Russian).
 17. Perfil'ev N.V., V'yushina O.A., Vlasenko A.N. Efficiency of basic tillage systems in the cultivation of barley. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 51, no. 1, pp. 11–17. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-1.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Перфильев Н.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 625501, Тюменская область, ул. Бурлаки, 2, пос. Московский; e-mail: p.nikolay52@yandex.ru.

Вьюшина О.А., научный сотрудник, e-mail: vyushina63@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nikolay V. Perfil'ev**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; **address:** 2, Burlaki St., Moskovskiy vil., Tyumen, 625501, Russia; e-mail: nikolay52@yandex.ru

Olga A. Vyushina, Researcher, e-mail: vyushina63@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.01.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 04.06.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021

СОДЕРЖАНИЕ ГЛИФОСАТА В ЗЕРНЕ ПРИ ДЕСИКАЦИИ ПОСЕВОВ В ПРИОБЬЕ

✉ Данилова А.А., Итэсь Ю.В., Колбин С.А.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск

✉ e-mail: danilova7alb@yandex.ru

Определены остаточные количества глифосата в зерне пшеницы после десикации посевов. Глифосат – наиболее применяемый в мире гербицид. Уровень его экотоксичности широко обсуждают в научной литературе после отнесения соединения к категории «вероятно канцерогенных» пестицидов. Предполагают, что остаточное количество гербицидов может быть наиболее высоким при десикации посевов перед уборкой. Исследования проведены в 2018 г. (центральная лесостепь Новосибирского Приобья – 54°53'13,5"N, 82°59'36,7"E). В эксперименте десикацию посевов осуществили гербицидом Зеро Супер (содержание изопропиламинной соли глифосата 750 г/кг) в рекомендованной дозе, равной 1,5–2,0 кг/га. Остаточное количество гербицидов в растительной биомассе определяли при помощи тест-системы, основанной на принципе иммуноферментного анализа. Предподготовку растительных проб осуществляли согласно рекомендации фирмы Stylab, проводившей валидацию метода для определения глифосата в зерне. Остаточное количество гербицида обнаружено во всех 37 испытанных образцах. Независимо от срока отбора образцов после десикации показатель в зерне не превышал 4,4 мг/кг. Спустя 14 дней после десикации уровень минимального количества пестицида был ниже (0,5 мг/кг) в сравнении с данными, полученными спустя 7 дней (2,6 мг/кг). Содержание остаточного количества гербицидов в соломе пшеницы оказалось выше, чем в зерне. Наиболее высокие значения показателя обнаружены в биомассе сорной растительности, высохшей при десикации (до 9 мг/кг). В зерне, хранившемся один год, содержание остаточного количества гербицидов не снизилось. Полученные данные сравнили с уровнями ПДК остаточного количества гербицидов в зерне пшеницы, принятыми в мире.

Ключевые слова: глифосат, остаточные количества, зерно пшеницы, Приобье

GLYPHOSATE RESIDUES IN GRAIN AFTER DESICCATION OF CROPS IN THE OB REGION

✉ Danilova A.A., Ites Yu.V., Kolbin S.A.

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

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: Danilova7alb@yandex.ru

The residual amounts of glyphosate in wheat grain after desiccation of crops were determined. Glyphosate is the most widely used herbicide in the world. The level of its ecotoxicity is widely discussed in the scientific literature after the compound was classified as “a likely carcinogenic” pesticide. It is assumed that glyphosate residues can be highest when the crops are desiccated before harvesting. The studies were carried out in 2018 (central forest-steppe of the Novosibirsk Ob region (54°53'13.5"N, 82°59'36.7"E). In the experiment, desiccation of wheat was carried out with the herbicide Zero Super (the content of isopropylamine salt of glyphosate was 750 g/kg) at the recommended dose of 1.5– 2.0 kg/ha. Glyphosate residues in plant biomass were determined using the test system, based on the principle of enzyme immunoassay. Pre-preparation of the samples for the analysis was carried out according to the recommendation of Stylab laboratory, which validated the method for the determination of glyphosate in grain. Glyphosate residues were found in all of the 37 samples tested. Regardless of the sampling period after desiccation, herbicide residues in the grain did not exceed 4.4 mg/kg. In 14 days after desiccation, the minimum pesticide level was lower (0.5 mg/kg) compared to the data obtained in 7 days (2.6 mg/kg). The content of the herbicide residues in wheat straw was higher than in grain. The highest values of glyphosate residues were

found in the dry biomass of weed vegetation (up to 9 mg/kg). In the grain stored for 1 year, the content of GR has not decreased. The data obtained were compared with the MRL for the residual amount of glyphosate in wheat grain accepted in the world.

Keywords: glyphosate, residual amount, wheat grain, the Ob region

Благодарность

Работа выполнена в рамках выполнения государственной программы ГЗ 0533-2021-0005.

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the state program GZ 0533-2021-0005.

Для цитирования: Данилова А.А., Итэс Ю.В., Колбин С.А. Содержание глифосата в зерне при десикации посевов в Приобье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51 № 3. С. 24–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-3>

For citation: Danilova A.A., Ites Yu.V., Kolbin S.A. Glyphosate residues in grain after desiccation of crops in the Ob region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp.24–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Получение стабильных урожаев для обеспечения возрастающего населения планеты достаточным количеством продуктов питания и сырья при сокращающихся земельных ресурсах невозможно без применения химических средств защиты растений, что чревато загрязнением окружающей среды остаточными количествами пестицидов [1]. Для решения этой проблемы мировое сообщество предпринимает комплексные меры: осуществляет поиск новых формул химических средств с низкой дозой применения, совершенствует подходы и методы контроля остаточного количества пестицидов в объектах окружающей среды, разрабатывает новые технологии по очищению загрязненных территорий и др. [2–4].

Аграрный сектор Сибирского федерального округа находится в общемировом тренде в отношении наращивания химических средств защиты растений. При этом оценка безопасности применяемых пестицидов основывается на рекомендациях производителей, разработанных для территорий с более благоприятными в сравнении с Сибирью климатическими условиями. В связи с этим возникает необходимость исследования особенностей деградации пестицидов в растениеводческой продукции и объектах окружающей среды в специфических условиях короткого, часто засушливого вегетационного периода Сибири. Новосибирская об-

ласть – один из крупнейших производителей зерна в Сибирском федеральном округе. Существенную часть продукции в хозяйствах получают с помощью интенсивных технологий выращивания культур, и эта тенденция развития земледелия будет только усиливаться. Кроме того, в последние годы все более активно осваиваются агротехнологии, предполагающие частичный или полный отказ от механической обработки почвы (система прямого посева, No-till и др.), что требует повышенного применения пестицидов. Одними из наиболее широко применяемых в таких агротехнологиях пестицидов являются гербициды сплошного действия на основе глифосата. В Российской Федерации гербициды на основе данного соединения составляют 1/3 от объема применяемых гербицидов и представлены более 40 наименованиями [5].

Глифосат – действующее вещество спектра неселективных системных гербицидов, впервые запатентованных в виде коммерческих продуктов, таких как Roundup® (фирма Monsanto Co) или Touchdown® (фирма Syngenta Co) в 1974 г. С тех пор эти гербициды стали одними из самых широко применяемых в мире, и темпы потребления их возрастают [6, 7]. Увеличение посевов трансгенных культур, устойчивых к данной группе гербицидов, повышение устойчивости сорной растительности способствуют расширению рынка гербицидов на основе глифосата [8, 9].

Высокая экотоксичность большинства из пестицидов экспериментально доказана. Вероятно, не является исключением и глифосат (N-(phosphonomethyl)glycine). В 2015 г. Агентство по изучению рака ВОЗ (IARC) отнесло глифосат к группе «возможно канцерогенных» пестицидов¹. Заявление IARC вызвало общественный и научный резонанс во всем мире. Европейский союз рекомендовал ограничить применение глифосата в качестве десиканта и прекратить обработку им общественных садов и парков². Сформировались общественные движения за полный запрет применения препарата в аграрном секторе. За период, прошедший после публикации документа (см. сноску 1), проведено много исследований по разным аспектам проблемы. Получены весьма противоречивые данные. В целом авторы считают, что пока количество, длительность, дизайн исследований недостаточны для окончательных выводов [8, 9]. К настоящему моменту в ЕС применение глифосата разрешено только до 2022 г., ряд стран (Бельгия, Колумбия, Нидерланды, Шри-Ланка, Франция, многие страны Ближнего Востока) законодательно ограничили применение глифосата в сельском хозяйстве [10, 11].

Однако появление глифосата в свое время позволило перейти к новому этапу развития почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия в мире. В настоящее время трудно представить аграрный сектор без этого препарата. В последние годы изучают возможные параметры производства продуктов питания, если применение глифосата будет запрещено. Как показали расчеты, в этом случае валовой сбор сои, кукурузы, рапса в мире может снизиться на 18,6; 3,1; 1,5 млн т в год соответственно. Для компенсации этих потерь потребуется увеличение площади пашни на 0,76 млн га. При этом стоимость борьбы с сорной растительностью повы-

сится на 20–30 дол. США/га. Применение альтернативных гербицидов не приведет к понижению пестицидной нагрузки на агроценозы [12, 13].

Как показывает наш краткий обзор, несмотря на экотоксичность, сельское хозяйство вряд ли сможет отказаться от применения глифосата. Выход из ситуации один – строгий контроль остаточного количества пестицида в объектах окружающей среды, прежде всего в продукции, для максимального сокращения поступления его в пищевые цепи.

Цель исследования – определить величину остаточного количества глифосата в зерне и соломе пшеницы после десикации посевов в рекомендованных дозах и сроках уборки урожая в Приобье, уточнить степень разложения его при хранении зерна в течение года.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в 2018 г. на территории научно-экспериментальной базы Сибирского научно-исследовательского института земледелия и химизации СФНЦА РАН (центральная лесостепь Новосибирского Приобья, 54°53'13,5"N, 82°59'36,7"E). Десикация посевов яровой пшеницы осуществлена 3 сентября гербицидом Зеро Супер (содержание изопропиламинной соли глифосата 750 г/кг) в рекомендованной дозе, равной 1,5–2 кг/га³. Пшеница – Новосибирская 31. Влажность зерна перед десикацией 25–28%. Опрыскиватель ОП-2000. Норма расхода рабочего раствора 270 л/га. Уборка урожая проходила через 21 и 25 дней (в 2017 и 2018 гг. соответственно) после десикации. Отбор образцов произвели сноповым методом (1 м²) в трехкратной повторности на делянке и трех повторениях опыта (9 снопов). В период после десикации отмечена температура воздуха, близкая к среднеголет-

¹IARC Monograph on Glyphosate (https://www.iarc.fr/en/.../iarcnews/.../glyphosate_IARC2016).

²Directive 2009/128/EC, 2009b (Article 4) of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009. Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0001:0050:EN:PDF>.

³Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации.

ней норме. Осадки составили в 2017 г. (уборка 9.09.2017) 20 мм при среднемноголетней норме 33 мм, в 2018 г. (уборка 13.09.2018) – 60 мм при норме 40 мм.

Анализу подвергли зерно, солому и биомассу сорной растительности, высохшей под воздействием препарата. Для определения возможности разложения глифосата при хранении зерновой продукции анализировали зерно урожая 2017 г., хранившегося в течение года в прохладном и сухом помещении. Остаточное количество глифосата определяли с помощью тест-системы ИФА Abraxis Glyphosate Plate. Подготовку растительных проб осуществляли согласно рекомендации (процедура R091313) фирмы Stylab (Москва), проводившей валидацию метода для определения глифосата в зерне (www.Stylab.ru). Пробы образцов дериватизировали, затем вносили вместе со специфичными к глифосату антителами в лунки микротитровального планшета, покрытые антивидовыми антителами к антителам на глифосат, и инкубировали 30 мин. Затем вносили ферментный конъюгат глифосата. В этот момент происходит конкурентная реакция между глифосатом, который может содержаться в пробе, и меченым ферментом глифосата за места связывания с антителами на планшете. После отмывки и внесения субстрата (цветной раствор) развивается цветной сигнал (синяя окраска). Присутствие глифосата обнаруживается внесением цветного раствора, который содержит ферментный субстрат (перекись водорода) и хромоген (3,3', 5,5'-тетраметилбензидин). Связанный анти-

телами конъюгат глифосата с ферментом катализирует превращение смеси субстрат/хромоген в окрашенные в синий цвет продукты реакции. После инкубации реакцию останавливали и стабилизировали внесением разбавленной кислоты (стоп-раствор). Поскольку имелась конкуренция между меченым глифосатом (конъюгат) и немеченым (проба) за связывание с антителами, интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации глифосата в пробе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Остаточное количество глифосата обнаружено во всех 37 испытанных образцах. Независимо от срока отбора образцов после десикации в зерне оно не превышало 4,4 мг/кг (см. табл. 1). Спустя 14 дней после десикации уровень минимального количества был ниже (0,5 мг/кг) в сравнении с данными, полученными спустя 7 дней (2,6 мг/кг). Содержание остаточного количества глифосата в соломе пшеницы оказалось выше, чем в зерне. Наиболее высокие значения показателя обнаружены в биомассе сорной растительности, высохшей при десикации.

В зерне, хранившемся в течение года в сухом прохладном помещении, остаточное количество глифосата было несколько выше в сравнении с данными, полученными при анализе зерна урожая 2018 г.

Впервые для Сибири получены данные по содержанию остаточного количества гербицидов в зерне пшеницы после десикации рекомендованными дозами гербицида.

Табл. 1. Содержание остаточного количества глифосата в надземной биомассе зернового агроценоза после десикации посевов

Table 1. Concentration of glyphosate residues in the aboveground biomass of grain agrocenosis after desiccation of crops

Год отбора образца	n	День после десикации	Доза гербицида, кг/га	Субстрат	Содержание глифосата, мг/кг	
					lim	среднее
2018	7	7	1,5	Зерно	2,6–4,4	3,6
	12	14	1,5	»	0,5–3,9	2,5
	6	14	1,5	Солома	5,5–6,0	5,7
	6	14	1,5	Сорняки	8–9	8,5
2017	6	Через год хранения	2	Зерно	4,1–5,4	4,2

Отметим, что MRL (maximum residual level), или МДУ остаточного количества глифосата в необработанном зерне пшеницы существенно различается по странам мира. В США данная величина принята равной 30 мг/кг, в ЕС – 10, в Канаде – 5 мг/кг⁴. Вероятно, это связано с различным фоновым значением содержания остаточного количества пестицида в продукции. Как отмечают авторы обзора [9], эти пределы постоянно растут, очевидно, вслед за повышением содержания контаминантов в продукции. В Российской Федерации величина МДУ остаточного количества гербицидов составляет 20 мг/кг зерна⁵. Сложно понять, откуда появилась данная цифра. Вероятно, это расчетное среднее значение MRL, принятых в США и ЕС, поскольку опубликованных сведений по содержанию остаточного количества глифосата в зерне для Российской Федерации в доступной литературе мы не обнаружили. Согласно указанным выше критериям, содержание остаточного количества гербицидов в зерне в нашем опыте находится в допустимых пределах. Судя по уменьшению минимального обнаруженного количества остатков глифосата в зерне срок ожидания 14 дней после десикации имеет существенное значение.

Как отмечают авторы обзора, опубликованного в 2019 г. [11], в научной литературе документированных сведений о содержании остаточного количества гербицидов в зерновой продукции, в частности зерне пшеницы, после десикации крайне мало. Авторы обнаружили только четыре источника, опубликованных с 2013 по 2018 г. (см. табл. 2). Из этих данных следует, что уровень остаточного количества гербицидов в зерне после десикации в одном случае из четырех превышал MRL, принятый в Канаде (исследование проведено в Канаде). Для территории бывшего СССР в доступе имеются данные по Украине [14]. В Киевской области в 2002–2011 гг. определяли остаточное количество гербицидов в зерне трех сортов пшеницы при десикации посевов 3 л/га изопропило-

вой соли глифосата (480 г/л д.в.). В зависимости от сорта пшеницы показатель в зерне составил 0,5–2,5 мг/кг. В табл. 2 мы привели данные по изменению содержания остаточного количества гербицидов в продуктах переработки зерна. Основное количество его остается в отрубях. В специальном эксперименте канадских исследователей [15] доля остаточного количества гербицидов в отрубях составила 81% от исходного содержания в зерне. Диетологи обычно предлагают отруби в качестве компонента здорового питания. Отсюда следует вывод, что данную сторону вопроса необходимо иметь в виду.

В целом создается впечатление о вполне благополучной ситуации с изучаемым показателем в зерне после десикации. Однако возникает вопрос, почему принятый FAO/WHO MRL по остаточным количествам глифосата в зерне пшеницы равен 30 мг/кг.

Если данных по динамике остаточного количества гербицидов при переработке зерна достаточно много, то сведений по изменению содержания пестицида при хранении зерна крайне недостаточно [11]. Мы получили сведения по данному вопросу. Наш вывод основан на допущении, что строгое соблюдение одинаковых условий опыта в оба года исследований обусловило примерно близкий уровень остаточного количества гербицидов в зерне перед уборкой. При хранении зерна в течение года данный по-

Табл. 2. Содержание глифосата в зерне пшеницы до и после переработки [11]

Table 2. Concentration of glyphosate in wheat grain before and after processing [11]

Содержание глифосата в исходном зерне, мг/кг	Продукты переработки зерна	
	Вид продукта	Содержание глифосата, мг/кг
Менее 0,13	Отруби	0,7
0,67	Мука	0,02
1,07–1,13	Хлеб	0,001–0,0458
6,1–11,1	Выпечка	0,001–0,0179

⁴BCGlobal Pesticide MRL Database <https://www.bryantchristie.com/BCGlobal-Subscriptions/Pesticide-MRLs>

⁵Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень) ГН 1.2.3538-18 // Бюллетень нормативных и методических документов Россанэпиднадзора. 2019. Вып. 3 (77). С. 7–103.

казатель не снижался. Вероятно, это связано с известным фактом, что глифосат хорошо фиксируется в растительной биомассе, вследствие чего скорость его метаболизма снижается [16]. Важны сведения по остаточному количеству гербицидов в соломе и сорняках, поскольку, как следует из наших данных, эти компоненты биомассы могут служить значимым концентратором пестицидов в агроценозе.

ВЫВОДЫ

1. Остаточные количества глифосата (до 4,4 мг/кг) обнаружены во всех пробах зерна пшеницы с посевов, подвергнутых десикации.
2. При хранении загрязненного зерна в течение года в сухом и прохладном помещении снижения остаточного количества глифосата в зерне не отмечено.
3. Обнаружено значительно более высокое в сравнении с зерном содержание остаточного количества глифосата в соломе и биомассе сорной растительности (до 9 мг/кг). Данные растительные остатки могут быть значимым источником загрязнения среды пестицидом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаренко В.А. Использование пестицидов в аграрном секторе России в контексте развития глобальных рынков средств защиты растений // *Агрохимия*. 2020. № 3. С. 43–48. DOI: 10.31857/S000218812003014X.
2. Sacchetti G., Calliera M. Link practical-oriented research and education: New training tools for a sustainable use of plant protection products // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 579. P. 972–977. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.166.
3. Samsidar A., Siddiquee S., Shaarani S. Md. A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs // *Trends in Food Science & Technology*. 2018. Vol. 71. P. 188–201. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.11.011.
4. Hamlyn O. Shadow Zones: Transparency and Pesticides Regulation in the European Union // *Cambridge Yearbook of European Legal Studies*. 2019. Vol. 21. P. 243–272. DOI: 10.1017/cel.2019.15.
5. Михайликова В.В., Стребкова Н.С. Использование средств защиты растений в Российской Федерации // *Агрохимия*. 2015. № 12. С. 56–59.
6. Duke S.O., Powles S.B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide // *Pest Manag Sci*. 2008. Vol. 64 (4). P. 319–325. DOI: 10.1002/ps.1518.
7. Li Z., Jennings A. Worldwide Regulations of Standard Values of Pesticides for Human Health Risk Control: A Review // *International journal of environmental research and Public Health*. 2017. Vol. 14. P. 2–41 DOI: 10.3390/ijerph14070826.
8. Van Bruggen A.H.C., Shin K., Mai V., Jeong K.C., Finckh M.R., Morris J.G. Jr. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 616–617. P. 255–268. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.309.
9. Meftaul I.Md., Venkateswarlu K., Mallavarapu Megharaj M. Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate : Is it to be banned in modern agriculture? // *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 263. P. 1–35. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114372.
10. Sørensen M.T., Poulsen H.D., Højberg O. Review: Feed residues of glyphosate – potential consequences for livestock health and productivity // *Animal*. 2021. Vol. 15. Is. 1. P. 1–26. DOI: 10.1016/j.animal.2020.100026.
11. Xua J., Smith S., Smith G., Wang W., Li Y. Glyphosate contamination in grains and foods: An overview // *Food Control*. 2019. Vol. 106. P. 1–8. DOI: 10.1016/J.FOODCONT.2019.106710.
12. Brookes G. Glyphosate use in Asia and implications of possible restrictions on its use // *AgBioForum*. 2019. Vol. 22 (1). P. 1–26.
13. Beckie H.J., Flower K.C., Ashworth M.B. Farming without Glyphosate? // *Plants*. 2020. Vol. 9. Is. 96. DOI: 10.3390/plants9010096.
14. Лепешкин И.В., Медведев В.И., Багацкая Е.Н., Гринько А.П., Кузнецова Е.М. Токсикологическая гигиеническая оценка остаточных количеств глифосата в их продукции // *Environment & Health*. 2013. N. 4. P. 45–49.
15. Tittlemier S.A., Bestvater L., Carlson J., Kletke J., Izydorczyk M., Fu B.X. Fate of glyphosate in wheat during milling and bread production // *Cereal Chemistry*. 2021. Vol. 98. P. 100–108. DOI: 10.1002/cche.1036.
16. Feng D., Soric A., Boutin O. Treatment technologies and degradation pathways of glyphosate: A critical review // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 742. P. 1–25. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140559.

REFERENCES

1. Zakharenko V.A. Use of pesticides in the agricultural sector of Russia in the context of the development of global markets of plant protection products. *Agrohimiya = Agricultural Chemistry*, 2020, no. 3, pp. 43–48. (In Russian). DOI: 10.31857/S000218812003014X.
2. Sacchetti G., Calliera M. Link practical-oriented research and education: New training tools for a sustainable use of plant protection products. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 579, pp. 972–977. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.166.
3. Samsidar A., Siddiquee S., Shaarani S. Md. A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, vol. 71, pp. 188–201. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.11.011.
4. Hamlyn O. Shadow Zones: Transparency and Pesticides Regulation in the European Union. *Cambridge Yearbook of European Legal Studies*, 2019, vol. 21, pp. 243–272. DOI: 10.1017/cel.2019.15.
5. Mikhaylikova V.V., Strebkova N.S. The use of plant protection products in the Russian Federation. *Agrohimiya = Agricultural Chemistry*, 2015, no. 12, pp. 56–59. (In Russian).
6. Duke S.O., Powles S.B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Manag Sci*, 2008, vol. 64 (4), pp. 319–325. DOI: 10.1002/ps.1518.
7. Li Z., Jennings A. Worldwide Regulations of Standard Values of Pesticides for Human Health Risk Control: A Review. *International journal of environmental research and Public Health*, 2017, vol. 14, pp. 2–41. DOI: 10.3390/ijerph14070826.
8. Van Bruggen A.H.C., Shin K., Mai V., Jeong K.C., Finckh M.R., Morris J.G. Jr. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 616–617, pp. 255–268.
9. Meftaul I.Md., Venkateswarlu K., Mallavarapu Megharaj M. Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate : Is it to be banned in modern agriculture? *Environmental Pollution*, 2020, vol. 263, pp. 1–35. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114372.
10. Sørensen M.T., Poulsen H.D., Højberg O. Review: Feed residues of glyphosate – potential consequences for livestock health and productivity. *Animal*, 2021, vol. 15, is. 1 pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.animal.2020.100026.
11. Xua J., Smith S., Smith G., Wang W., Li Y. Glyphosate contamination in grains and foods: An overview. *Food Control*, 2019, vol. 106, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.106710.
12. Brookes G. Glyphosate use in Asia and implications of possible restrictions on its use. *AgBioForum*, 2019, vol. 22 (1), pp. 1–26.
13. Beckie H.J., Flower K.C., Ashworth M.B. Farming without Glyphosate? *Plants*, 2020, vol. 9, is. 96. DOI: 10.3390/plants9010096.
14. Lepeshkin I.V., Medvedev V.I., Bagackaya E.N., Grin'ko A.P., Kuznecova E.M. Toxicological and hygienic assessment of glyphosate residual quantity in agricultural production. *Environment & Health*, 2013, no. 4, pp. 45–49.
15. Tittlemier S.A., Bestvater L., Carlson J., Kletke J., Izydorczyk M., Fu B.X. Fate of glyphosate in wheat during milling and bread production. *Cereal Chemistry*, 2021, vol. 98, pp. 100–108. DOI: 10.1002/cche.10369.
16. Feng D., Soric A., Boutin O. Treatment technologies and degradation pathways of glyphosate: A critical review. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 742, pp. 1–25. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140559.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Данилова А.А.**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: danilova7alb@yandex.ru

Итэс Ю.В., кандидат биологических наук, заведующий лабораторией

Колбин С.А., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Albina A. Danilova**, Doctor of Science in Biology, Head Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: danilova7alb@yandex.ru

Yuri V. Ites, Candidate of Science in Biology, Head of Laboratory

Sergey A. Kolbin, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.12.2020
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 19.04.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021



ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОНИЦАЕМОСТИ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН ПРОРОСТКОВ В ОЦЕНКЕ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ

✉ Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е.

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

✉ e-mail: guro-tamara@yandex.ru

Представлены результаты исследований применения показателя проницаемости клеточных мембран, определяемого по относительному изменению удельной электропроводности (УЭП) водных вытяжек тканей, проростков сортов яровой пшеницы Новосибирская 18, Новосибирская 44, Сибирская 21 и Омская 18 при совместном действии стрессоров. В модельных лабораторных вегетационных опытах исследована почасовая динамика УЭП водных вытяжек листьев проростков (экспозиция листьев в воде 0,5–4,5 ч) в условиях одновременного действия хлоридного засоления (1,3%) и возбудителя обыкновенной гнили злаков *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (5000 конидий на зерно). Установлено достоверное увеличение УЭП в 1,5 раза и скорости выхода электролитов в 2 раза у менее устойчивого сорта Новосибирская 44 по сравнению с более устойчивым Омская 18. Исследована посуточная динамика УЭП 10–16-суточных проростков в условиях последовательного действия гипертермии семян (43 °C), хлоридного засоления (1,3%) и *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (5000 конидий на зерно). Установлен протекторный эффект гипертермии у более устойчивого сорта Сибирская 21 (достоверное снижение УЭП до 1,3 раза) по сравнению с вариантом без прогрева семян. У менее устойчивого сорта Новосибирская 18 прогрев семян дестабилизировал состояние клеточных мембран (достоверное увеличение УЭП и скорости выхода электролитов в 1,5 и 1,2 раза соответственно). Экспериментально определены условия, обеспечивающие выявление максимальных различий исследуемых сортов пшеницы: возраст проростков – 10 сут, временной интервал экспозиции образцов в воде – 1,5–4,5 ч. Межсортные различия по относительному изменению значений УЭП в варианте без прогрева семян составляли 1,9 раза и в варианте с прогревом семян – 3,7 раза с достоверностью различий на уровнях $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$. Межсортные различия по относительному изменению УЭП, установленные на интервале времени экспозиции выхода электролитов 1,5–4,5 ч, составляли 1,50–1,67 раза с достоверностью различий на уровне $p \leq 0,05$. Предложенный подход позволит разработать методику оценки новых генотипов на устойчивость к совместному действию биотических и абиотических стрессоров.

Ключевые слова: сорт, пшеница, устойчивость, стрессоры, проницаемость клеточных мембран, удельная электропроводность

THE INDICATOR OF CELL MEMBRANE PERMEABILITY OF WHEAT SEEDLINGS IN ASSESSING STRESS RESISTANCE OF WHEAT VARIETIES

✉ Gurova T.A., Svezhintseva E.A., Chesnochenko N.E.

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

✉ e-mail: guro-tamara@yandex.ru

The paper presents the results of studies on the use of the permeability index of cell membranes, determined by the relative change in the specific electrical conductivity (EC) of water extracts of

tissues of spring wheat seedlings, varieties Novosibirskaya 18, Novosibirskaya 44, Sibirskaya 21 and Omskaya 18, under the combined action of stressors. In model laboratory vegetation experiments, the hourly dynamics of the EC of water extracts of seedling leaves (exposure of leaves to water for 0.5–4.5 h) was investigated under the simultaneous action of chloride salinity (1.3%) and the causative agent of common rot of cereals *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (5000 conidia per grain). It was established that EC increased by 1.5 times and the rate of electrolyte leakage increased twofold in the less resistant variety Novosibirskaya 44 compared to the more resistant Omskaya 18. The daily dynamics of the EC of 10–16-day-old seedlings was studied under the sequential action of seed hyperthermia (43 °C), chloride salinity (1.3%), and *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (5000 conidia per grain). The protective effect of hyperthermia was established in the more resistant variety Sibirskaya 21 (a decrease in EC up to 1.3 times) in comparison with the variant without heating the seeds. In the less resistant variety Novosibirskaya 18, heating the seeds destabilized the state of the cell membranes (increase in EC and electrolyte leakage rate by 1.5 and 1.2 times respectively). The conditions that ensure the identification of the maximum differences in the studied wheat varieties were experimentally determined: the age of seedlings 10 days, the time interval of exposure of the samples to water 1.5–4.5 h. Intervarietal differences in the relative change in the EC values in the variant without heating the seeds were 1.9 times and in the variant with heating the seeds – 3.7 times, with the significance of difference at the levels $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$. Intervarietal differences in the relative change in the EC, established for the time interval exposition of electrolytes leakage of 1.5–4.5 h, were 1.50–1.67 times with the significance of difference at the level of $p \leq 0.05$. The proposed approach will make it possible to develop a methodology for assessing new genotypes for resistance to the combined action of biotic and abiotic stressors.

Keywords: wheat, variety, resistance, stressors, permeability of cell membranes, electrical conductivity

Для цитирования: Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е. Показатель проницаемости клеточных мембран проростков в оценке стрессоустойчивости сортов пшеницы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 31–43. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-4>

For citation: Gurova T.A., Svezhintseva E.A., Chesnochenko N.E. The indicator of cell membrane permeability of wheat seedlings in assessing stress resistance of wheat varieties. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 31–43. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В селекции сортов сельскохозяйственных культур необходима диагностика их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессовым факторам среды. Выполнение подобной оценки в полевых условиях прямым методом (по депрессии урожая) – трудоемкий и продолжительный по времени этап. В связи с этим оценку сортов проводят в лабораторных условиях косвенными методами по изменению физиологических, биохимических и биофизических параметров, которые отражают процесс адаптации растений к стрессовым воздействиям [1, 2]. К достоинствам косвенной оценки относят

высокую информативность, возможность прогнозировать снижение продуктивности под действием стрессов на ранних стадиях онтогенеза растений, независимость диагностических показателей от условий окружающей среды, возможность автоматизированной оценки [3].

В большинстве своем используемые методы диагностики позволяют оценивать генотипы по устойчивости к одному действующему стрессору. Однако в природных условиях растительные организмы подвержены воздействию комплекса стрессовых факторов среды в различных сочетаниях и дозах на разных фазах развития растений.

Поэтому важно проводить исследования устойчивости культур к стрессовым воздействиям, моделируя их совокупное действие [4]. В условиях Сибири в числе прочих лимитирующих урожайность стрессоров следует учитывать засоление почв, обыкновенную корневую гниль, повышенные температуры воздуха [5].

Основные ответные реакции растений на абиотические и биотические факторы связаны с возникновением окислительного стресса, нарушающего структуру и функционирование клеточных мембран. Это приводит к полной гибели клеток, торможению или остановке роста [6, 7]. Биологическая мембрана служит первичным защитным барьером и обеспечивает неспецифическую составляющую адаптационных механизмов при действии стрессовых факторов [8].

Важнейшее свойство биологических мембран – проницаемость. Она определяет стабильность растительных тканей и клеток и характеризует статическую, генетически обусловленную потенциальную устойчивость генотипа [9, 10]. Чем выше устойчивость растений, тем меньше нарушаются структура и свойства мембран, сокращается выход электролитов из растительных тканей во внешнюю среду [11]. Изменение мембранной проницаемости для электролитов – один из критериев устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессорам. Причиной возрастания проницаемости клеточных мембран при стрессах может быть соотношение H^+/Ca^{2+} в мембранах, снижение уровня SH-групп, образование дефектных областей в липидах, возрастание активности эндогенных фосфолипаз¹.

Проницаемость клеточных мембран определяется кондуктометрическим методом по измерению удельной электропроводности электролитов, вышедших через поврежденные клеточные мембраны из тканей

и органов растений в дистиллированную воду, что может являться диагностическим показателем стрессоустойчивости сорта.

Получены результаты исследований по изменению проницаемости клеточных мембран при действии на растения низких температур [12, 13], засухи [14, 15], заражения патогеном [16, 17], биологически активных веществ [18, 19], тяжелых металлов [20].

Метод также оказался востребованным в изучении реакции растений на раздельное и комбинированное действие стрессоров: низкой температуры и ионов кадмия [21], теплового шока и водного дефицита [22], неблагоприятной температуры и тяжелых металлов [23], засоления и цинка [24].

Ранее нами экспериментально доказана возможность учета изменения показателя проницаемости клеточных мембран, оцениваемого по удельной электропроводности (УЭП) тканей проростков. На основе этого разработаны диагностические методы для оценки устойчивости сортов яровой пшеницы и ячменя к хлоридному засолению и возбудителю обыкновенной гнили злаков^{2,3}.

Цель исследований – оценить удельную электропроводность водных вытяжек листьев как показатель проницаемости клеточных мембран проростков для определения стрессоустойчивости сортов пшеницы к совокупному действию возбудителя корневой гнили злаков, хлоридного засоления и гипертермии семян.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальная работа выполнена в лаборатории изучения физических процессов в агрофитоценозах Сибирского физико-технического института СФНЦА РАН. Исследования проводили в лабораторных условиях (вегетационный опыт – водные культуры) на проростках районированных сортов мягкой яровой пшеницы Новоси-

¹Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений: учеб. пособие. СПб.: изд-во С.-Пб. ун-та, 2002. 244 с.

²Пат. RU 2446671 МПК A01G7/00, A01H1/04. Способ определения относительной устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к хлоридному засолению / Т.А. Гурова, В.Ю. Березина, Н.С. Куцерубова. Оpubл. 10.04.2012.

³Пат. RU 2625027 МПК A01C12N 1/14, A01H 5/12. Способ определения относительной устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к возбудителю обыкновенной корневой гнили злаков / Т.А. Гурова, В.В. Альт, О.С. Луговская. Оpubл. 11.07.2017.

бирская 18, Новосибирская 44, Сибирская 21 селекции Сибирского НИИ растениеводства – филиала ИЦиГ СО РАН и Омская 18 селекции Омского АНЦ.

Изучение показателя проницаемости клеточных мембран проростков проведено для оценки устойчивости сортов к совокупному действию возбудителя обыкновенной гнили *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (*B. sorokiniana*), хлоридного засоления и гипертермии семян. Исследована почасовая и посуточная динамика УЭП вытяжек листьев проростков сортов пшеницы, различающихся по устойчивости к данным стрессорам. Предварительно устойчивость сортов оценена в лабораторных условиях по ростовым параметрам, изменению сухой и сырой биомассы и по развитию болезни на проростках [25].

Почасовую динамику изменения УЭП вытяжек листьев (кинетику выхода электролитов после экспозиции листовой ткани в дистиллированной воде в течение 0,5–4,5 ч) регистрировали у 10-суточных проростков сортов Омская 18 (относительно устойчивый) и Новосибирская 18 (относительно неустойчивый). Действие стрессоров было одновременным.

Варианты опыта:

- контроль (семена без стрессорной нагрузки),
- инфицирование семян *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно) + хлоридное засоление 1,3%.

Посуточную динамику УЭП регистрировали у 10–16-суточных проростков сортов Сибирская 21 (относительно устойчивый) и Новосибирская 18 (относительно неустойчивый). Применяли последовательное действие стрессоров – предварительный прогрев семян с последующими инфицированием *B. sorokiniana* и хлоридным засолением.

Варианты опыта:

- контроль (семена без прогрева) и прогрев семян при 43 °С;
- семена без прогрева + инфицирование *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно) + хлоридное засоление 1,3%;

- прогрев семян + инфицирование *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно) + хлоридное засоление 1,3%.

Уровни стрессовых нагрузок (конидиальная суспензия *B. sorokiniana* 5000 конидий на зерно, концентрация хлорида натрия (NaCl) 1,3% и температура 43 °С) определены нами в специально проведенных вегетационных опытах. Данные уровни позволяют дифференцировать сорта пшеницы сибирской селекции при оценке их устойчивости к данным стрессовым факторам (см. сноска 2 и 3) [26].

Семена пшеницы предварительно стерилизовали 96%-м этиловым спиртом в течение 2 мин с последующим трехкратным промыванием дистиллированной водой. Прогрев семян проводили в течение 20 мин в горячей воде на водяной бане по методике ВИР⁴. После остывания семена раскладывали в чашки Петри с увлажненной фильтровальной бумагой и проращивали в термостате при температуре 22 °С в течение трех суток. Одновременно проращивали замоченные пробы семян без прогрева. Инфицирование семян проводили в фазе прорастания (на третьи сутки культивирования) конидиальной суспензией смеси среднепатогенных изолятов *B. sorokiniana*, приготовленной на 0,1%-м водном агаре (по одной капле на зерно). Далее растения выращивали в рулонной культуре на водопроводной воде (вариант контроль) и хлориде натрия (вариант инфицирование *B. sorokiniana* + хлоридное засоление) в климатической камере «Биотрон-8» при фотопериоде «день – ночь» 16 и 8 ч соответственно, освещенности 20 000 лк (день), температуре 22 °С и влажности 60%.

Для измерения УЭП у проростков отделяли первые листья, промывали водопроводной водой, просушивали фильтровальной бумагой. В каждом варианте готовили средний образец. Для этого из средней части листьев лезвием делали нарезки, помещали их в мешочек из капроновой ткани, промывали дистиллированной водой, затем просушивали фильтровальной бумагой. Навески

⁴Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методические рекомендации / под ред. Г.В. Удовенко. Л., 1988. 228 с.

растительной ткани помещали в стеклянный стаканчик с дистиллированной водой в определенном соотношении ткань – вода. Стаканчики выдерживали в условиях освещения не менее 1,5 ч. Удельную электропроводность водных вытяжек листьев измеряли на кондуктометрической установке edge EC, HANNA Instruments (Германия). Реакцию сорта определяли по относительному изменению УЭП водных вытяжек листьев проростков после экспозиции растений на стрессорах. Чем меньше изменение параметра, тем устойчивее сорт⁵.

Аналитическая повторность опытов 6–8-кратная, биологическая – 3-кратная. Репрезентативная выборка – 200 проростков в каждом варианте опыта. Экспериментальные данные математически обрабатывали с помощью стандартных статистических программ. Для определения значимости различий средних значений использовали *t*-критерий Стьюдента. Для выявления взаимосвязи регистрируемых параметров сортов с их устойчивостью проводили регрессионный анализ. Ошибка среднего не превышала 3–5%. Проведено три серии экспериментов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование почасовой динамики выхода электролитов. Одно из наиболее существенных требований, предъявляемых к методу диагностики, – его дифференцирующая способность. Она определяется достоверностью оценки устойчивости близкородственных объектов (сорта одной культуры, растения из одной сортовой популяции) к различным стрессовым воздействиям. Поэтому в эксперименте необходим выбор режимов (условий), которые бы обеспечивали наибольшую амплитуду проявления сортовых различий.

Исследование кинетики выхода электролитов в зависимости от длительности экспозиции листовой ткани в воде – важный методический прием для установления времени проявления максимальных межсортовых

различий при оценке стрессоустойчивости сортов. Измерения УЭП показали различный характер выхода электролитов из листовой ткани проростков сортов пшеницы в дистиллированную воду при одновременном действии хлоридного засоления и возбудителя корневой гнили злаков (см. рис. 1).

Выход электролитов у проростков обоих сортов в контрольных вариантах достоверно не различался. В опытном варианте у проростков относительно устойчивого сорта Омская 18 выход электролитов стабилизировался на более низком уровне значения УЭП по сравнению с относительно неустойчивым сортом Новосибирская 44. Быстрый выход электролитов в первые 0,5–1,5 ч экспозиции образцов в дистиллированной воде сменялся более слабым, но стабильным выходом в течение следующих трех часов (время экспозиции 1,5–4,5 ч). Таким образом, на кривой суммарного выхода электролитов можно выделить два участка, характеризующих временные интервалы различных процессов (см. рис. 2).

Участок 1 графика (время экспозиции 0,5–1,5 ч) характеризует выход электролитов из апопласта, в котором ионы перемещаются в соответствии с законами диффузии и адсорбции [27]. Участок 2 графика (время экспозиции 1,5–4,5 ч) отличается меньшим углом наклона линейной аппроксимации, чем участок 1, и отражает функциональную активность плазмалеммы, ее сопротивление диффузному проникновению электролитов.

Следовательно, временной интервал выхода электролитов из свободного пространства (апопласта) и цитоплазмы (через плазмалемму), косвенно указывающий на состояние плазмалеммы, составляет 1,5–4,5 ч. Показатель относительного изменения УЭП для неустойчивого сорта Новосибирская 44 значительно превышает (при экспозиции 1,5 ч – в 1,5 раза) показатель относительного изменения УЭП для устойчивого сорта Омская 18. Наклон линейной аппрок-

⁵Гурова Т.А., Денисюк С.Г., Луговская О.С., Свежинцева Е.А., Минеев В.В. Методические положения ранней диагностики устойчивости яровой пшеницы и ячменя к совокупному действию стрессоров. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. 62 с.

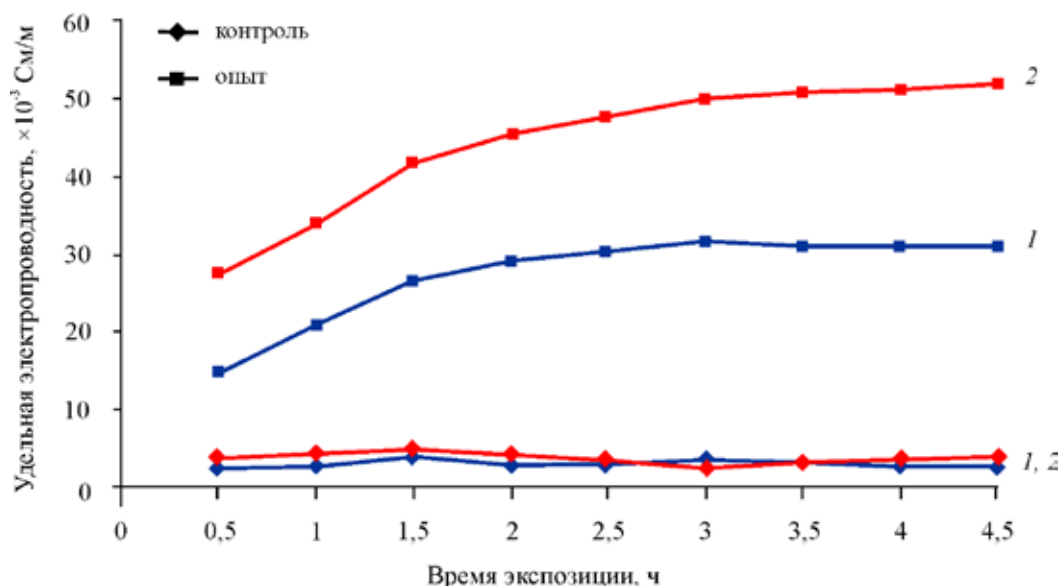


Рис. 1. Удельная электропроводность водных вытяжек листьев пшеницы в зависимости от длительности экспозиции листовой ткани в воде (стрессоры – конидиальная суспензия *B. sorokiniana* – 5000 конидий на зерно + хлорид натрия 1,3%): 1 – сорт Омская 18 (относительно устойчивый), 2 – сорт Новосибирская 44 (относительно неустойчивый). Различия с контролем достоверны на уровне $p \leq 0,01$

Fig. 1. Electrical conductivity of water extracts of wheat leaves depending on the duration of exposure of leaf tissue to water (stressors – conidial suspension of *B. sorokiniana* – 5000 conidia per grain + sodium chloride 1.3%): 1 – variety Omskaya 18 (relatively resistant), 2 – variety Novosibirskaya 44 (relatively non-resistant). Differences with control are reliable at the level of $p \leq 0.01$

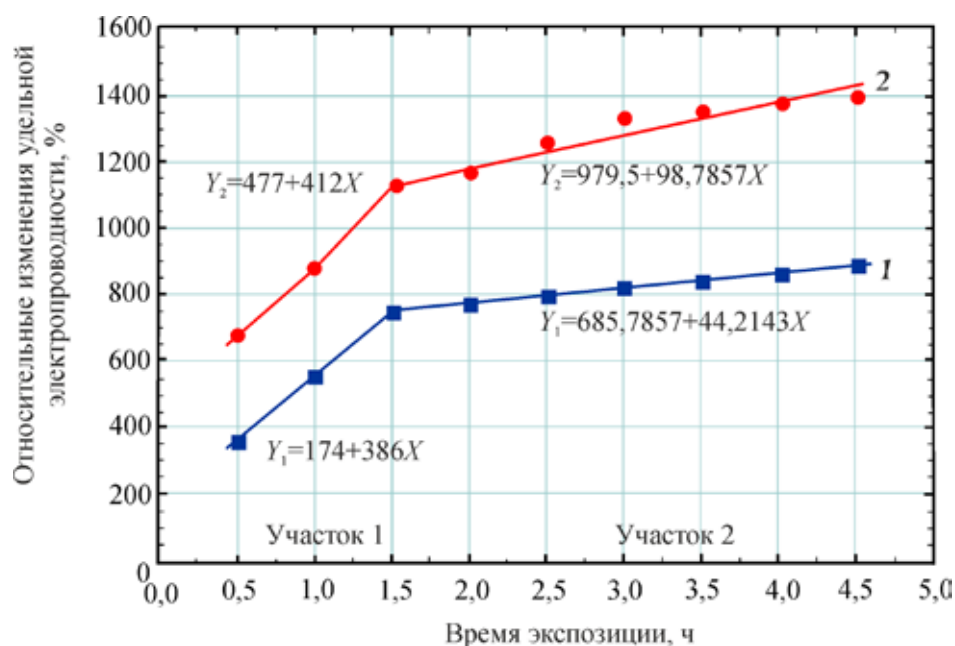


Рис. 2. Линейная аппроксимация относительного изменения удельной электропроводности водных вытяжек листьев пшеницы от длительности экспозиции листовой ткани в воде: 1 – сорт Омская 18 (относительно устойчивый); 2 – сорт Новосибирская 44 (относительно неустойчивый)

Fig. 2. Linear approximation of the relative change in the electrical conductivity of water extracts of wheat leaves on the duration of exposure of leaf tissue to water: 1 – variety Omskaya 18 (relatively resistant); 2 – variety Novosibirskaya 44 (relatively non-resistant)

симации (скорость выхода электролитов) для неустойчивого сорта Новосибирская 44 значительно превышает (более чем в 2 раза) скорость выхода электролитов у проростков устойчивого сорта Омская 18. Межсортные различия, установленные по временам экспозиций 1,5; 3,0 и 4,5 ч, составляли 1,5; 1,66 и 1,67 раза соответственно с достоверностью различий на уровне $p \leq 0,05$.

Таким образом, максимальные различия исследуемых сортов яровой пшеницы выявлены на временном интервале опыта 1,5–4,5 ч. Установлено время экспозиции образцов в воде (не менее 1,5 ч). При меньшем периоде экспозиции происходит выход электролитов только из свободного пространства (апопласта). Длительность экспозиции более 4,5 ч увеличивает продолжительность процедуры оценки образцов и снижает качество анализов. У более устойчивого сорта Омская 18 установлены наименьшие показатели относительного изменения УЭП и скорости выхода электролитов. Чем меньше относительное изменение УЭП, тем устойчивее сорт к совокупному действию кониди-

альной суспензии *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно) и 1,3% хлоридного засоления.

Исследование посуточной динамики выхода электролитов. Посуточную динамику УЭП вытяжек листьев исследовали у 10–16-суточных проростков сортов пшеницы Сибирская 21 (относительно устойчивый) и Новосибирская 18 (относительно неустойчивый). Эксперимент проведен без предварительного прогрева и с прогревом семян при совместном действии следующих стрессоров: конидиальной суспензии *B. sorokiniana* и хлорида натрия. Первичные экспериментальные данные представлены в таблице 1. Полученные результаты аппроксимированы графически в виде квадратичных зависимостей (см. рис. 3). Коэффициенты квадратных уравнений для каждого варианта опыта соответственно представлены в таблице 2. Анализ полученных данных опыта по исследованию посуточной динамики и соответствующих аппроксимационных квадратичных зависимостей позволил выявить следующие особенности.

Значение относительного изменения УЭП резко возрастает у 12-суточных про-

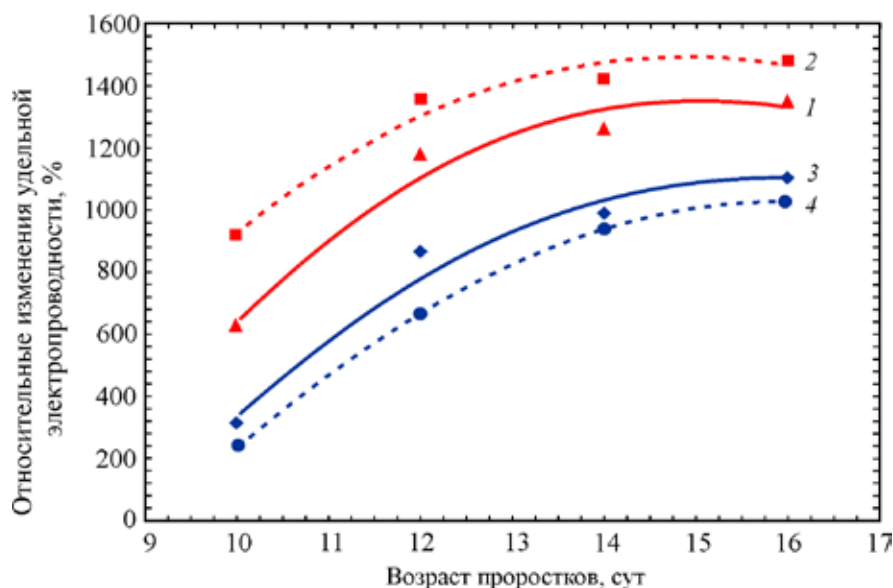


Рис. 3. Зависимость относительного изменения УЭП от возраста проростков при совместном действии стрессоров (конидиальная суспензия *B. sorokiniana* + хлорид натрия 1,3%): 1 – сорт Новосибирская 18, без прогрева семян; 2 – сорт Новосибирская 18, с прогревом семян; 3 – сорт Сибирская 21, без прогрева семян; 4 – сорт Сибирская 21, с прогревом семян

Fig. 3. Dependence of the relative change in EC on the age of seedlings under the combined action of stressors (conidial suspension of *B. sorokiniana* + chloride salinity 1.3%): 1 – Novosibirskaya 18, without seed heating; 2 – Novosibirskaya 18 variety, with seed heating; 3 – Sibirskaya 21, without seed heating; 4 – Sibirskaya 21, with seed heating

Табл. 1. Изменение удельной электропроводности сортов пшеницы в зависимости от возраста проростков при действии комплекса стрессоров, УЭП $\times 10^{-3}$ См/м

Table 1. Changes in the specific electrical conductivity of wheat varieties depending on the age of seedlings under the action of a complex of stressors, EC $\times 10^{-3}$ Cm/m

Сорт	Вариант	Возраст проростков, сут			
		10	12	14	16
Без прогрева семян					
Новосибир- ская 18	Контроль	3,5 ± 0,01	3,5 ± 0,05	3,1 ± 0,03	3,0 ± 0,05
	Конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	25,5 ± 0,5*	44,7 ± 0,5*	42,2 ± 0,3*	43,5 ± 0,5*
Сибирская 21	Контроль	5,1 ± 0,05	4,1 ± 0,06	4,0 ± 0,01	4,1 ± 0,07
	Конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	21,4 ± 0,7*	39,6 ± 1,1*	40,4 ± 0,9*	49,2 ± 1,2*
Прогрев семян 43 °С					
Новосибир- ская 18	Контроль	3,8 ± 0,03	3,8 ± 0,02	2,9 ± 0,03	3,0 ± 0,03
	Конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	38,7 ± 1,0*	55,4 ± 1,2*	44,1 ± 0,8*	47,4 ± 0,9*
Сибирская 21	Контроль	6,9 ± 0,08	4,8 ± 0,04	4,2 ± 0,03	4,0 ± 0,02
	Конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	23,8 ± 0,5*	36,8 ± 0,7*	43,6 ± 0,8*	45,4 ± 1,1*

* Различия с контролем достоверны на уровне значимости $p \leq 0,01$.

ростков с последующим увеличением показателя при культивировании в течение 16 сут у обоих сортов в вариантах с прогревом и без прогрева семян (см. табл.1 и рис. 3). В варианте без прогрева семян показатель относительного изменения УЭП у проростков сорта Новосибирская 18 на всем диапазоне исследований достоверно ($p \leq 0,05$) превышает показатель УЭП для устойчивого сорта Сибирская 21 (почти в 2 раза на 10-е сутки культивирования проростков). Предварительный прогрев семян с последующим действием двух стрессоров (*B. sorokiniana* и хлорида натрия) привел к дестабилизации клеточных мембран и достоверному ($p \leq 0,05$) увеличению УЭП проростков сорта Новосибирская 18 (относительно неустойчивый). У сорта Сибирская 21 прогрев семян стимулировал формирование защитно-приспособительных реакций, что выразилось в снижении УЭП за весь период культивирования проростков этого сорта. Одна из возможных причин такой комбинированной толерантности у проростков сорта Сибирская 21 – способность растений адаптировать существующие перекрестные реакции при действии стрессоров [28].

У обоих сортов разница относительного изменения УЭП в вариантах с прогревом

семян и без прогрева отмечена максимальной у 10-суточных проростков – 1,5 раза (сорт Новосибирская 18) и 1,3 раза (сорт Сибирская 21) с достоверностью различий на уровне $p \leq 0,05$. Межсортные максимальные различия зарегистрированы также у 10-суточных проростков, они в варианте без прогрева семян составляли 1,9 раза и в варианте с прогревом семян – 3,7 раза с достоверностью различий на уровне $p \leq 0,05$.

Одна из важных характеристик процесса – скорость его нарастания. Для характеристики скорости выхода электролитов проведен анализ линейных функций (производных от аппроксимационных зависимостей), который позволил выявить ряд особенностей (см. табл. 2).

Максимальный выход электролитов достигался при возрасте проростков около 15,5 сут для всех вариантов опытов (14,86; 14,95; 15,67; 16,25 сут), причем у сорта Новосибирская 18 – на сутки раньше, чем у сорта Сибирская 21. Угловым коэффициентом функции, характеризующий скорость изменения скорости выхода электролитов, также отмечен более высоким у сорта Новосибирская 18, что указывает на большую нестациональность клеточных мембран у данного сорта при совокупном действии стрессоров.

Табл. 2. Аналитические выражения аппроксимационных функций зависимости относительного изменения УЭП от возраста проростков**Table 2.** Analytical expressions of the dependence approximation functions of EC relative change on the age of seedlings

Вариант	Аналитическое выражение		Абцисса максиму- ма X_m , сут	Угловой коэффици- ент функ- ции Y_1
	Функция Y , УЭП	Производная Y_1		
<i>Сорт Новосибирская 18</i>				
Семена без прогрева + конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	$Y_1 = -28,8125X^2 + 861,275X - 5080,45$	$-57,6250X + 861,275$	14,95	-57,6
Прогрев семян + кони- диальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	$Y_2 = -23,5625X^2 + 700,675X - 3713,65$	$-47,1250X + 700,675$	14,86	-47,1
<i>Сорт Сибирская 21</i>				
Семена без прогрева + конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	$-22,3125X^2 + 699,475X - 412,050$	$-44,6250X + 699,475$	15,67	-44,6
Прогрев семян + кони- диальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + хлорид натрия	$-20,3188X^2 + 660,353X - 4327,895$	$-40,6376X + 660,353$	16,25	-40,6

Таким образом, в условиях последовательного действия стрессоров установлен протекторный эффект гипертермии у более устойчивого сорта Сибирская 21 (достоверное снижение УЭП до 1,3 раза) по сравнению с вариантом без прогрева семян. У менее устойчивого сорта Новосибирская 18 прогрев семян дестабилизировал состояние клеточных мембран (достоверное увеличение УЭП и скорости выхода электролитов в 1,5 и 1,2 раза соответственно).

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлена информативность УЭП водных вытяжек листьев как показателя изменения проницаемости клеточных мембран проростков для определения стрессоустойчивости сортов пшеницы к совокупному действию возбудителя корневой гнили злаков, хлоридного засоления и гипертермии семян.
2. Определена зависимость УЭП водных вытяжек листьев четырех сортов яровой пшеницы от устойчивости к одновременному и последовательному совокупному действию гипертермии семян

(43 °C), хлоридного засоления (1,3%) и возбудителя обыкновенной гнили злаков *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно). Наименьшие изменения величины УЭП и скорости выхода электролитов зарегистрированы у проростков относительно устойчивых сортов яровой пшеницы Омская 18 и Сибирская 21.

3. При исследовании почасовой динамики выхода электролитов (экспозиция листьев проростков в воде 0,5–4,5 ч) при одновременном действии *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно) и хлоридного засоления (1,3%) установлено достоверное увеличение показателя относительного изменения УЭП в 1,5 раза и скорости увеличения выхода электролитов в 2 раза у менее устойчивого сорта Новосибирская 44 по сравнению с более устойчивым сортом Омская 18.
4. В исследовании посуточной динамики выхода электролитов у 10–16-суточных проростков при последовательном действии гипертермии семян (43 °C), *B. sorokiniana* (5000 конидий на зерно) и хлоридного засоления (1,3%) протекторный эффект ги-

пертермии установлен у более устойчивого сорта Сибирская 21. Отмечено достоверное ($p \leq 0,05$) снижение относительно изменения УЭП в 1,3 раза по сравнению с вариантом без прогрева семян. У менее устойчивого сорта Новосибирская 18 прогрев семян дестабилизировал состояние клеточных мембран, что привело к достоверному ($p \leq 0,05$) увеличению относительного изменения УЭП и скорости выхода электролитов в 1,5 и 1,2 раза соответственно.

- Получены аналитические выражения, подтверждающие экспериментально установленные методические приемы кондуктометрических измерений, обеспечивающих максимальные межсортные различия: возраст проростков – 10 сут; временной интервал экспозиции образцов в воде – 1,5–4,5 ч. Межсортные различия в варианте без прогрева семян составляли 1,9 раза и в варианте с прогревом семян – 3,7 раза с достоверностью различий на уровнях $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$. Межсортные различия, установленные на интервале времени экспозиции выхода электролитов 1,5–4,5 ч, составляли 1,50–1,67 раза с достоверностью различий на уровне $p \leq 0,05$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гончарова Э.А., Еремин Г.В., Гасанова Т.А. Экспресс-методы оценки стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур и стратегия их диагностики для селекции // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 21–24.
- Карманенко Н.М. Адаптация зерновых культур к стрессовым факторам: монография. М.: Издательство ВНИИА, 2014. 160 с.
- Полонский В.И. Оценка функционального состояния растений: продукционные, селекционные и экологические аспекты: монография. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2014. 408 с.
- Suzuki N., Rivero R.M., Shulaev V., Blumwald E., Mittler R. Abiotic and biotic stress combinations // New Phytologist. 2014. Vol. 203. N 1. P. 32–43.
- Гурова Т.А., Осипова Г.М. Проблема сопряженной стрессоустойчивости растений при изменении климата в Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 2. С. 81–92. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-2-11.
- Ahmed I., Dai H., Zheng W., Gao F., Zhang G., Sun D., Wu F. Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley // Plant Physiology and Biochemistry. 2013. Vol. 63. P. 49–60.
- Zhong-Guang L., Ming G. Mechanical stimulation-induced cross-adaptation in plants: An overview // Journal Plant Biology. 2011. Vol. 54. P. 358–364. DOI: 10.1007/s12374-011-9178-3.
- Валитова Ю.Н., Хабибрахманова В.Р., Белкина А.В., Ренкова А.Г., Минабаева Ф.В. Липидный профиль корней пшеницы при действии мембранотропных агентов // Биологические мембраны: Журнал мембранной и клеточной биологии. 2020. Т. 37. № 6. С. 466–476.
- Грищенко Н.Н., Лукаткин А.С. Определение устойчивости растительных тканей к абиотическим стрессам с использованием кондуктометрического метода // Поволжский экологический журнал. 2005. № 1. С. 3–11.
- Терлецкая Н.В. Проницаемость клеточных мембран как показатель устойчивости растений к абиотическим стрессам // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. 2009. № 2. С. 60–64.
- Demidchik V., Straltsova D., Medvedev S.S., Pozhvanov G.A., Sokolik A., Yurin V. Stress – induced electrolyte leakage: the role of K⁺- permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment // Journal of Experimental Botany. 2014. Vol. 65 (5). P. 1259–1270. DOI: 10.1093/jxb/eru 004.
- Астахова Н.В., Попов В.Н., Селиванов А.А., Бураханова Е.А., Алиева Г.П., Мошков И.Е. Реорганизация ультраструктуры хлоропластов при низкотемпературном закаливании растений арабидопсиса // Физиология растений. 2014. Т. 61. № 6. С. 790–798.
- Danielle Fiebelkorn, David Horvath & Mukhlesur Rahman. Genome-wide association study for electrolyte leakage in rapeseed/canola

- (*Brassica napus*) // *Molecular Breeding*. 2018. Vol. 38. P. 129.
14. Поминов А.В., Дьячук Т.И., Кибкало И.А., Хомякова О.В., Акинина В.Н. Оценка засухоустойчивости растений сортообразцов тритикале мировой коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова // *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2016. № 1–2. С. 38–40.
15. Аллагулова Ч.Р., Авальбаев А.М., Федорова К.А., Шакирова Ф.М. Снижение степени индуцируемых засухой окислительных повреждений в растениях пшеницы при обработке донором NO // *ЭКОБИОТЕХ*. 2020. Т. 3. № 2. С. 181–186.
16. Hatsugai N., Katagiri F. Quantification of Plant Cell Death by Electrolyte Leakage Assay // *Bio-protocol*. 2018. Vol. 8(5). P. 2758. DOI: 10.21769/BioProtoc.2758.
17. Imanifard Z., Vandelle E., Bellin D. Measurement of hypersensitive cell death triggered by avirulent bacterial pathogens in *Arabidopsis* // *Methods in Molecular Biology*. 2018. Vol. 1743. P. 39–50. DOI: 10.1007 / 978-1-4939-7668-3_4.
18. Якунина А.В., Синицына Ю.В., Крутова Е.К., Веселов А.П. Изучение влияния пирабактина на урожайность растений гороха посевного *Pisum sativum* L. и анализ изменений перекисного окисления липидов и выхода электролитов как возможных факторов этого воздействия // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2020. № 4 (32). С. 3–12.
19. Безрукова М.В., Кудоярова Г.Р., Лубянова А.Р., Масленникова Д.Р., Шакирова Ф.М. Влияние 24-эпибрассинолида на водный обмен отличающихся по засухоустойчивости сортов пшеницы при осмотическом стрессе // *Физиология растений*. 2021. Т. 68. № 2. С. 161–169.
20. Sánchez-Viveros G., González- Mendoza D., Alarcón A. Copper Effects on Photosynthetic Activity and Membrane Leakage of *Azolla filiculoides* and *A. caroliniana* // *International Journal of Agriculture & Biology*. 2010. Vol. 12. P. 365–368.
21. Репкина Н.С., Таланова В.В., Тумов А.Ф., Букарева И.В. Реакция растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на раздельное и совместное действие низкой температуры и кадмия // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2014. № 5. С. 133–139.
22. Хохлова Л.П., Валиулина Р.Н., Мидер Д.Р., Акберова Н.И. Термостабильность мембран и экспрессия генов низкомолекулярных белков теплового шока при действии на растения повышенных температур и водного дефицита // *Биологические мембраны*. 2015. Т. 33. № 1. С. 59–71.
23. Лукаткин А.С., Старкина М.И. Влияние тидиазурина на устойчивость проростков огурца к стрессовым факторам // *Агрохимия*. 2009. № 10. С. 31–38.
24. Pandey S. K., Sujata Upadhyay, Zaffar Mehdi Dar, Hemantaranjan, A and Sri-vastava, J.P. Effect of electrolyte leakage activity on mungbean leaf under induced salinity and zinc levels // *International Journal of Current Research*. 2017. Vol. 9. Is. 06. P. 52438–52440.
25. Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е. Адаптация сортов пшеницы при гипертермии, хлоридном засолении и инфицировании *Bipolaris sorokiniana* Shoem. // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. № 6. С. 12–25. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-2.
26. Гурова Т.А., Луговская О.С., Свежинцева Е.А. Адаптивные реакции проростков пшеницы, дифференцирующие сорта при гипертермии // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Т. 49. № 3. С. 31–40. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-3-4.
27. Коваль С.Ф., Шаманин В.П. Растение в опыте: монография. Омск: Издательство ИЦиГ СО РАН, ОмГАУ, 1999. 204 с.
28. Naghmeh Nejat, Nitin Mantri. Plant Immune System: Crosstalk Between Responses to Biotic and Abiotic Stresses the Missing Link in Understanding Plant Defence // *Current Issues in Molecular Biology*. 2017. Vol. 23. P. 1–16. DOI: 10.21775/cimb.023.001.

REFERENCES

1. Goncharova E.A., Eremin G.V., Gasanova T.A. Express-methods of evaluation of stress resistance of cultivated crops and strategy for their diagnosis for breeding. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk = Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2015, no. 5, pp. 21–24. (In Russian).
2. Karmanenko N.M. *Adaptation of crops to stress factors*. Moscow, Izdatel'stvo VNIIA, 2014, 160 p. (In Russian).

3. Polonskii V.I. *Assessment of the functional state of plants: production, breeding and ecological aspects*. Krasnoyarsk, Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2014, 408 p. (In Russian).
4. Suzuki N., Rivero R.M., Shulaev V., Blumwald E., Mittler R. Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 2014, vol. 203, no. 1, pp. 32–43.
5. Gurova T.A., Osipova G.M. The problem of combined stress resistance of plants under climate change in Siberia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 81–92. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-2-11.
6. Ahmed I., Dai H., Zheng W., Gao F., Zhang G., Sun D., Wu F. Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, vol. 63, pp. 49–60.
7. Zhong-Guang L., Ming G. Mechanical stimulation-induced cross-adaptation in plants: An overview. *Journal Plant Biology*, 2011, vol. 54, pp. 358–364. DOI: 10.1007/s12374-011-9178-3.
8. Valitova Yu.N., Khabibrakhmanova V.R., Belkina A.V., Renkova A.G., Minibaeva F.V. The lipid profile of wheat roots treated with membranotropic agents. *Biologicheskie membrany: Zhurnal membranoi i kletochnoi biologii = Biochemistry (Moscow) supplement. Series A: Membrane and Cell Biology*, 2020, vol. 37, no. 6, pp. 466–476. (In Russian).
9. Grishenkova N.N., Lukatkin A.S. A conductometric technique to estimate the plant tissue stability to abiotic stresses. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal = Povolzhsky Journal of Ecology*, 2005, no. 1, pp. 3–11. (In Russian).
10. Terletskaya N.V. Permeability of cell membranes as an indicator of plant resistance to abiotic stress. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan = Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2009, no. 2, pp. 60–64. (In Russian).
11. Demidchik V., Straltsova D., Medvedev S.S., Pozhvanov G.A., Sokolik A., Yurin V. Stress – induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *Journal of Experimental Botany*, 2014, vol. 65 (5), pp. 1259–1270. DOI: 10.1093/jxb/eru 004.
12. Astakhova N.V., Popov V.N., Selivanov A.A., Burakhanova E.A., Alieva G.P., Moshkov I.E. Reorganization of chloroplast ultrastructure associated with low-temperature hardening of Arabidopsis plants. *Fiziologiya rastenii = Russian Journal of Plant Physiology*, 2014, vol. 61, no. 6, pp. 790–798. (In Russian).
13. Danielle Fiebelkorn, David Horvath & Mukhlesur Rahman. Genome-wide association study for electrolyte leakage in rapeseed/canola (*Brassica napus*). *Molecular Breeding*, 2018, vol. 38, pp. 129.
14. Pominov A.V., D'yachuk T.I., Kibkalo I.A., Khomyakova O.V., Akinina V.N. Evaluation of drought resistance of samples of plants of triticale varieties of the world collection of All-Union Research Institute of Plant Breeding named after Vavilov N.I. *Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka = Agrarian Bulletin of the South-East*, 2016, no. 1–2, pp. 38–40. (In Russian).
15. Allagulova Ch.R., Aval'baev A.M., Fedorova K.A., Shakirova F.M. NO-induced reduction of oxidative stress level in wheat plants under drought conditions. *EKOBIOTEKH = ECO-BIOTECH*, 2020, vol. 3, no. 2, pp. 181–186. (In Russian).
16. Hatsugai N., Katagiri F. Quantification of Plant Cell Death by Electrolyte Leakage Assay. *Bio-protocol*. 2018, vol. 8(5), p. 2758. DOI: 10.21769/BioProtoc.2758.
17. Imanifard Z., Vandelle E., Bellin D. Measurement of hypersensitive cell death triggered by avirulent bacterial pathogens in Arabidopsis. *Methods in Molecular Biology*, 2018, vol. 1743, pp. 39–50. DOI: 10.1007 / 978-1-4939-7668-3_4.
18. Yakunina A.V., Sinitsyna Yu.V., Krutova E.K., Veselov A.P. The study of the pirabactin effect on the yield of *Pisum sativum* L. and analysis of changes in lipid peroxidation and electrolytes leakage as possible factors of this effect. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki = University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*, 2020, no. 4 (32), pp. 3–12. (In Russian).
19. Bezrukova M.V., Kudoyarova G.R., Lubyanova A.R., Maslennikova D.R., Shakirova F.M. Influence of 24-Epibrassinolide on water exchange of wheat varieties various in dry resistance under osmotic stress. *Fiziologiya rastenii = Russian Journal of Plant Physiology*,

- 2021, vol. 68, no. 2, pp. 161–169. (In Russian).
20. Sánchez-Viveros G., González- Mendoza D., Alarcón A. Copper Effects on Photosynthetic Activity and Membrane Leakage of *Azolla filiculoides* and *A. caroliniana*. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2010, vol. 12, pp. 365–368.
21. Repkina N.S., Talanova V.V., Titov A.F., Bukareva I.V. Wheat response to separate and combined impact of low temperature and cadmium. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences*, 2014, no. 5, pp. 133–139. (In Russian).
22. Khokhlova L.P., Valiulina R.N., Mider D.R., Akberova N.I. Membrane thermostability and gene expression of small-heat shock protein in wheat shoots exposed to elevated temperatures and water deficiency. *Biologicheskie membrany = Biochemistry (Moscow) supplement. Series A: Membrane and Cell Biology*, 2015, vol. 33, no. 1, pp. 59–71. (In Russian).
23. Lukatkin A.S., Starkina M.I. Effect of thidiazuron on the resistance of cucumber seedlings to stress factors. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry*, 2009, no. 10, pp. 31–38. (In Russian).
24. Pandey S.K., Sujata Upadhyay, Zaffar Mehdi Dar, Hemantaranjan A., Sri-vastava J.P. Effect of electrolyte leakage activity on mungbean leaf under induced salinity and zinc levels. *International Journal of Current Research*, 2017, vol. 9, is. 06, pp. 52438–52440.
25. Gurova T.A., Svezhintseva E.A., Chesnochenko N.E. Adaptation of wheat varieties to hyperthermia, chloride salinity and *Bipolaris sorokiniana* Shoem. infection. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, no. 6, pp. 12–25. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-2.
26. Gurova T.A., Lugovskaya O.S., Svezhintseva E.A. Adaptive reactions of wheat seedlings differentiating varieties under hyperthermia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no. 3, pp. 31–40. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2019-3-4.
27. Koval' S.F., Shamanin V.P. *Plant in an experiment*. Omsk, ITsIG SO RAN Publ., OmGAU, 1999, 204 p. (In Russian).
28. Naghmeh Nejat, Nitin Mantri. Plant Immune System: Crosstalk Between Responses to Biotic and Abiotic Stresses the Missing Link in Understanding Plant Defence. *Current Issues in Molecular Biology*, 2017, vol. 23, pp. 1–16. DOI: 10.21775/cimb.023.001.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Гурова Т.А., кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией:
адрес для переписки: Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: guro-tamara@yandex.ru

Свежинцева Е.А., младший научный сотрудник

Чесноченко Н.Е., научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ Tamara A. Gurova, Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head; address: PO Box 463, SFSCA RAS Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: guro-tamara@yandex.ru

Elena A. Svezhintseva, Junior Researcher

Natalia E. Chesnochenko, Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 7.04. 2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 10.06.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ТОМСКОЙ СЕЛЕКЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЛЬНОТРЕСТЫ

✉ **Виноградова Т.А., Кудряшова Т.А., Козьякова Н.Н.**

Федеральный научный центр лубяных культур

Тверь, Россия

✉ e-mail: info.trk@fncl.ru

Приведены сведения о структуре посевных площадей льна-долгунца в России в 2016–2020 гг. Сорты томской селекции занимают почти 30% от общей площади посевов. Исследования проводили в льносеющих регионах России в 2001–2020 гг. Определена технологическая ценность льносырья изучаемых сортов льна-долгунца при переработке льнотресты различного качества на льноперерабатывающих предприятиях. Изучены показатели по общему выходу волокна, выходу длинного волокна, выходу короткого волокна, номеру длинного волокна, номеру короткого волокна, а также по комплексу указанных признаков. Установлена эффективность использования потенциальных возможностей изучаемых сортов по отношению к данным Госсортоиспытания. По результатам переработки льнотресты и рейтинговой оценки указанных сортов в сравнении с лучшими и худшими сортами установлено, что для низкокачественной льнотресты к числу сортов могут быть отнесены следующие: Томский 18 – по выходу короткого волокна (24,9%), Томский 16 – по номеру длинного волокна (11,08 N), Тост – по номеру короткого волокна (3,42 N) и комплексу признаков (средний индекс рейтинга 9,8 позиций). К группе лучших сортов по общему выходу волокна принадлежат сорта Томский 18 (33,2%) и Тост (32,2%), выходу длинного волокна Тост (13,1%), выходу (23,2%) и номеру (5,20 N) короткого волокна Томский 18 (высококачественная льнотреста). Уровень реализации биологического потенциала, установленного при Госсортоиспытании, всех представленных сортов в производственных условиях при переработке льнотресты по общему выходу волокна и выходу длинного волокна недостаточен. Его значение для сортов Томской школы селекции составляет по общему выходу волокна 65,2–86,3%, выходу длинного волокна 17,6–31,4% (низкокачественная льнотреста), 77,7–94,2 и 30,5–52,2% соответственно (высококачественная льнотреста).

Ключевые слова: лен-долгунец, льнотреста, выход волокна, льноперерабатывающие предприятия

EFFICIENCY OF USING THE BIOLOGICAL POTENTIAL OF FIBER FLAX VARIETIES OF THE TOMSK SCHOOL OF BREEDING IN FLAX STRAW PROCESSING

✉ **Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Kozyakova N.N.**

Federal Research Center for Bast Fiber Crops,

Tver, Russia

✉ e-mail: info.trk@fncl.ru

The information on the structure of the areas cultivated with fiber flax in Russia in 2016–2020 is presented. The varieties of the Tomsk school of breeding occupy almost 30% of the total area under crops. The study was carried out in the flax-growing regions of Russia in 2001–2020. The technological value of flax raw material of the studied varieties of fiber flax for processing flax of various quality at flax processing enterprises was determined. The indicators for the total fiber yield, long and short fiber yield, long fiber number and short fiber number, and the combination of these features were studied. The efficiency of using the potential capabilities of the studied varieties in relation to the data of the State Variety Testing was established. According to the results of flax straw processing and the rating assessment of these varieties in relation to the best and worst ones, it was found that the following varieties can be referred to as the ones with low-quality flax straw: Tomsk 18 – by the yield of short

fiber (24.9%), Tomsk 16 – by the number of long fiber (11.08 N), Tost – by the number of short fiber (3.42 N) and the complex of features (average rating index of 9.8 positions). The group of the best varieties for the total fiber yield includes Tomsk 18 (33.2%) and Tost (32.2%), for the long fiber yield – Tost (13.1%), for the short fiber yield (23.2%) and the number of short fiber (5.20 N) – Tomsk 18 (high-quality flax). None of the varieties presented fulfil the biological potential in the processing of flax straw under production conditions in terms of the total fiber yield and the yield of long fiber, established by the State Variety Testing. Its value for the varieties of the Tomsk school of breeding is 65.2–86.3% for the total fiber yield, 17.6–31.4% for the long fiber yield (low-quality flax straw), 77.7–94.2 and 30.5–52.2%, respectively (high-quality flax straw).

Keywords: fiber flax, flax straw, fiber yield, flax processing enterprises

Для цитирования: Виноградова Т.А., Кудряшова Т.А., Козьякова Н.Н. Эффективность использования биологического потенциала сортов льна-долгунца томской селекции при переработке льнотресты // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 44–55. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-5>

For citation: Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Kozyakova N.N. Efficiency of using the biological potential of fiber flax varieties of the Tomsk school of breeding in flax straw processing. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 44–55. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-5>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях перед льняной отраслью поставлена важная задача, связанная с импортозамещением, – создание надежной и стабильной отечественной сырьевой базы в производстве льна-долгунца, способной удовлетворить требования льноперерабатывающих предприятий в качественной волокнистой продукции [1–3]. Повышение эффективности производства льна-долгунца и конкурентоспособности его продукции зависит от многих факторов [4–7]. Один из самых важных – выведение новых отечественных сортов, обладающих хозяйственно ценными признаками и высокой степенью их проявления при переработке льнотресты в производственных условиях [8–10]. Этим требованиям среди других сортов как отечественного, так и зарубежного происхождения отвечают и сорта Томской школы селекции¹ [11–13].

С 2016 по 2020 г. посевные площади в России под данными сортами составили в среднем почти 30% общей площади². В силу различных причин (в первую очередь из-за недостаточного объема семян сортов отече-

ственной селекции) почти на 30% площадей возделывают сорта льна-долгунца зарубежной селекции (см. табл. 1) [1, 2, 7]. Учитывая высокую распространенность в посевах сортов томской селекции, необходимо оценить их значимость с позиции технологической льнотресты при переработке на волокно. По традиционной технологии переработки льнотресты на длинное и короткое волокно технологическая ценность обуславливается их выходом и качеством³ [14]. Известно, что биологический потенциал сортов, который определяется при Госсортоиспытании, в практической деятельности льноперерабатывающих предприятий проявляется далеко не полностью.

Цель исследования – определить технологическую ценность льнотресты сортов томской селекции в сравнении с другими сортами отечественного и зарубежного происхождения при первичной переработке льнотресты различного качества; оценить эффективность использования биологического потенциала указанных сортов льна-долгунца по основным признакам при переработке льнотресты в производственных условиях.

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к возделыванию в РФ. 2016. 450 с.

²Сортовые посевы льна-долгунца и конопли в 2015–2016 годах. Статистические данные «Агенство «Лен». 2016–2020.

³Пат. 2597552 С1 (Российская Федерация) Способ оценки технологической ценности стеблей льна-долгунца / В.А. Романов, Т.А. Рожмина, М.М. Ковалев С.Л. Белопухов. Заявл. 10.03.2015.

Табл. 1. Структура посевных площадей сортов льна-долгунца томской селекции (2016–2020 гг.)
Table 1. Structure of areas cultivated with fiber flax varieties of the Tomsk School of Breeding (2016–2020)

Год урожая	Общая площадь, тыс. га, %	%	Отече- ствен- ные сорта, тыс. га, %	Зару- бежные сорта, тыс. га, %	Несо- ртовые посевы, тыс. га	Посевная площадь, га, %									Всего, тыс. га, %	
						Томский 16	Томский 17	Томский 18	Тост	Тост 3	Тост 4	Тост 5	Памяти Креп- кова	Томич		Томич 2
2016	44,695		27,533	13,880	3,282	1208	9395	3938	6136	234	20	194	—	—	—	21,12
	100	К графе 2	61,6	31,1	7,3	2,7	21,0	8,8	13,7	0,52	0,04	0,43	—	—	—	47,2
2017	44,971		100	50,2	11,9	4,4	3,4	14,3	22,3	0,85	0,07	0,70	—	—	—	76,7
	100	К графе 2	24,949	11,600	8,422	500	5607	5076	—	228	64	130	—	1	—	11,596
2018	44,500		55,5	25,8	18,7	1,1	12,5	11,3	—	0,51	0,12	0,29	—	0,002	—	25,8
	100	К графе 4	100	46,5	33,8	2,0	22,5	20,3	—	0,91	0,26	0,52	—	0,01	—	46,5
2019	49,70		23,308	14140	7,052	723	5567	4092	—	100	47	416	—	—	—	10,945
	100	К графе 2	52,4	31,8	15,8	1,6	12,5	9,2	—	0,22	0,11	0,94	—	—	—	24,6
2020	53,200		100	60,7	30,2	3,1	23,9	17,6	—	0,43	0,20	1,78	—	—	—	47,0
	100	К графе 4	26,972	13600	9,128	—	6945	4474	—	407	32	725	24	182	—	12,640
Среднее	47,413		54,2	27,4	18,4	—	14,0	9,0	—	0,82	0,06	1,46	0,05	0,04	—	25,4
	100	К графе 2	100	50,4	33,8	—	25,7	16,6	—	1,51	0,12	2,69	0,09	0,07	—	46,9
Среднее	47,413		32,043	12700	8,457	—	7446	4749	—	438	152	1004	149	3	14	13,940
	100	К графе 4	60,2	23,9	15,9	—	14,0	8,9	—	0,82	0,29	1,9	0,28	0,01	0,03	26,2
Среднее	47,413		100	39,6	26,4	—	23,2	14,8	—	1,37	0,47	0,01	0,46	0,01	0,05	43,5
	100	К графе 2	26,961	13,184	7,268	486	6978	4466	1227	281	63	494	35	37	3,0	14,048
Среднее	47,413		56,9	27,8	15,3	1,1	14,8	9,4	2,7	0,6	0,12	1,00	0,07	0,01	0,01	29,6
	100	К графе 4	100	49,5	27,2	1,9	25,9	16,7	4,5	1,0	0,22	1,14	0,11	0,02	0,01	52,1

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены с 2001 по 2020 г. в условиях льносеющих хозяйств и льноперерабатывающих предприятий Тверской, Смоленской, Псковской, Костромской, Вологодской областей, а также на базе Всероссийского научно-исследовательского института льна (в настоящее время Федеральный научный центр лубяных культур). По специальной методической программе, которая разработана для установления нормативов перевода в волокно льнотресты новых сортов льна-долгунца, подготавливали партии льнотресты различного качества каждого изучаемого сорта⁴ [5, 7]. Масса каждой партии составляла не менее 2 т. Часть партий представлена низкокачественной льнотрестой (номера 0,50–0,75), часть – высококачественной (номер 1,00 и более). При проведении контрольных разработок на льноперерабатывающих предприятиях в соответствии с правилами технической эксплуатации льнозаводов устанавливали оптимальный режим работы оборудования. По действующим ГОСТам на всех переходах производства определяли качество льнотресты, длинного и короткого волокна. При нормированной влажности и засоренности льнотресты и волокна устанавливали общий выход, выход длинного и короткого волокна из каждой партии. Применяли следующее оборудование: сушилку для льнотресты СКП-10ЛУ, мяльно-трепальный агрегат МТЛ-1, машину для обработки недотрепа ТЛ-4-2, сушилку для короткого волокна СКП-10КУ, куделеприготовительный агрегат КПАЛ. Госсортоиспытания на сортоучастках льносеющих регионов Российской Федерации проходили согласно существующей методике⁵. Статистическую обработку экспериментальных данных вели с применением методов математической статистики [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За время исследований определена технологическая ценность льнотресты при переработке на волокно 18 сортов отечественной селекции и 12 – зарубежной. Сорта томской селекции – Томский 16, Томский 17, Томский 18, Тост. Общий выход волокна, выход и номер длинного и короткого волокна определяли в ходе проведения контрольных разработок для двух групп льнотресты: низкокачественной и высококачественной отдельно по каждой партии льнотресты определенного сорта. По средним значениям признаков выделено по 6 сортов с максимальным и минимальным значением по общему выходу волокна, выходу длинного волокна, выходу короткого, номеру длинного волокна, номеру короткого. Данные приведены в табл. 2, 3 (низкокачественная льнотреста) и табл. 4, 5 (высококачественная льнотреста). В таблицах указано, что как в группу лучших, так и в группу худших сортов по отдельным признакам входят не одни и те же сорта. Например, максимальное среднее значение общего выхода волокна из низкокачественной льнотресты (см. табл. 2.) зафиксировано у сорта Александрит (30,3%), выхода длинного волокна – у сорта Ленок (11,1%), короткого – у сорта Дипломат (25%), номера длинного волокна – у сорта Томский 16 (11,08 N), короткого – у сорта Тверской (4,0 N) (см. табл. 3). Для сортов томской селекции отмечена следующая картина: с максимальным значением выхода короткого волокна выделен Томский 18, номера длинного волокна – Томский 16, с минимальным значением общего выхода волокна – Томский 16, выхода длинного – Томский 17, Томский 18 (см. табл. 2, 3). По остальным признакам указанные сорта занимают промежуточное положение. Из данных, представленных в табл. 4, 5 (высококачественная льнотреста), следует, что к лучшим сортам по общему выходу волокна относятся сорта

⁴Распоряжение Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 23-р от 10 марта 2016 г. «Порядок определения нормативов перевода тресты льна и конопли в волокно» (В редакции Постановления Правительства Российской Федерации № 450 от 12.06. 2008). 7 с.

⁵Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1985. 263 с.

Табл. 2. Сорты льна-долгунца с минимальным и максимальным значением общего выхода, выхода длинного и короткого волокна (низкокачественная льнотреста)

Table 2. Varieties of fiber flax with a minimum and maximum value of the total yield, the yield of long and short fiber (low-quality flax straw)

Сорт	Общий выход волокна, %	Сорт	Выход длинного волокна, %	Сорт	Выход короткого волокна, %
<i>Сорта с максимальным значением признаков</i>					
Александрит	30,3	Ленок	11,1	Дипломат	25,0
Дипломат	29,7	Зарянка	9,6	Томский 18	24,9
А 93	29,5	Александрит	9,4	Сурский	23,5
Альфа	29,0	Лидер	9,0	Электра	23,4
Эскалина	28,9	Грант	8,7	А 93	23,2
Грант	28,6	Альфа	8,6	Эскалина	23,0
<i>Сорта томской селекции</i>					
Томский 16	22,7		4,0		18,8
Томский 17	26,5		3,6		22,9
Томский 18	27,6		2,7		24,9
Тост	27,1		6,2		20,8
<i>Сорта с минимальным значением признаков</i>					
Агата	21,0	Электра	2,7	Агата	14,0
Цезарь	21,1	Томский 18	2,7	Зарянка	15,7
Сюзанна	22,4	Сюзанна	3,1	Цезарь	16,8
Томский 16	22,7	Лири	3,4	Ленок	17,0
Лири	23,4	Сурский	3,6	Василек	18,0
Могилевский 2	23,7	Томский 17	3,6	Лидер	18,7

Табл. 3. Сорты льна-долгунца с минимальным и максимальным значением номера длинного и короткого волокна (низкокачественная льнотреста)

Table 3. Varieties of fiber flax with a minimum and maximum value of the long and short fiber number (low-quality flax straw)

Сорт	Номер длинного волокна, N	Сорт	Номер короткого волокна, N
<i>Сорта с максимальным значением признаков</i>			
Томский 16	11,08	Тверской	4,00
Зарянка	11,00	Алексим	3,75
Альфа	11,00	Альфа	3,71
Ленок	10,80	Лидер	3,50
Василек	10,70	Тост	3,42
Тост	10,67	Александрит	3,38
<i>Сорта томской селекции</i>			
Томский 16	11,08		3,00
Томский 17	10,24		3,00
Томский 18	10,08		3,00
Тост	10,67		3,42
<i>Сорта с минимальным значением признаков</i>			
Сурский	8,96	Пралеска	2,00
Александрит	9,60	Универсал	2,00
Лидер	9,70	Сюзанна	2,25
Импульс	9,73	Могилевский 2	2,50
Грант	9,88	Эскалина	2,50
Эскалина	10,00	Цезарь	2,50

Табл. 4. Сорты льна-долгунца с минимальным и максимальным значением общего выхода, выхода длинного и короткого волокна (высококачественная льнотреста)

Table 4. Varieties of fiber flax with a minimum and maximum value of the total yield, the yield of long and short fiber (high-quality flax straw)

Сорт	Общий выход волокна, %	Сорт	Выход длинного волокна, %	Сорт	Выход короткого волокна, %
<i>Сорта с максимальным значением признаков</i>					
Альфа	33,6	Лири	15,3	Пралеска	26,0
Тверской	33,3	Альфа	14,5	Электра	25,5
Томский 18	33,2	Александрит	13,6	Вералин	23,2
Вералин	33,2	Ленок	13,2	Томский 18	23,2
Пралеска	33,1	Тост	13,1	А 93	22,6
Тост	32,2	Сурский	12,6	Импульс	22,3
<i>Сорта томской селекции</i>					
Томский 16	27,1		6,9		20,4
Томский 17	31,0		11,2		19,8
Томский 18	33,2		9,9		23,2
Тост	32,2		13,1		17,2
<i>Сорта с минимальным значением признаков</i>					
Алексим	25,3	Электра	6,3	Сюзанна	14,4
Сюзанна	25,5	Томский 16	6,9	Алексим	15,2
Томский 16	27,1	Пралеска	7,1	Лири	16,1
Смолич	28,2	София	7,7	Тост	17,2
Дашковский	28,4	Дашковский	8,2	Ленок	17,4
Могилевский 2	28,6	Смолич	8,3	Зарянка	17,6

Табл. 5. Сорты льна-долгунца с минимальным и максимальным значением номера длинного и короткого волокна (высококачественная льнотреста)

Table 5. Varieties of fiber flax with a minimum and maximum value of the long and short fiber number (high-quality flax straw)

Сорт	Номер длинного волокна, N	Сорт	Номер короткого волокна, N
<i>Сорта с максимальным значением признаков</i>			
Альфа	12,10	Томский 18	5,20
Зарянка	11,95	Тверской	4,00
Лидер	11,60	Зарянка	4,00
Дашковский	11,52	Лидер	4,00
Алексим	11,48	Импульс	4,00
Агата	11,47	Вералин	4,00
<i>Сорта томской селекции</i>			
Томский 16	11,23		3,20
Томский 17	11,02		3,40
Томский 18	10,06		5,20
Тост	10,66		3,54
<i>Сорта с минимальным значением признаков</i>			
Грант	10,00	Пралеска	2,07
Вералин	10,04	Универсал	2,80
Томский 18	10,06	Могилевский 2	2,84
София	10,46	Грант	2,84
Сурский	10,50	София	3,00
Александрит	10,50	Дипломат	3,11

Томский 18 (33,2%), Тост (32,2%), выходу длинного волокна – Тост (13,1%), короткого – Томский 18 (23,2%), номеру короткого волокна – Томский 18 (5,20 N). К худшим сортам по общему выходу волокна (27,6%) и выходу длинного относится Томский 16 (16,9%), короткого – Тост (17,4%).

Результаты проведенного анализа получены при условном разделении льнотресты по качеству на две группы: низкокачественную и высококачественную. В группу высококачественной льнотресты входят девять номеров (1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 4,00), низкокачественная со-

стоит только из двух номеров (0,50; 0,75). В связи с этим для уточнения результатов проведен более детальный дифференцированный анализ с определением среднего индекса рейтинговой оценки сортов по указанным признакам по всей оценочной шкале ГОСТ 24383–89 «Треста льняная. Требования при заготовках» (см. рис. 1, 2).

В данном случае под рейтингом понималось место (позиция), занимаемое сортом по каждому признаку в разрезе номеров льнотресты, а также по комплексу признаков. При этом максимальному значению признака присваивался рейтинг 1, минимальное

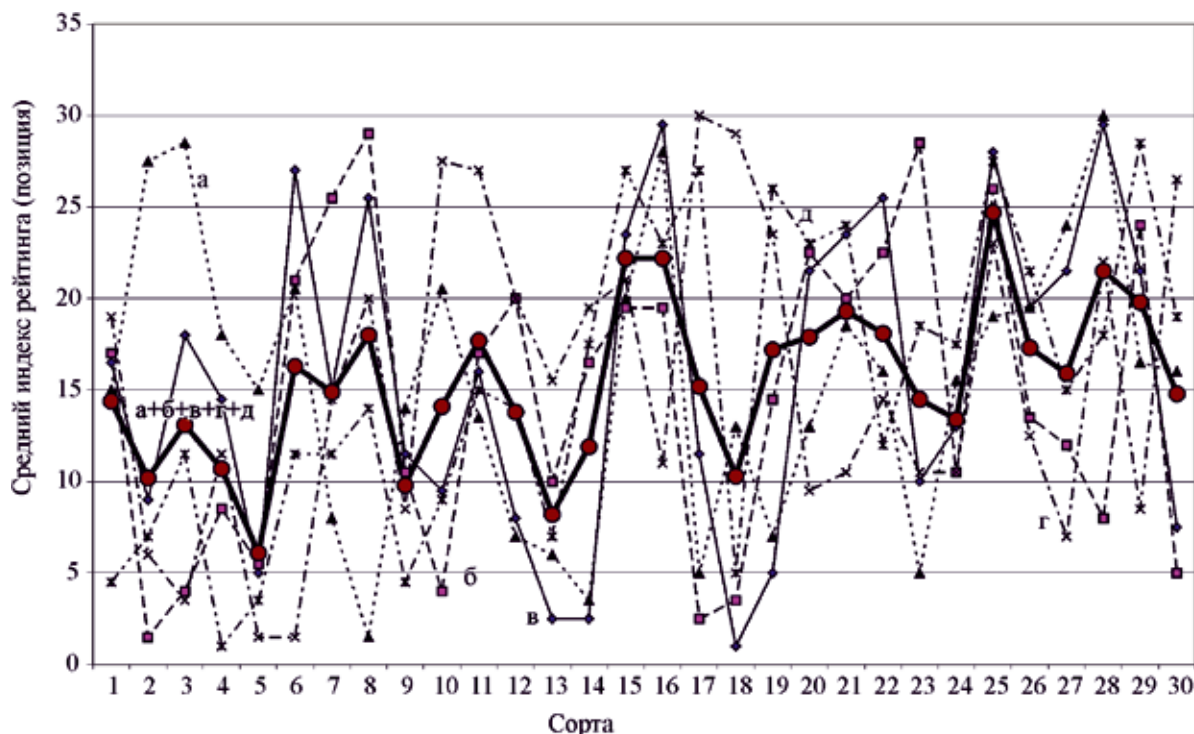


Рис. 1. Средний индекс рейтинговой оценки сортов льна-долгунца:

а – общий выход волокна, %; б – выход длинного волокна, %; в – выход короткого волокна; г – номер длинного волокна, N; д – номер короткого волокна, N;

а + б + в + г + д – комплекс признаков (низкокачественная льнотреста).

Сорта: 1 – Алексим; 2 – Ленок; 3 – Зарянка; 4 – Тверской; 5 – Альфа; 6 – Томский 16; 7 – Томский 17; 8 – Томский 18; 9 – Тост; 10 – Лидер; 11 – Импульс; 12 – Смолич; 13 – А 93; 14 – Дипломат; 15 – Универсал; 16 – Цезарь; 17 – Сурский; 18 – Александрит; 19 – Эскалина; 20 – Дашковский; 21 – Могилевский 2; 22 – Лира; 23 – Электра; 24 – Вералин; 25 – Сюзана; 26 – София; 27 – Василек; 28 – Агата; 29 – Пралеска; 30 – Грант

Fig. 1. Average rating index of fiber flax varieties by:

а – total fiber yield, %, б – long fiber yield, %, в – short fiber yield, %, г – long fiber number, N, д – short fiber number, N; (а+б+в+г+д) complex of characteristics (low-quality flax straw)

Varieties: 1. Aleksim; 2. Lenok; 3. Zaryanka; 4. Tverskoy; 5. Alpha; 6. Tomsk 16; 7. Tomsk 17; 8. Tomsk 18; 9. Tost; 10. Leader; 11. Impulse; 12. Smolich; 13. A93; 14. Diplomat; 15. Universal; 16. Caesar; 17. Sursky; 18. Alexandrite; 19. Escalina; 20. Dashkovsky; 21. Mogilevsky 2; 22. Lira; 23. Elektra; 24. Veralin; 25. Susanna; 26. Sofia; 27. Vasilek; 28. Agatha; 29. Praleska; 30. Grant

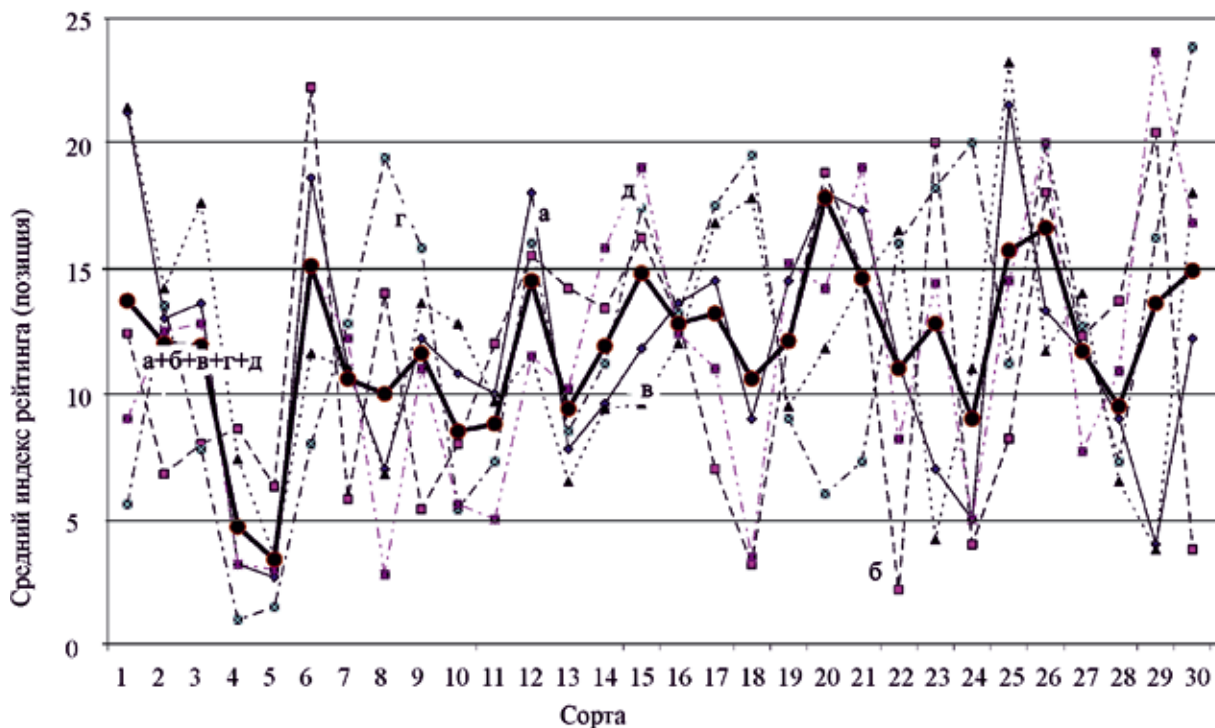


Рис. 2. Средний индекс рейтинговой оценки сортов льна-долгунца (высококачественная треста): а – общий выход волокна, %; б – выход длинного волокна, %; в – выход короткого волокна; г – номер длинного волокна, N; д – номер короткого волокна, N; а + б + в + г + д – комплекс признаков (высококачественная льнотреста). Обозначение сортов см. на рис. 1

Fig. 2. Average rating index of fiber flax varieties (high-quality flax) by:

а – total fiber yield, %, б – long fiber yield, %, в – short fiber yield, %, г – long fiber number, N, д – short fiber number, N; (а+б+в+г+д) complex of characteristics (high-quality flax), names of the varieties see fig.1

значение соответствовало рейтингу, равному количеству изучаемых сортов. Средний индекс рейтинга рассчитывали как средневзвешенный с учетом числа партий льнотресты, оцененных определенным номером.

Графический анализ позволил выделить лучшие сорта по комплексу признаков (а + б + в + г + д): для низкокачественной льнотресты – Альфа, А 93, Тост, Ленок, Александрит, Тверской со средним индексом рейтинга соответственно 6,1; 8,2; 9,8; 10,2; 10,3; 10,5 позиций. Средний индекс рейтинга для высококачественной льнотресты лучших сортов: Альфа – 3,4, Тверской – 4,7, Лидер – 8,5, Импульс – 8,8, Вералин – 9,0, А 93 – 9,4 позиций.

Среди сортов Томской школы селекции по комплексу признаков выделился сорт Тост (средний индекс – 9,8 позиций) (низкокачественная льнотреста). Сорта Том-

ский 18, Томский 17, Тост (высококачественная льнотреста) (средний индекс 10,6, 10,0, 11,6 позиций) лишь немного уступали по этому показателю лучшим сортам.

Не менее важным вопросом при определении значимости сорта при переработке льнотресты являются не только полученные фактические значения выхода и качества волокна, но и раскрытие потенциальных возможностей сорта, установленных при проведении Госсортоиспытания, для этих признаков в практической деятельности льноперерабатывающих предприятий. На рис. 3 (низкокачественная льнотреста) и рис. 4 (высококачественная) представлены результаты переработки льнотресты по общему выходу и выходу длинного волокна, полученному в производственных условиях, в процентах по отношению к данным Госсортоиспытания, принятым за 100%. Из рисун-

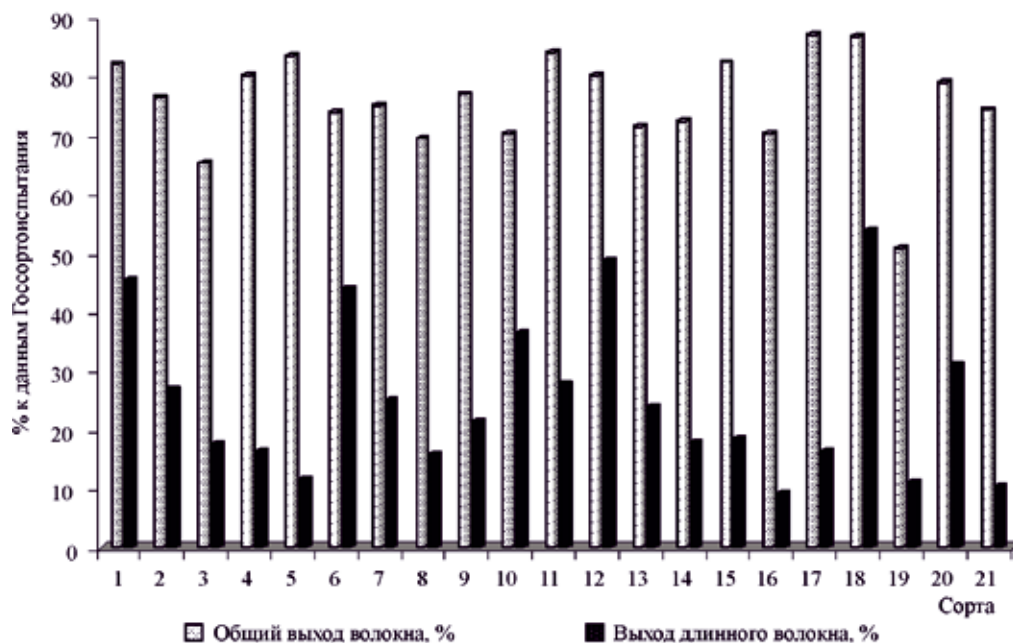


Рис. 3. Уровень реализации потенциала сортов льна-долгунца по общему выходу волокна и выходу длинного волокна из низкокачественной льнотресты, % к данным Госсортоиспытания.

Сорта: 1 – Зарянка; 2. Тверской; 3 – Томский 16; 4 – Томский 17; 5 – Томский 18; 6 – Тост; 7 – Импульс; 8 – Пралеска; 9 – Смолич; 10 – Василек; 11 – Алексим; 12 – Ленок; 13 – А 93; 14 – Дашковский; 15 – Моги-левский 2; 16 – Дипломат; 17 – Универсал; 18 – Александрит; 19 – Цезарь; 20 – Грант; 21 – Сурский

Fig. 3. The level of implementation of the potential of fiber flax varieties by total fiber yield and long fiber yield from low-quality flax straw, % of the data of the State variety testing

1. Zaryanka; 2. Tverskoy; 3. Tomsk 16; 4. Tomsk 17; 5. Tomsk 18; 6. Tost; 7. Impulse; 8. Praleska; 9. Smolich; 10. Vasilek; 11. Aleksim; 12. Lenok; 13. A 93; 14. Dashkovsky; 15. Mogilevsky 2; 16. Diplomat; 17. Universal; 18. Alexandrite; 19. Caesar; 20. Grant; 21. Sursky

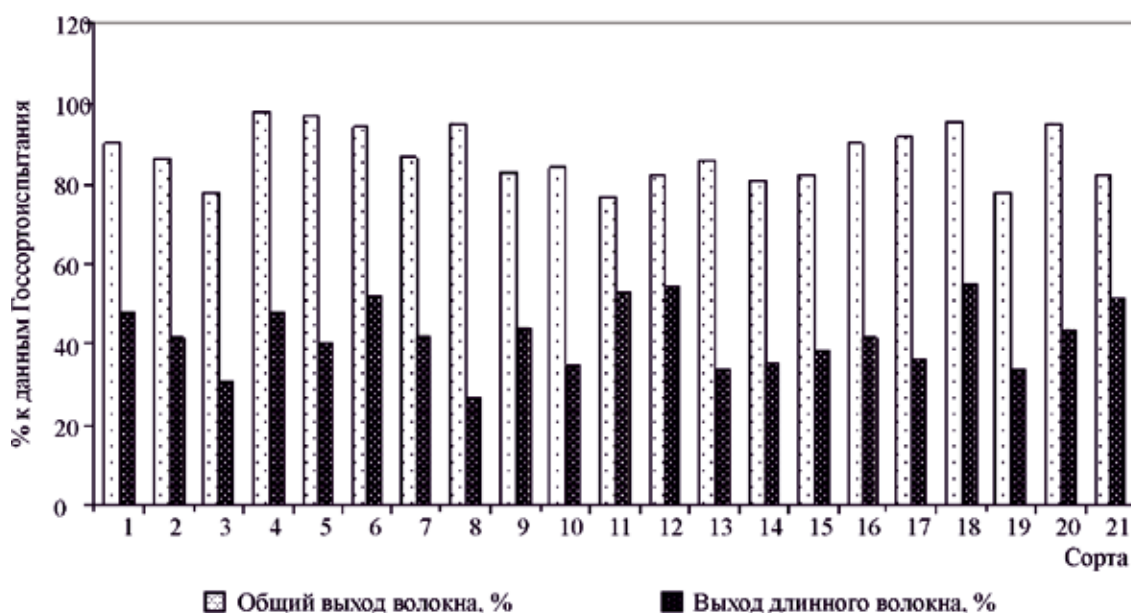


Рис. 4. Уровень реализации потенциала сортов льна-долгунца по общему выходу волокна и выходу длинного волокна из высококачественной льнотресты, % к данным Госсортоиспытания. Обозначение сортов см. на рис. 3

Fig. 4. The level of implementation of the potential of fiber flax varieties by total fiber yield and long fiber yield from high-quality flax straw, % of the data of the State variety testing (names of varieties see fig. 3)

ков видно, что уровень реализации потенциальных возможностей сортов, особенно по выходу длинного волокна, явно недостаточен, для низкокачественной льнотресты он ниже, чем для высококачественной.

Статистическая обработка данных подтвердила существенность различий между данными Госсортоиспытания и результатами переработки льнотресты в производственных условиях при 5%-м уровне значимости. По общему выходу волокна из низкокачественной льнотресты ошибка разности средних (S_d) составила 0,88%, коэффициент Стьюдента $t_{\phi} = 7,16 > t_t = 2,05$; из высококачественной – $S_d = 0,90$, $t_{\phi} = 4,22 > t_t = 2,05$ соответственно. По выходу длинного волокна значимость различий значительно выше: $S_d = 1,25$, $t_{\phi} = 15,80 > t_t = 2,05$ (низкокачественная льнотреста); $S_d = 1,20$, $t_{\phi} = 13,40 > t_t = 2,05$ (высококачественная).

Уровень реализации биологического потенциала сортов Томской школы селекции следующий: из низкокачественной льнотресты по общему выходу волокна Томский 16 – 65,2%, Томский 17 – 80,1, Томский 18 – 83,3, Тост – 73,8%, из высококачественной – 77,7; 98,0; 97,0; 94,2% соответственно; по выходу длинного волокна для тех же сортов и качества льнотресты – 17,6; 16,2; 11,4; 31,4%; 30,5; 48,3; 40,1; 52,2% соответственно.

Очевидно, что существующий резерв в повышении эффективности использования потенциальных возможностей сортов заключается в повышении качества льносырья, технического переоснащения отрасли, совершенствовании организации труда как при производстве льна-долгунца, так и при переработке волокнистой продукции.

ВЫВОДЫ

1. Подтверждена значимость сортов льна-долгунца Томской школы селекции с точки зрения получения при переработке льнотресты различных номеров высокого выхода волокна (длинного и короткого), характеризующегося хорошим качеством.
2. Сорт Томский 18 принадлежит к группе сортов с максимальным значением вы-

хода короткого волокна из низкокачественной льнотресты (24,9%), общего выхода волокна (33,2%), выхода (23,2%) и номера короткого волокна (5,2 N) из высококачественной льнотресты. Томский 16 является одним из лучших по номеру длинного волокна (11,08 N) (низкокачественная льнотреста), Тост имеет максимальное значение по общему выходу волокна (32,2%), выходу длинного волокна (13,1%) (высококачественная льнотреста), а также по номеру короткого волокна (3,42 N) и комплексу признаков (средний индекс рейтинга 9,8 позиций) (низкокачественная льнотреста).

3. Потенциальные возможности сортов Томской школы селекции по общему выходу волокна реализуются в производственных условиях на 65,2–83,3%, по выходу длинного волокна на 17,6–31,4% (льнотреста номеров 0,50–0,75) и соответственно на 77,7–94,2%; 30,5–52,2% (льнотреста номера 1,00 и более).
4. При рациональной организации переработки льносырья при одновременном повышении его качества может быть достигнута более полная реализация заложенного биологического потенциала в сортах Томской школы селекции в отношении получения оптимального количества волокнистой продукции лучшего качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Понажеев В.П., Медведева О.В. Современные достижения селекции и семеноводства для выращивания льна // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 36–39.
2. Рожмина Т.А. Льняная отрасль на пути к возрождению // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 1. С. 7–10.
3. Рожмина Т.А., Понажеев В.П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России // Вестник РАЕН. 2015. Т. 15. № 1. С. 59–63.
4. Понажеев В.П., Рожмина Т.А., Павлова Л.Н. Проблемы обеспечения льняной отрасли высококачественным льносырьем // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 3. С. 61–63.

5. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н. Технологическая ценность современных сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции по выходу волокна из льнотресты // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 3 (28). С. 34–40. DOI: 10.35523/2307-5872-2019-28-3-34-40.
6. Пашина Л.В., Пашин Е.Л. Сравнительная оценка технологического качества волокна моченцовой и стланцевой льняной тресты // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 1 (38). С. 12–16.
7. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А. Нормативы перевода в волокно льнотресты новых сортов льна-долгунца и эффективности их применения // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 8. С. 12–14.
8. Романов В.А., Пучков Е.М., Зубов Ф.В. Повышение эффективности переработки льнотресты // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 8. С. 24–27.
9. Степин А.Д., Рысев М.Н., Кострова Г.А., Рысева Т.А., Уткина С.В. Основные направления и результаты научных исследований псковского НИУ по селекции льна-долгунца // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 14–21.
10. Голуб И.А. Перспективы возделывания и переработки льна-долгунца в Республике Беларусь // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2017. № 3. С. 91–98.
11. Крепков А.П. Селекция льна-долгунца в Сибири: монография. Томск: Издательство Томского государственного университета, 2000. 183 с.
12. Крепков А.П. Лен-долгунец в Сибири: монография: Томск: Издательство государственного университета, 2004. 168 с.
13. Ефремова Г. В. Изучение новых сортов льна-долгунца // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 4. С. 26–31.
14. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Хаитов Н.Х., Безбабченко А.В. Прогнозирование выхода и номера трепаного льна по результатам лабораторной переработки льнотресты // Наука в центральной России. 2019. № 4 (40). С. 44–49.
15. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 291 с.

REFERENCES

1. Ponazhev V.P., Medvedeva O.V. Modern achievements of breeding and seed-farming for flax growing production. *Dostizheniya nayki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2015, vol. 29, no. 9, pp. 36–39. (In Russian).
2. Rozhmina T.A. Linen industry on the road to revival. *Dostizheniya nayki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, no. 1, pp. 7–10. (In Russian).
3. Rozhmina T.A., Ponazhev V.P. Condition and prospects of development of linen sector of Russia. *Vestnik RAEN = Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 59–63. (In Russian).
4. Ponazhev V.P., Rozhmina T.A., Pavlova L.N. Problems of provision of the flax industry with high-quality raw materials. *Dostizheniya nayki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2014, no. 3, pp. 61–63. (In Russian).
5. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Koz'yakova N.N. Technological value of modern flax varieties of domestic and foreign selection on the output of fiber from flax. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*, 2019, no. 3 (28), pp. 34–40. (In Russian). DOI: 10.35523/2307-5872-2019-28-3-34-40.
6. Pashina L.V., Pashin E.L. The comparative estimation of technological quality of a pond retting and field retting flax stock. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2014, no. 1 (38), pp. 12–16. (In Russian).
7. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A. Conversion standards of flax stock of new flax varieties in fiber and efficiency of their application. *Dostizheniya nayki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2015, vol. 29, no. 8, pp. 12–14. (In Russian).
8. Romanov V.A., Puchkov E.M., Zubov F.V. Improving the efficiency of flax straw processing. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva = Mechanization and Electrification of Agriculture*, 2010, no. 8, pp. 24–27. (In Russian).
9. Stepin A.D., Rysev M.N., Kostrova G.A., Ryseva T. A., Utkina S.V. Main trends and results of long-fiber flax selection in the Pskov Research Institute. *Izvestiya Velikolukskoi gosudarstvennoi selskokhozyaystvennoi akademii = Proceed-*

- ings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy, 2019, no. 2, pp. 14–21. (In Russian).
10. Golub I.A. Aspects of cultivation and processing of fiber flax in the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Agrarian Series*, 2017, no. 3, pp. 91–98. (In Belarus).
 11. Krepkov A.P. *Breeding of fiber flax in Siberia*. Tomsk, TGY Publ., 2000, 183 p. (In Russian).
 12. Krepkov A.P. *Fiber flax in Siberia*. Tomsk, TGY Publ., 2004, 168 p. (In Russian).
 13. Efremova G.V. Study of new fiber flax varieties. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2015, no. 4, pp. 26–31. (In Russian).
 14. Koroleva E.N., Novikov E.V., Khaitov N. KH., Bezbabchenko A.V. Forecasting of output and numbers: scutched flax based according to the results of laboratory processing of flax straw. *Nauka v tsentralnoi Rossii = Science in the Central Russia*, 2019, no. 4 (40), pp. 44–49. (In Russian).
 15. Lakin G.F. *Biometrics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 291 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Виноградова Т.А.**, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 172002, Тверская область, Торжок, Луначарского, 35; e-mail: info.trk@fnclrk.ru

Козьякова Н.Н., научный сотрудник

Кудряшова Т.А., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Tatiana A. Vinogradova**, Senior Researcher; address: 35, Lunacharsky, Torzhok, Tver region, 172002, Russia; e-mail: info.trk@fnclrk.ru

Natalia N. Kozyakova, Researcher

Tamara A. Kudryashova, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 02.03.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 31.05.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ГОЛОЗЕРНОГО ОВСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

✉ ¹Исачкова О.А., ¹Логинова А.О., ²Егушова Е.А.

¹Кемеровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук

Кемеровская область, пос. Новостройка, Россия

✉ e-mail: isachkova2410@mail.ru

²Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия

Кемерово, Россия

Представлены результаты изучения показателей урожайности голозерного овса при различных сроках посева и нормах высева. Исследования проведены в 2016–2020 гг. в полевом опыте в условиях Западной Сибири. Изучены образцы разных групп спелости культуры: среднеранний сорт Гаврош и среднеспелый сорт Офеня. На продолжительность вегетационного периода голозерного овса оказали влияние метеорологические факторы. Отмечена тенденция уменьшения продолжительности межфазных периодов и вегетационного периода в целом от раннего срока посева к более позднему на 4–10 дней у сорта Гаврош и на 8–10 дней у сорта Офеня. Урожайность у сорта Гаврош при раннем сроке посева достоверно превышала аналогичный показатель при среднем сроке на 17,6% и при позднем сроке – на 19,0%, у сорта Офеня – на 10,9% и на 16,2% соответственно. Увеличение урожайности раннего срока посева среднераннего сорта Гаврош относительно среднего и позднего сроков посева определялось большей крупностью зерна ($r = 0,6929 \dots 0,9535$ при $R = 0,5140$). У среднеспелого сорта Офеня в годы исследований на всех вариантах большее значение имело число продуктивных стеблей с единицы площади ($r = 0,7444 \dots 0,9054$ при $R = 0,5140$) и масса 1000 зерен ($r = 0,5350 \dots 0,8297$ при $R = 0,5140$). Наиболее оптимальная норма высева для сортов голозерного овса – 5,0–6,0 млн всхожих зерен/га. При данной норме отмечено не максимальное проявление отдельных показателей структурных элементов урожайности, а совокупность их средних значений.

Ключевые слова: голозерный овес, урожайность, срок посева, норма высева

FORMATION OF PRODUCTIVITY OF NAKED OAT VARIETIES UNDER DIFFERENT CULTIVATION CONDITIONS

✉ ¹Isachkova O.A., ¹Loginova A.O., ²Egushova E.A.

¹Kemerovo Research Institute of Agriculture – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Novostroyka, Kemerovo Region, Russia

✉ e-mail: isachkova2410@mail.ru

²Kuzbass State Agricultural Academy,

Kemerovo, Russia

The results of studying naked oat yield indicators depending on different sowing dates and seeding rates are presented. The study was carried out in 2016–2020 in a field experiment in Western Siberia. Samples of different groups of the crop ripeness were studied: mid-early variety Gavrosh and mid-ripening variety Ofenya. The duration of the growing season of naked oats was influenced by meteorological factors. There was a tendency observed for a decrease in the duration of interphase periods and the growing season as a whole from an early sowing date to a later one by 4–10 days for the Gavrosh variety and by 8–10 days for the Ofenya variety. The yield of the Gavrosh variety at an early sowing period significantly exceeded the same indicator at a mid-period by 17.6% and at a late period – by 19.0%, of the Ofenya variety – by 10.9% and 16.2%, respectively. The increase in the yield for the early sowing period of the mid-early variety Gavrosh relative to the middle and late sowing dates was determined by a larger grain size ($r = 0.6929 \dots 0.9535$ at $R = 0.5140$). For the mid-

ripening variety Ofenya, the number of productive stems per unit area ($r = 0.7444 \dots 0.9054$ with $R = 0.5140$) and the weight of 1000 grains ($r = 0.5350 \dots 0.8297$ at $R = 0.5140$) were of more importance in the years of research on all variants. The most optimal seeding rate for naked oat varieties is 5.0–6.0 million germinating grains/ha. At this rate, it was not the maximum manifestation of individual indicators of the yield structural elements, but a combination of their average values was noted.

Keywords: naked oats, yield, sowing time, seeding rate

Для цитирования: Исачкова О.А., Логинова А.О., Егушова Е.А. Формирование урожайности сортов голозерного овса при различных условиях возделывания // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 56–64. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-6>

For citation: Isachkova O.A., Loginova A.O., Egushova E.A. Formation of productivity of naked oat varieties under different cultivation conditions. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp.56–64. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-6>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время РФ – крупнейший в мире производитель овса. Мирового сбора овса в России осуществляется 22%, в Канаде – 14, в США – 7, в Польше – 6, в Австралии – 5%. По объему производства овес занимает седьмое место в мире, уступая кукурузе, рису, пшенице, ячменю, сорго и просу. В России выращивание овса на четвертом месте (3,0%) после пшеницы (36,8%), ячменя (10,7%) и кукурузы на зерно (3,6%) (по данным Росстата по состоянию на 2020 г.¹). При этом существует тенденция снижения валового сбора этой культуры, в 2015 г. он составил 4,3% от общего валового сбора, в 2020 – 3,1%.

В Кемеровской области (Кузбассе) производится 11 тыс. т семян ярового овса сортов сибирской селекции, в том числе 6,8 тыс. т семян сортов селекции Кемеровского НИИСХ – филиала СФНЦА РАН, из них – 1,1 тыс. т голозерного овса.

Голозерные формы овса – наиболее ценные из зерновых культур по биохимическому составу зерна, определяющему диетические и лечебно-профилактические свойства. Это обуславливает возможность их применения при разработке изделий детского, функционального и специализированного назначения [1]. Голозерный овес – уникальная по своим свойствам культура. Зерно голозерного

овса содержит большое количество белков (до 18–20%), масла (до 8–12%), водорастворимых полисахаридов бета-глюканов (до 6–8%). Также голозерный овес богат микро- и макроэлементами (калий, магний, кальций, кремний, фосфор, натрий и др.). По содержанию витаминов группы А, В, Е, К голозерные формы овса демонстрируют наивысшие показатели. Овес – единственный злак, содержащий глобулины или авенины с массовой долей 80% от всего протеина. Глобулины растворимы в воде, вследствие чего овес может быть превращен в молокоподобную жидкость. Для белков овса голозерного характерно повышенное содержание аргинина и незаменимой кислоты – лизина, почти в 2 раза больше в сравнении с другими злаками, в том числе и овсом пленчатым [2–7].

Потенциал голозерного зерна овса, определенный такими показателями, как пленчатость (0,5–0,9%), содержание ядра (99,1–99,5%), указывает на возможность переработки такого овса для производства пищевых продуктов. Высокая доля ядра по сравнению с зерном пленчатых сортов и выравненность позволяют определить потенциально больший выход готовой продукции при соответственно меньших производственных затратах [8–10].

Голозерные сорта овса более требовательны к условиям выращивания, чем пленчатые,

¹Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения 27.04.2021).

что обусловлено их морфологическими и биологическими особенностями. Регулировать водный и температурный режим позволяют технологические приемы выращивания [11, 12].

Существенное место в ряде технологических приемов выращивания занимает правильный выбор нормы высева и сроков посева. Норма высева семян определяет густоту стояния растений, обеспеченность агрофитоценоза питательными веществами, влагой и светом, его урожайные свойства, выход кондиционных семян и их посевные качества [13]. Создание оптимальной густоты посевов определяется следующими факторами: биологическими (потенциальная продуктивность, кустистость, устойчивость к полеганию), агротехническими (внесение удобрений, предшественники, сроки и способы посева), природными (естественное плодородие почвы, физические свойства почвы, рельеф поля), хозяйственными (засоренность полей, назначение посевов – на зерно, на сено, на зеленую массу), агрометеорологическими (обеспеченность светом, теплом, влагой в течение вегетационного периода в зависимости от меняющейся в онтогенезе потребности растений) [14].

Выбор срока посева – важный технологический показатель, на который в значительной степени влияют погодные условия. Он значительно меняет условия прорастания и роста ярового овса на всех этапах вегетации, на формирование урожайности сельскохозяйственной культуры [15, 16].

Цель исследования – изучить показатели урожайности сортов голозерного овса при различных условиях возделывания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в условиях северной лесостепи Кемеровской области на опытном поле Кемеровского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской ака-

демии наук (Кемеровского НИИСХ – филиала СФНЦА РАН) в 2016–2020 гг. Объектами исследований служили сорта голозерного овса: среднеранний сорт Гаврош и среднеспелый сорт Офеня. Условия проведения исследований отличались нестабильностью как по годам, так и в пределах одной вегетации. Так, 2016 и 2017 гг. характеризовались как засушливые (ГТК май – август = 0,9 и 1,0), 2018 и 2020 гг. – избыточно увлажненные (ГТК май – август = 1,6 и 1,4), 2019 г. – достаточно влагообеспеченный, с оптимальным температурным режимом (ГТК май – август = 1,2), что повлияло на формирование урожая голозерного овса.

Предшественник – чистый пар. Посев проводили в три срока: первый – при наступлении физической спелости почвы (27.04–14.05), последующие – с интервалом 8–10 дней (9–21.05 и 21–28.05). По каждому сроку изучены следующие нормы высева: 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 млн всхожих зерен/га. Посев проводили сеялкой СН-10 Ц на площади делянки 10 м² в четырехкратной повторности. Расположение делянок рендомизированное. Учеты, наблюдения, статистическую обработку данных проводили в соответствии с утвержденными методическими указаниями²⁻⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В период исследований сортов голозерного овса отмечены различия в продолжительности прохождения фаз онтогенеза от погодных условий. Отмечена тенденция уменьшения продолжительности как межфазных периодов, так и всего вегетационного периода в целом от раннего срока посева к более позднему на 4–10 дней у сорта Гаврош и на 8–10 дней у сорта Офеня. В среднем за годы исследований продолжительность вегетационного периода среднераннего сорта Гаврош при ранних сроках посева составила 86 дней, при средних – 83, при поздних – 78 дней. Продолжительность вегетационного периода среднеспелого сорта Офеня при разных сроках посева составила 93, 88 и 83 дня соответственно.

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

³Доспехов Б.Л. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

⁴Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.

Немаловажное значение в структуре вегетационного периода имеет время появления всходов, т.е. количество дней с момента посева семян до появления всходов. Оно влияет на дальнейший рост и развитие растений и в значительной степени зависит от метеорологических условий в этот период. Большее влияние время появления всходов оказало на высоту растений ($r = -0,7123... -0,8004$ при $R = 0,5140$), длину метелки ($r = -0,6980... -0,7365$ при $R = 0,5140$), число цветков в метелке ($r = -0,6507... -0,8408$ при $R = 0,5140$). При ранних сроках посева продолжительность периода посев – всходы у сорта Гаврош в среднем составила 13 дней, у сорта Офеня – 15 дней. При среднем и позднем сроках при повышении температуры воздуха и влажности период прорастания семян сократился до 12–10 дней у сорта Гаврош, до 14–13 дней у сорта Офеня. При анализе полученных экспериментальных данных отмечено влияние продолжительности времени прорастания на формирование урожайности сортов ($r = -0,8798... -0,9982$ при $R = 0,5140$), поэтому при расчете продолжительности всего вегетационного периода в целом необходимо учитывать значение данного подпериода.

На изменение продолжительности периода вегетации большее влияние оказал межфазный период всходы – выметывание ($r = 0,8255... 0,9875$ при $R = 0,5140$), величина которого в среднем составила у сорта Гаврош при ранних сроках посева 42 дня, при среднем – 39, при позднем – 38 дней, у сорта Офеня – 46, 44 и 39 дней соответственно. Для прохождения этого периода определяющим критерием являлся характер увлажнения почвы в этот период ($r = 0,6934... 0,9795$ при $R = 0,5140$).

Продолжительность межфазного периода выметывание – созревание по вариантам опыта различалась незначительно и составила 44–40 дней у сорта Гаврош и 47–44 дня у сорта Офеня.

Наибольшая урожайность изучаемых сортов Гаврош и Офеня сформирована в 2019 г. (2,89 и 3,07 т/га) при оптимальной влагообеспеченности (ГТК = 1,2). Минимальная

урожайность получена в засушливом 2017 г. (ГТК = 1,0) – 1,50 и 1,70 т/га соответственно.

У среднераннего сорта Гаврош отмечено преимущество ранних сроков посева со средней урожайностью 2,73 т/га, тогда как при среднем сроке она составила 2,25 т/га, при позднем – 2,21 т/га. При этом при всех сроках посева лучшие результаты получены при повышенных нормах высева 5,0 и 6,0 млн всхожих зерен/га (см. табл. 1).

У среднеспелого сорта Офеня при раннем сроке посева урожайность составила 3,03 т/га, при среднем – 2,70, при позднем – 2,54 т/га. Более высокая урожайность данного сорта сформирована при норме высева 5,5 и 6,0 млн всхожих зерен/га на всех сроках посева (см. табл. 2). В среднем по опыту урожайность сорта Офеня превысила продуктивность сорта Гаврош на 15%.

В среднем за годы исследований отмечено достоверное преимущество ранних сроков посева: на 17,6% к среднему сроку и на 19,0% к позднему сроку у сорта Гаврош; на 10,9% к среднему сроку и на 16,2% к позднему сроку у сорта Офеня.

Превышение урожайности раннего срока посева среднераннего сорта Гаврош определялось большей крупностью зерна ($r = 0,6929... 0,9535$ при $R = 0,5140$) относительно среднего и позднего сроков посева, особенно в более засушливые годы. В среднем по опыту масса 1000 зерен у сорта Гаврош при раннем сроке составила 23,2 г, при среднем – 22,6, при позднем – 21,5 – 24,1 г (см. табл. 3).

Вместе с тем при раннем и среднем сроках большая урожайность отмечена на вариантах с повышенным количеством продуктивных стеблей с единицы площади ($r = 0,6437... 0,7899$ при $R = 0,5140$), которыми характеризовались варианты с повышенными нормами высева – 5,5 и 6,0 млн всхожих зерен/га. Однако высокие значения отдельных элементов структуры урожая, таких как продуктивная кустистость, число зерен в метелке, масса зерна с главной метелки наблюдались при пониженных нормах высева – 4,0 и 4,5 млн всхожих зерен/га. Урожайность вариантов позднего срока посева формировалась при средних показателях структурных элементов.

Табл. 1. Урожайность голозерного овса Гаврош, т/га, 2016–2020 гг.**Table 1.** Yield of naked oats Gavrosh, t/ha, 2016–2020

Срок посева	Год изучения	Норма высева, млн всхожих зерен/га					Среднее по сроку
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
Ранний	2016	2,43	2,50	2,55	2,57	2,55	2,52
	2017	1,41	1,37	1,37	1,29	1,51	1,39
	2018	3,22	3,20	3,07	3,28	2,80	3,11
	2019	4,27	4,20	4,27	4,09	4,14	4,19
	2020	2,28	2,30	2,43	2,41	2,73	2,43
	Среднее по норме	2,72	2,71	2,74	2,73	2,75	2,73
Средний	2016	2,55	2,57	2,69	2,71	3,00	2,70
	2017	1,54	1,30	1,29	1,41	1,30	1,37
	2018	2,61	2,45	2,58	2,44	2,26	2,51
	2019	2,60	2,44	2,49	2,54	2,52	2,52
	2020	1,99	2,07	2,13	2,36	2,27	2,16
	Среднее по норме	2,26	2,17	2,24	2,29	2,27	2,25
Поздний	2016	2,50	2,40	2,40	2,47	2,76	2,51
	2017	1,54	1,66	1,76	1,80	1,67	1,69
	2018	2,45	2,16	2,65	2,66	2,34	2,45
	2019	1,87	1,94	2,03	2,00	2,00	1,97
	2020	2,24	2,50	2,35	2,42	2,65	2,43
	Среднее по норме	2,12	2,13	2,24	2,27	2,28	2,21

Примечание. НСР₀₅ фактор *A* (год) = 0,08; фактор *B* (сорт) = 0,04; фактор *C* (срок посева) = 0,05; фактор *D* (норма высева) = 0,07.

Табл. 2. Урожайность голозерного овса Офеня, т/га, 2016–2020 гг.**Table 2.** Yield of naked oats Ofenya, t/ha, 2016–2020

Срок посева	Год изучения	Норма высева, млн всхожих зерен/га					Среднее по сроку
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
Ранний	2016	3,24	3,26	3,45	3,40	3,55	3,38
	2017	1,71	1,68	1,88	1,83	1,77	1,77
	2018	3,60	3,74	3,61	3,62	3,93	3,70
	2019	3,56	3,37	3,60	3,69	3,43	3,53
	2020	2,39	2,84	2,78	2,86	3,05	2,78
	Среднее по норме	2,90	2,98	3,06	3,08	3,15	3,03
Средний	2016	3,12	3,22	3,60	3,50	3,67	3,42
	2017	1,61	1,69	1,83	1,67	1,63	1,69
	2018	2,71	2,82	3,09	2,88	2,57	2,81
	2019	2,92	3,15	3,17	3,22	3,21	3,13
	2020	2,46	2,34	2,62	2,39	2,52	2,47
	Среднее по норме	2,56	2,64	2,86	2,73	2,72	2,70
Поздний	2016	3,22	3,07	3,00	3,12	3,31	3,14
	2017	1,62	1,90	1,73	1,74	1,66	1,73
	2018	2,33	2,21	2,37	2,21	2,56	2,33
	2019	2,37	2,64	2,34	2,71	2,66	2,54
	2020	2,63	3,06	3,18	2,98	3,04	2,98
	Среднее по норме	2,43	2,58	2,52	2,55	2,65	2,54

Примечание. НСР₀₅ фактор *A* (год) = 0,09; фактор *B* (сорт) = 0,04; фактор *C* (срок посева) = 0,07; фактор *D* (норма высева) = 0,09.

Табл. 3. Агробиологическая характеристика голозерного овса сорта Гаврош, 2016–2020 гг.

Table 3. Agrobiological characteristics of naked oats of the Gavrosh variety, 2016–2020

Срок посева	Норма высева, млн всхожих зерен/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м	Продуктивная кустистость, шт.	Число зерен в метелке, шт.	Выщепление пленчатых зерен, %	Масса зерна с главной метелки, г	Масса 1000 зерен, г	Натурный вес, г/л
Ранний	4,0	344	1,8	40,8	2,2	0,89	23,1	626
	4,5	374	1,8	36,3	2,3	0,80	23,1	628
	5,0	380	1,7	34,8	2,4	0,76	23,4	627
	5,5	372	1,5	29,7	2,2	0,69	23,2	628
	6,0	392	1,5	32,9	2,3	0,73	23,1	621
	Среднее	372	1,7	34,9	2,3	0,77	23,2	626
Средний	4,0	344	1,9	43,6	2,8	0,96	22,6	609
	4,5	329	1,9	41,7	2,9	0,91	22,7	607
	5,0	353	1,9	37,7	2,5	0,86	22,4	618
	5,5	413	1,9	32,7	2,6	0,72	22,5	608
	6,0	411	1,8	34,2	2,9	0,72	22,6	617
	Среднее	370	1,9	38,0	2,7	0,83	22,6	612
Поздний	4,0	392	2,0	40,5	1,3	0,88	21,3	597
	4,5	404	2,0	41,0	1,6	0,86	22,0	594
	5,0	391	1,8	40,0	1,5	0,84	21,6	603
	5,5	398	1,8	34,0	1,7	0,71	21,4	597
	6,0	403	1,6	34,3	1,7	0,73	21,2	594
	Среднее	398	1,8	38,0	1,6	0,80	21,5	597

Определяющее значение при формировании урожайности среднеспелого сорта Офеня в годы исследований на всех вариантах имело число продуктивных стеблей с единицы площади ($r = 0,7444...0,9054$ при $R = 0,5140$) и масса 1000 зерен ($r = 0,5350...0,8297$ при $R = 0,5140$). Так, большее число продуктивных

стеблей отмечено при ранних сроках посева 334 шт./м², при среднем и позднем сроках – 302 и 312 шт./м² соответственно. Масса 1000 зерен по срокам посева составила 27,7; 26,5 и 24,6 г (см. табл. 4).

Лучшие показатели структурных элементов у сорта Офеня отмечены также при нор-

Табл. 4. Агробиологическая характеристика голозерного овса сорта Офеня, 2016–2020 гг.

Table 4. Agrobiological characteristics of naked oats of the Ofenya variety, 2016–2020

Срок посева	Норма высева, млн всхожих зерен/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м	Продуктивная кустистость, шт.	Число зерен в метелке, шт.	Выщепление пленчатых зерен, %	Масса зерна с главной метелки, г	Масса 1000 зерен, г	Натурный вес, г/л
Ранний	4,0	274	1,8	45,7	4,7	1,38	27,7	605
	4,5	314	1,8	44,9	5,1	1,21	27,8	611
	5,0	342	1,9	40,8	4,6	1,22	27,6	612
	5,5	382	1,8	41,2	5,8	1,14	27,7	607
	6,0	357	1,8	41,8	6,0	1,11	27,5	603
	Среднее	334	1,8	42,9	5,3	1,21	27,7	608
Средний	4,0	292	1,6	41,1	3,1	1,12	26,6	605
	4,5	289	1,6	40,6	3,0	1,10	26,5	598
	5,0	327	1,9	34,7	3,1	0,96	26,5	604
	5,5	337	1,7	37,2	3,8	0,97	26,9	606
	6,0	302	1,6	36,2	4,1	0,95	25,2	600
	Среднее	309	1,7	38,0	3,4	1,02	26,5	603
Поздний	4,0	273	1,7	46,4	1,4	1,09	24,3	567
	4,5	327	1,8	44,6	1,5	1,02	24,3	569
	5,0	308	1,7	45,2	1,3	1,04	24,7	572
	5,5	327	1,7	40,2	1,3	0,95	25,0	574
	6,0	327	1,6	43,8	1,7	1,01	24,8	571
	Среднее	312	1,7	44,0	1,4	1,02	24,6	571

мах высева 4,0 и 4,5 млн всхожих зерен/га. При этом большая урожайность на вариантах 5,5 и 6,0 млн всхожих зерен/га формировалась при совокупности средних значений структурных элементов.

Различные варианты опыта также оказали влияние на выполненность и плотность зерновки голозерного овса, которые характеризуются натурной массой зерна. На данный показатель оказали влияние условия влагообеспеченности в период кушения – выход в трубку ($r = 0,7344...0,8147$ при $R = 0,5140$) и созревания ($r = 0,6004...0,6442$ при $R = 0,5140$). У обоих сортообразцов отмечена тенденция снижения натурной массы от раннего срока посева к позднему. Более качественная, выполненная зерновка отмечена у сортов Гаврош и Офеня на вариантах 5,0 и 5,5 млн всхожих зерен/га: 603–628 и 574–606 г/л соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многолетнего изучения сортов голозерного овса Гаврош и Офеня при различных условиях возделывания выявлены элементы сортовой технологии, обеспечивающие высокую продуктивность сортов в условиях Западной Сибири. Отмечено преимущество посева голозерного овса в ранние сроки, превышение урожайности к более поздним срокам посева у среднераннего сорта Гаврош составляет 17–19%, у среднеспелого сорта Офеня – 11–16%. Наиболее оптимальная норма высева для сортов голозерного овса – 5,0–6,0 млн всхожих зерен/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.С., Сергеева С.С., Барсукова Н.В. Функциональные и технологические свойства зерна овса и перспективный ассортимент продуктов питания на его основе // Вестник технологического университета. 2016. № 19. С. 147–151.
2. Баталова Г.А., Вологжанина Е.Н. Влияние элементов технологии возделывания на формирование качества зерна голозерного овса // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 10. С. 35–37.
3. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Содержание белков и углеводов в зерне ячменя и овса сибирской селекции // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 49–55.
4. Николаева Л.С., Кардашина В.Е. Зерновая и кормовая продуктивность сортов овса универсального использования в зависимости от метеорологических факторов // АПК России. 2017. № 3. С. 618–623.
5. Баталова Г.А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 2 (10). С. 64–69.
6. Безгоднов А.В., Ялунина А.Д. Оценка сортов голозерного овса по продуктивности и реакции на климатические условия Среднего Урала // Интерактивная наука. 2016. № 10. С. 94–101. DOI: 10.21661/r-114765.
7. Sterna V., Zute S., Brunava L. Oat Grain Composition and its Nutrition Benefice // Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2016. № 8. P. 252–256. DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.100.
8. Баталова Г.А. Значение, селекция и элементы технологии возделывания овса голозерного // Селекция, семеноводство и генетика. 2015. № 1. С. 26–31.
9. Айдиев А.Я., Новикова В.Т., Кабашев А.Д., Власенко Н.М., Шумаков А.В., Дугина С.А. Результаты экологического испытания пленчатого и голозерного овса // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 102–107.
10. Rasane P., Jha A., Sabikhi L., Kumar A., Unnikrishnan V.S. Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods – a review // Journal of Food Science and Technology. 2015. Vol. 52. № 2. P. 662–675. DOI: 10.1007/s13197-013-1072-1.
11. Икоева Л.П., Хаева О.Э., Бацазова Т.М. Влияние норм и способов посева на урожайность голозерного овса при возделывании в предгорной зоне РСО-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2017. Т. 54. № 2. С. 116–121.
12. Усанова З.И., Булюкин Е.С. Продуктивность голозерного овса при возделывании по разным технологиям с применением некорневых подкормок // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 6. С. 21–25. DOI: 10.24411/235-2451-2018-10605.

13. Баталова Г.А., Горбунова Л.А. Урожайность и качество семян овса в зависимости от нормы высева // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 1. С. 16.
 14. Бобровский А.В., Косяненко Л.П. Норма высева как биологический ресурс увеличения производства зерна овса // Вестник КрасГАУ. 2012. № 6 (69). С. 47–51.
 15. Givens D.I., Davies T.W., Laverick R.M. Effect of variety, nitrogen fertiliser and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain // Animal Feed Science and Technology. 2004. Vol. 113. P. 169–181.
 16. Усанова З.И., Булюкин Е.С. Влияние агротехнологий на продуктивность посевов сортов голозерного овса в условиях Верхневолжья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (116). С. 30–35.
- ## REFERENCES
1. Popov V.S., Sergeeva S.S., Barsukova N.V. Functional and technological properties of oat grain and a promising range of food products based on it. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*, 2016, no. 19, pp. 147–151. (In Russian).
 2. Batalova G.A., Vologzhanina E.N. Influence of technological methods of cultivation on forming of quality of naked oats grain. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2012, no. 10, pp. 35–37. (In Russian).
 3. Polonskii V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Proteins and carbohydrates content in barley and oats seeds at Siberian breeding. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 2018, no. 1, pp. 49–55. (In Russian).
 4. Nikolaeva L.S., Kardashina V.E. Grain and fodder productivity of oat varieties for universal use depending on meteorological factors. *APK Rossii = Agro-Industrial Complex of Russia*, 2017, no. 3, pp. 618–623. (In Russian).
 5. Batalova G.A. Prospects and results of naked oats breeding. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*, 2014, no. 2 (10), pp. 64–69. (In Russian).
 6. Bezgodov A.V., Yalunina A.D. The productivity and reaction of naked oat breeds on weather conditions in the Middle Urals. *Interaktivnaya nauka = Interactive Science*, 2016, no. 10, pp. 94–101. (In Russian). DOI: 10.21661/r-114765.
 7. Sterna V., Zute S., Brunava L. Oat Grain Composition and its Nutrition Benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2016, no. 8, pp. 252–256. DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.100.
 8. Batalova G.A. Significance, breeding and elements of technology for cultivation of naked oats. *Selektsiya, semenovodstvo i genetika = Breeding, seed production and genetics*, 2015, no. 1, pp. 26–31. (In Russian).
 9. Aidiev A.Ya., Novikova V.T., Kabashev A.D., Vlasenko N.M., Shumakov A.V., Dugina S.A. Environmental test results of hulled and naked oats. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*, 2018, no. 9, pp. 102–107. (In Russian).
 10. Rasane P., Jha A., Sabikhi L., Kumar A., Unnikrishnan V.S. Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, vol. 52, no. 2, pp. 662–675. DOI: 10.1007/s13197-013-1072-1.
 11. Ikoeva L.P., Khaeva O.E., Batsazova T.M. Influence of sowing rates and methods on naked oats yield when cultivating in the foothill zone of North Ossetia-Alania. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Journal of Proceedings of Gorsky State Agrarian University*, 2017, vol. 54, no. 2, pp. 116–121. (In Russian).
 12. Usanova Z.I., Bulyukin E.S. Productivity of huskless oats at cultivation according to different technologies with foliage spraying. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 6, pp. 21–25. (In Russian). DOI: 10.24411/235-2451-2018-10605.
 13. Batalova G.A., Gorbunova L.A. Influence of seeding rate on productivity and seed quality of oat. *Doklady Rossiiskoi Akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk = Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2009, no. 1, pp. 16. (In Russian).
 14. Bobrovskii A.V., Kosyanenko L.P. Seeding rate as the biological resource for the oat grain manufacture increase. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*, 2012, no. 6 (69), pp. 47–51. (In Russian).

15. Givens D.I., Davies T.W., Laverick R.M. Effect of variety, nitrogen fertiliser and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, vol. 113, pp. 169–181.
16. Usanova Z.I., Bulyukin E.S. Effect of cultivation technologies on yields of hull-less oat varieties in Verkhnevolzhye (Upper Volga region). *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2014, no. 6 (116), pp. 30–35. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Исачкова О.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 650510, Кемеровская область, Кемеровский район, пос. Новостройка, ул. Центральная, 47; e-mail: isachkova2410@mail.ru

Логинава А.О., научный сотрудник

Егушова Е.А., кандидат технических наук, доцент

AUTHOR INFORMATION

✉ **Olga A. Isachkova**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 47, Tsentralnaya St., Novostroika, Kemerovo district, Kemerovo region, 650510, Russia; e-mail: isachkova2410@mail.ru

Anastasia O. Loginova, Researcher

Elena A. Egushova, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor

Дата поступления статьи / Received by the editors 10.03.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 28.05.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ И СЕЛЕКЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

✉ **Марченко Л.А.**

Федеральный научный селекционно-технологический центр

садоводства и питомниководства

Москва, Россия

✉ e-mail: Lamarch@yandex.ru

На основе литературных источников обобщены сведения о признаке продуктивности земляники садовой *Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier. Признак продуктивности имеет сложный полигенный характер. Независимое наследование отдельных компонентов продуктивности позволяет моделировать оптимальное их сочетание в новом сорте. В основе создания высокопродуктивных сортов земляники садовой лежит внутривидовая гибридизация. Установленная положительная корреляция между размером ягод и урожаем свидетельствует о возможности повышения продуктивности сортов путем использования крупноплодных форм в селекции. На современном этапе в различных зонах садоводства исследователи выделяют крупноплодные сорта отечественной селекции: 'Атлас', 'Берегиня', 'Витязь', 'Гренада', 'Забелинская', 'Кемия', 'Наше Подмосковье', 'Нелли', 'Первоклассница', 'Русич', 'Солнечная Полянка', 'Соловушка', 'Фестивальная Ромашка', 'Фруктовая', 'Царица', 'Японка', и зарубежной селекции: 'Alba', 'Asia', 'Elsanta', 'Finesse', 'Florense', 'Vivaldi', 'Galia', 'Jive', 'Joly', 'M. Champion', 'Merced', 'Murano', 'Onda', 'Roxana', 'Rumba', 'Tarda Vicoda', 'Vima Kimberly', 'Vima Tarda', 'Vima Rina', 'Vima Xima'. Отмечена возможность достижения гетерозисного эффекта по признаку продуктивности при использовании метода инбридинга в селекции. Метод генетических модификаций растений имеет большое значение для селекции сложных количественных признаков продуктивности, включающих урожайность. Расширение генетической базы земляники садовой за счет октоплоидных и полиплоидных форм диких видов обеспечит увеличение продуктивности новых сортов благодаря включению в генотип признаков адаптивности к биотическим и абиотическим факторам. Использование современных методов исследований (скрининг метаболомного и биохимического профиля, ДНК-паспортизация, молекулярное маркирование) повышает объективность исследований и эффективность селекционного процесса.

Ключевые слова: земляника, продуктивность, селекция, признак, сорт

PRODUCTIVITY OF GARDEN STRAWBERRY AND BREEDING POSSIBILITIES TO IMPROVE IT

✉ **Marchenko L.A.**

Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery

Moscow, Russia

✉ e-mail: Lamarch@yandex.ru

The information on the productivity trait of garden strawberry *Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier has been summarized on the basis of literary sources. The productivity trait has a complex polygenic character. Independent inheritance of individual productivity components allows modeling their optimal combination in a new variety. The creation of highly productive varieties of strawberries is based on intraspecific hybridization. The established positive correlation between the size of berries and the yield indicates the possibility of increasing the productivity of varieties by using large-fruited forms in breeding. At present, in various zones of horticulture, researchers distinguish large-fruited varieties of domestic breeding: 'Atlas', 'Bereginya', 'Vityaz', 'Grenada', 'Zabelinskaya', 'Kemiya', 'Nashe Podmoscovie', 'Nelly', 'Pervoklassnitsa', 'Rusich', 'Solnechnaya Polyanka', 'Solovushka', 'Festivalnaya Romashka', 'Fruktovaya', 'Tsaritsa', 'Yaponka', and foreign breeding: 'Alba', 'Asia', 'Elsanta', 'Finesse',

‘Florense’, ‘Vivaldi’, ‘Galia’, ‘Jive’, ‘Joly’, ‘M. Champion’, ‘Merced’, ‘Murano’, ‘Onda’, ‘Roxana’, ‘Rumba’, ‘Tarda Vicoda’, ‘Vima Kimberly’, ‘Vima Tarda’, ‘Vima Rina’, ‘Vima Xima’. It was noted that when using the inbreeding method, it is possible to achieve a heterotic effect on the basis of the productivity trait. The method of genetic modifications of plants is of great importance for breeding of complex quantitative traits of productivity, including yield. Expansion of the genetic base of garden strawberry by means of octoploid and polyploid forms of wild species will ensure an increase in the productivity of new varieties due to the inclusion of traits of adaptability to biotic and abiotic factors in the genotype. The use of modern research methods (screening of the metabolomic and biochemical profile, DNA certification, molecular labeling) increases the objectivity of research and the efficiency of the breeding process.

Keywords: strawberry, productivity, breeding, trait, variety

Для цитирования: Марченко Л.А. Продуктивность земляники садовой и селекционные возможности ее повышения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 65–74. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-7>

For citation: Marchenko L.A. Productivity of garden strawberry and breeding possibilities to improve it. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 65–74. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-7>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Земляника садовая – наиболее распространенная ягодная культура в мировом производстве. Популярность ее обусловлена высокой экономической эффективностью возделывания, потребительским спросом, богатым биохимическим составом плодов [1].

В 2019 г. в мире произведено 8,9 млн т плодов земляники. Лидерами производства являются Китай (3,21 млн т), США (1,02 млн т), Мексика (0,86 млн т), Турция (0,47 млн т), Египет (0,46 млн т). В мировом рейтинге производителей Россия занимает седьмое место – в 2019 г. произведено 0,21 млн т¹.

Рентабельность возделывания земляники садовой определяется соотношением многих факторов, из которых важнейший и настоящее время – урожайность [2].

Урожайность сорта зависит от заложенного в генотипе потенциала продуктивности, а также от множества внешних факторов, влияющих на его проявление и возможность реализации в конкретных условиях [3, 4].

В современных условиях повышение продуктивности – одна из главных задач всех селекционных программ, независимо от условий зоны, для которой выводится сорт [5, 6].

Цель исследований – обобщить сведения о признаке продуктивности у земляники садовой на основе проведения анализа отечественных и зарубежных литературных источников, выявить способы повышения приоритетного признака на современном этапе развития селекции.

Признак продуктивности, слагаемые продуктивности у земляники садовой. В биологии под продуктивностью подразумевают величину биомассы, произведенной в единицу времени². Продуктивность растения применительно к сельскохозяйственным плодовым культурам – урожай с одного растения³. От продуктивности в конечном итоге зависит урожайность сорта – количество продукции, получаемой с единицы площади. Продуктивность растения обусловлена

¹FAO. FAOSTAT— Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. [accessed May 13, 2021] URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (дата обращения 13 мая 2021 г.).

²Биологический словарь on-line // <http://bioword.ru/B/B178.htm> (дата обращения: 29.04.2021).

³Кудрявец Р.П. Энциклопедический словарь-справочник садовода / под ред. И.М. Куликова. М.: Изд. Дом МСП, 2007. 605 с.

его генотипом и условиями среды, оказывающими влияние на раскрытие потенциальных возможностей конкретного растения, сорта [2, 3, 7]. Уровень проявления признака продуктивности у сортов земляники зависит от типа плодоношения (сорта короткого светового дня, ремонтантные сорта, нейтральнодневные сорта) и технологий выращивания (контролируемые условия, открытый грунт) [8–12].

У земляники садовой выделяют компоненты продуктивности: количество рожков (укороченных однолетних побегов), количество цветоносов, цветков, количество и массу плодов на одном растении^{4,5} [13]. При этом компоненты специфичны для каждого сорта. Определяющее значение имеют количество плодов на растении и их средняя масса [14]. В настоящее время к высокопродуктивным относят сорта, способные производить 500–600 г ягод с куста и более [15, 16].

При оптимальном сочетании компонентов продуктивности большое значение имеет количество цветков и завязей на одном цветоносе. Среди существующего многообразия сортимента выделяются сорта с большим, средним и малым количеством цветков и завязей на цветоносе. При этом, чем больше цветков и завязей на одном цветоносе, тем, как правило, меньше средняя масса ягод. Количество цветоносов на куст более 10 на второй год посадки характеризует сорт как потенциально высокопродуктивный [17, 18]. Большое число цветоносов у растений земляники может быть обусловлено как образованием множества цветоносов на небольшом количестве рожков, так и большим количеством рожков с несколькими цветоносами на каждом [19].

У большинства сортов земляники первая ягода бывает значительно крупнее остальных, что является биологической особенностью и объясняется строением цветоноса

[20]. Учитывая независимый характер наследования отдельных компонентов продуктивности (количество рожков, количество цветоносов, количество цветков и завязей, масса плода), возможно выявлять формы-доноры высокого уровня этих признаков (как в отдельности каждого, так и в сочетании) и включать их в селекционный процесс в качестве исходных родительских форм. С целью выявления оптимального сочетания компонентов продуктивности в новом сорте при разработке селекционной программы теоретически обосновывается модель будущего сорта, которая служит основой при проведении последующего отбора в гибридном потомстве⁶ [21].

Селекция земляники садовой на высокую продуктивность. Среди промышленных ягодных культур земляника – одна из наиболее молодых из одомашненных растений [22]. Современная культивируемая земляника (*Fragaria* × *ananassa*) возникла в результате случайной гибридизации между *Fragaria virginiana* Mill. и *Fragaria chiloensis* (L.) Mill. в XVIII в. [23]. Интерес к землянике как к сельскохозяйственной культуре возрос с развитием агротехнологий, перерабатывающей промышленности, выявлением питательной и диетической ценности плодов. На место селекционеров-любителей с начала XX в. пришли профессиональные исследователи [24]. Высокая экологическая пластичность растений земляники садовой способствовала быстрому распространению культуры в различные эколого-географические зоны и повышению спроса производителей на высокоурожайные сорта.

В основе создания высокопродуктивных сортов земляники садовой лежит традиционный метод – внутривидовая гибридизация. Задачами исследований при реализации селекционных программ являются выявление механизмов наследования изучаемых

⁴Зубов А.А. Генетические особенности и селекция земляники (методические указания). Мичуринск, 1990. 81 с.

⁵Зубов А.А., Попова И.В. Селекция земляники // Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общей ред. Е.Н. Седова. Орёл: ВНИИСПК; 1995. С. 387–416.

⁶Гореликова О.А. Совершенствование сортимента садовой земляники для интенсивных технологий возделывания в Краснодарском крае: дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар: ФГБНУ СКЗНИИСКВ; 2017.

признаков, разработка методов ускорения селекционного процесса и управления им. С помощью современных методов исследований, включающих биохимический, метаболомный анализ, генетический скрининг, ДНК-маркирование признаков, удалось значительно повысить объективность оценки как исходного материала для селекции, так и полученных гибридных популяций. Применение статистических методов анализа данных позволяет прогнозировать селекционный процесс и повышать его эффективность. Привлечение крупноплодных сортов в селекционный процесс – наиболее часто применяемый способ повышения продуктивности у земляники. Установленная положительная корреляция между размером ягод и продуктивностью у земляники садовой свидетельствует о возможности проведения селекции на высокую продуктивность путем использования крупноплодных форм [25]. Для повышения крупноплодности эффективно скрещивание крупноплодных сортов между собой [26, 27]. К крупноплодным относят сорта со средней массой ягоды 9–12 г и более⁷. В исследованиях В.И. Лапшина и В.В. Яковенко [28] по изучению коэффициентов наследуемости h^2 признака крупноплодности для родительских сортов земляники установлена высокая связь генотипа и фенотипа в изменчивости признака и выраженных аддитивных генетических эффектах.

Таким методом селекции на высокую продуктивность является инбридинг. Однако данный метод не нашел широкого применения из-за длительности и сложности процесса. Вместе с тем были получены положительные результаты – достигнут гетерозисный эффект по признаку продуктивности при скрещивании инбредных сеянцев (см. сноску 4).

Скорость создания новых сортов земляники достаточно высока. В настоящее время в мире насчитывается около 15 тыс. сор-

тообразцов, линий и форм⁸. Всестороннее изучение генетических ресурсов вида *Fragaria* × *ananassa* привело к тому, что в последние годы селекционеры обратили внимание на необходимость расширения его генетической базы [29]. В этой связи особое значение приобретает отдаленная гибридизация. Наибольший эффект имеет гибридизация сортов земляники ананасной с формами других октоплоидных видов [30].

На современном этапе в селекцию широко интегрируются инструментальные методы исследований. Молекулярные маркеры активно используются для выявления ДНК-полиморфизма, генетического разнообразия и популяционной структуры набора зародышевой плазмы у *Fragaria* × *ananassa* [31]. Полигенное наследование хозяйственно ценных признаков у *Fragaria* × *ananassa* ($2n=56$) усложняет осуществление генетического контроля при планировании селекционных программ (см. сноску 4). Для отбора по признакам, имеющим сложный полигенный контроль, эффективен метод геномной селекции, исключающий необходимость многолетних генетических исследований, предшествующих селекционному процессу [32].

Генетические модификации растений, предусматривающие встраивание генов для передачи определенных признаков, не встречающихся в природе у данного вида, используются для селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим факторам. Однако эта методика в настоящее время имеет ограниченное применение для селекции сложных количественных признаков, которая включает в себя урожайность [33]. Исключительно молекулярными методами не создано сортов с высокой урожайностью [34].

На проявление потенциальной продуктивности, обусловленной генотипом сорта, значительное влияние оказывают абиотические и биотические факторы, технологии

⁷Шокаева Д.Б., Зубов А.А. Земляника, клубника, земклуника // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общей ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орёл: ВНИИСПК, 1999. С. 417-443.

⁸Global Conservation Strategy for *Fragaria* (Strawberry). Rye. K.E. Hummer. *Scripta Horticulturae*. 2008. URL: <https://www.ishs.org/scripta-horticulturae/global-conservation-strategy-fragaria-strawberry>.

и способы выращивания культур. В связи с этим для различных зон производства выделяют эталоны высокой продуктивности. По данным отечественных исследователей, в настоящее время в условиях Краснодарского края наибольшей продуктивностью обладают сорта: 'Нелли' (1725,8 г/куст); 'Vivaldi', 'Rumba', 'Joly', 'Jive' (1044,7 г/куст) [16]. Высокой продуктивностью в сочетании с крупноплодностью, плотностью мякоти ягод и суммой сахаров в этой зоне садоводства обладают сорта: 'Vima Tarda', 'Onda', 'Vima Xima', 'Florense', 'Tarda Vicoda', 'Galia', 'Кемия', 'Нелли' [6]. По результатам оценки биологической продуктивности к наиболее продуктивным в Орловской области относятся сорта: 'Alba' (346 г/куст), 'Asia' (435), 'Царица' (463), 'Соловушка' (959 г/куст) [13]. В условиях Центрально-Черноземного региона Российской Федерации за высокую продуктивность в сочетании с другими хозяйственно ценными признаками выделяются сорта: 'Roxana' (до 675 г/куст), 'Alba', 'Vima Kimberly', 'Elsanta' (до 540), 'Vima Rina', 'Florence' (486–513 г/куст) [35]. Для Нечерноземной зоны в качестве наиболее продуктивных сортов выделены: 'Берегиня' (690,9 г/куст), 'Наше Подмосковье' (527,0), 'Русич' (501,8), 'Соловушка' (467,5), 'Витязь' (437,6 г/куст) [36]. Наибольшей продуктивностью в условиях лесостепи Алтайского края обладают сорта: 'Забелинская' (до 580 г/куст), 'Первоклассница' (до 769), 'Солнечная Полянка' (до 602), 'Фестивальная Ромашка' (до 583 г/куст) [37]. В условиях Камчатского края определены сорта с высоким потенциалом продуктивности: 'Японка', 'Первоклассница', 'Атлас', 'Фруктовая', 'Гренада' (308,0–869,4 г/куст) [38].

Учеными из Бразилии по результатам изучения девяти новых сортов выявлены наиболее продуктивные: 'Merced' (453–547 г/куст) и 'Samarosa' (434–537 г/куст) [39]. Новый европейский сорт 'Rendezvous' способен продуцировать до 1300 г плодов

на растение [40]. По данным исследователей Ист-Моллинга, высокой продуктивностью обладают сорта: 'Murano' (613 г/куст), 'M. Champion' (747), 'Finesse' (854 г/куст)⁹.

Роль селекции в повышении продуктивности земляники садовой очевидна, так как еще в 1980-х гг. к высокопродуктивным относили сорта с урожаем 250–350 г/куст ('Фестивальная', 'Комсомолка', 'Заря', 'Пурпуровая', 'Щедрая', 'Вымпел' и др.)¹⁰.

Независимое наследование признаков – компонентов продуктивности – у земляники садовой позволяет проводить селекцию по планируемым параметрам сочетания компонентов.

Расширение генетической базы *Fragaria* × *ananassa* с привлечением других октоплоидных видов и полиплоидных форм диких видов обеспечивает дальнейшее увеличение продуктивности у новых сортов за счет реализации потенциала, благодаря включению в генотип признаков адаптивности к биотическим и абиотическим факторам.

Широкое привлечение современных методов изучения фенотипа и генотипа (скрининг метаболомного и биохимического профиля, ДНК-паспортизация, молекулярное маркирование) способствует повышению объективности исследований и эффективности селекционного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов М.Ю., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В., Лыжин А.С. Плоды земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 5–18. DOI: 10.14258/jcrpm.2020015511.
2. Лукьянчук И.В. Оценка элитных форм земляники по комплексу ценных признаков // Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020. Т. 30. С. 49–53. DOI:10.30679/2587-9847-2020-30-49-53.

⁹ SF96a – East Malling Strawberry Breeding Club [Электронный ресурс]. – Annual report 2019-20. URL: <https://ahdb.org.uk/sf-096a-east-malling-strawberry-breeding-club-emsbc>.

¹⁰ Яркова К.Т., Философова Т.П., Зубов А.А., Ророва И.В., Константинова А.Ф., Копань К.Н., Копань В.А., Киртбая Е.К. Селекция земляники // Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общей ред. Г.А. Лобанова. Мичуринск: ВНИИС, 1980. С. 278–318.

3. Лапишин В.И., Яковенко В.В., Щеглов С.Н., Подорожный В.Н. Методический подход к оценке изменчивости признаков продуктивности и качества ягод в генетических коллекциях земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 6. С. 675–682. DOI: 10.18699/VJ19.540.
4. Драгавцева И.А., Кузнецова А.П., Клюкина А.В. Новый подход к стабилизации продукционного процесса сортов плодовых культур в условиях флуктуации климата // Бюллетень Государственного Никитского Ботанического Сада. 2020. Т. 135. С. 111–118. DOI: 10.36305/0513-1634-2020-135-111-118.
5. Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y., Zhong Ch. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world // Journal of Berry Research. 2018. N 8. P. 205–221. DOI:10.3233/JBR-180314.
6. Яковенко В.В., Лапишин В.И. Результаты оценки продуктивности и качества плодов земляники в условиях Прикубанской зоны Краснодарского края // Садоводство и виноградарство. 2019. № 2. С. 40–45. DOI: 10.31676/0235-2591-2019-2-40-45.
7. Luís J., Chiomento T., Paulo E., Júnior L., D'Agostinia M., De Nardib F.S., Trentina Th.S., Dornelles G.A., Huzar-Novakowiskia J., Calvetec E.O. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: A view through multivariate analysis // Scientia Horticulturae. 2021. № 279 (109738). P. 1–8. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109738.
8. Massa G.D., Chas E., Santini J.B., Mitchell C.A. Temperature affects long-term productivity and quality attributes of day-neutral strawberry for a space life-support system // Life Sciences in Space Research. 2015. N 5. P. 39–46. DOI: 10.1016/j.lssr.2015.04.003.
9. Арифова З.И. Улучшение сортимента земляники (*Fragaria ananassa* Duch.) путем интродукции на базе отделения КОСС ФГБУН «НБС-ННЦ» // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2017. Т. 144. № 1. С. 154–158.
10. Логинова С.Ф. Комплексная оценка ремонтантных сортов земляники в Северо-Западном регионе РФ // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 53. С. 60–65. DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14060.
11. Махмарасулов С.С., Енилеев Н.Ш., Султонов К.С. Морфо-биологические и продуктивные особенности сортов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch. ex Weston) // Аграрная наука. 2020. № 1. С. 67–70. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-334-1-67-70.
12. Fernandez-Salvador J., Chernoh E., Pheil A., Renne B. Low tunnels for season extension of day-neutral strawberries in the US Pacific Northwest // Acta Hort. 2021. N 1309. P. 269–276. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1309.39.
13. Зубкова М.И. Биологическая продуктивность и фактическая урожайность интродуцированных сортов земляники // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 4. С. 27–31. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/27-31.
14. Gaston A., Osorio S., Denoyes B., Rothan Ch. Applying the Solanaceae Strategies to Strawberry Crop Improvement // Trends in Plant Science. 2020. Vol. 25 (2). 3.130–140. DOI: 10.1016/j.tplants.2019.10.003.
15. Козлова И.И. Технологическая модель длительного периода производства ягод земляники // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2017. Т. 144. № 2. С. 29–31.
16. Яковенко В.В., Лапишин В.И., Ушак Л.С. Результаты оценки новых сортов земляники на пригодность к промышленному выращиванию в Краснодарском крае // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 167. № 03. С. 248–257. DOI: 10.21515/1990-4665-167-017.
17. Айтжанова С.Д., Андронов В.И. Селекция земляники на высокий и стабильный уровень продуктивности // Плодоводство и ягодоводство России. 1995. Т. 2. С. 85–89.
18. Андропова Н.В. Оценка исходных форм земляники садовой по продуктивности и составляющим её компонентам // Плодоводство и ягодоводство России. 2014. Т. 38. Ч. 1. С. 28–34.
19. Кичина В.В. Генетика и селекция ягодных культур: монография. М.: Колос. 1984. 278 с.
20. Скотт Д.Х., Лоуренс Ф.Дж. Земляника // Селекция плодовых растений (перевод с английского, под ред. Х.К. Еникеев). М.: Колос. 1981. С. 106–141.
21. Куликов И.М., Айтжанова С.Д., Андропова Н.В., Борисова А.А., Тумаева Т.А. Модель промышленного сорта земляники садовой для условий средней полосы России // Са-

- доводство и виноградарство. 2020. № 3. С. 5–10. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-3-5-10.
22. Vergauwen D., I. De Smet. The Strawberry Tales: Size Matters // Trends in Plant Science. 2019, vol. 24 (1). P. 1–3. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.10.007.
23. Luo G., Xue L., XubW., Zhao J., Wang J., Ding Y., Luana K., Leia J. Breeding decaploid strawberry with improved cold resistance and fruit quality // Scientia Horticulturae. 2019. N 251. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.03.001.
24. Говорова Г.Ф., Говоров Д.Н. Земляника: прошлое, настоящее, будущее: монография. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2014. 348 с.
25. Scott D.H., Lawrence F.J. Strawberry // Advances in fruit Breeding / Eds Junick J., Moore J.N. N.Y.: The University of Wisconsin Press. 1975. 71 p.
26. Айтжанова С.Д., Андропова Н.В., Поцендай С.Н. Селекция земляники садовой на крупноплодность // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. 45. С. 15–18.
27. Лапшин В.И. Результаты оценки отборных форм земляники по урожаю и качеству ягод // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. № 23. С. 80–83. DOI:10.30679/2587-9847-2019-23-80-83.
28. Лапшин В.И., Яковенко В.В. Оценка коэффициента наследуемости средней массы ягоды у сортов земляники // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020. № 28. С. 57–61. DOI: 10.30679/2587-9847-2020-28-57-61.
29. Edger P.P., Poorten T.J., Van Buren R., Hardigan M.A., Collet M. et al. Origin and evolution of the octoploid strawberry genome // Nature Genetics. 2019. N 51. P. 541–547. DOI: 10.1038/s41588-019-0356-4.
30. Mazzoni L., Di Vittori L., Balducci F., Forbes-Hernández T.Y., Giampieri F., Battino M., Mezzetti B., Capocasa F. Sensorial and nutritional quality of inter and intra-Specific strawberry genotypes selected in resilient conditions // Scientia Horticulturae. 2020. N 261. P. 1–6. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108945.
31. Biswas A., Melmaie K., Elavarthi S., Jones J., Reddy U. Characterization of strawberry (*Fragaria* spp.) accessions by genotyping with SSR markers and phenotyping by leaf antioxidant and trichome analysis // Scientia Horticulturae. 2019. N 256. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108561.
32. Хлесткина Е.К. Молекулярные маркеры в генетических исследованиях и в селекции // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 4/2. С. 1044–1052.
33. Mason A.S., Batley J. Creating new interspecific hybrid and polyploid crops // Trends in Biotechnology. 2015. Vol. 33. N 8. P. 436–441. DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.06.004.
34. Новохатин В.В., Драгавцев В.А., Леонова Т.А., Шеломенцева Т.В. Инновационные технологии конструирования прорывных сортов, созданные на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков // Эпоха науки. 2020. № 24. С. 54–58. DOI: 10.24411/2409-3203-2020-12411.
35. Козлова И.И. Тенденции формирования промышленного сортимента земляники в Российской Федерации // Садоводство и виноградарство. 2019. № 2. С. 25–32. DOI: 10.31676/0235-22591-2019-2-25-32.
36. Андропова Н.В. Зимостойкость и урожайность исходных форм земляники в условиях Брянской области // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 49. С. 32–36.
37. Стольников Н.П., Колесникова А.В. Оценка продуктивности сортов земляники в условиях лесостепи Алтайского края // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 49. С. 321–324.
38. Дахно Т.Г., Дахно О.А. Морфоструктурные компоненты куста и их связь с продуктивностью у сортообразцов земляники крупноплодной в условиях Камчатского края // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. Т. 2. № 50. С. 22–31. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-12016.
39. Chiomento J.L.T., Júnior L.P.L., D'Agostini M., De Nardi F.S., Trentin T.S., Dornelles A.G., Huzar-Novakowski J., Calvete E.O. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: A view through multivariate analysis // Scientia Horticulturae. 2021. N 279. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109738.
40. Olbricht K., Wagner H., Gerischer U. 'Rendezvous' portrait of a new European strawberry cultivar // Acta Hort. 2021. N 1309. P. 157–162. DOI: 10.17660/ActaHort.2021.1309.23.

REFERENCES

1. Akimov M.Yu., Luk'yanchuk I.V., Zhbano-va E.V., Lyzhin A.S. Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and biologically active substances (review). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = *Chemistry of plant raw materials*, 2020, no. 1, pp. 5–18. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2020015511.
2. Luk'yanchuk I.V. Evaluation of elite strawberry forms by a complex of valuable traits. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya* = *Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-making*, 2020, vol. 30, pp. 49–53. (In Russian). DOI: 10.30679/2587-9847-2020-30-49-53.
3. Lapshin V.I., Yakovenko V.V., Shcheglov S.N., Podorozhnyi V.N. A methodical approach for evaluating the variability of productivity and fruit quality in the genetic collections of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 675–682. (In Russian). DOI: 10.18699/VJ19.540.
4. Dragavtseva I.A., Kuznetsova A.P., Klyukina A.V. A new approach to stabilization of the production process of fruit culture cultivars under climate fluctuation. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo Botanicheskogo Sada* = *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 2020, vol. 135, pp. 111–118. (In Russian). DOI: 10.36305/0513-1634-2020-135-111-118.
5. Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y., Zhong Ch. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world. *Journal of Berry Research*, 2018, no. 8, pp. 205–221. DOI: 10.3233/JBR-180314.
6. Yakovenko V.V., Lapshin V.I. Estimation results of strawberry productivity and fruit quality under the conditions of the Kuban zone of Krasnodar territory. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = *Horticulture and Viticulture*, 2019, no. 2, pp. 40–45. (In Russian). DOI: 10.31676/0235-2591-2019-2-40-45.
7. Luís J., Chiomento T., Paulo E., Júnior L., D'Agostinia M., De Nardib F.S., Trentina Th.S., Dornelles G.A., Huzar-Novakowskia J., Calvetec E.O. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: A view through multivariate analysis. *Scientia Horticulturae*, 2021, no. 279 (109738), pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109738.
8. Massa G.D., Chas E., Santini J.B., Mitchell C.A. Temperature affects long-term productivity and quality attributes of day-neutral strawberry for a space life-support system. *Life Sciences in Space Research*, 2015, no. 5, pp. 39–46. DOI: 10.1016/j.lssr.2015.04.003.
9. Arifova Z.I. Improvement of assortment of wild strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) through the introduction of office-based KOSS FGBUN “NBS-NNC”. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = *Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 2017, vol. 144, no. 1, pp. 154–158. (In Russian).
10. Loginova S.F. Complex evaluation of remontant varieties of strawberry in the North-Western Region of the Russian Federation. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2018, no. 53, pp. 60–65. (In Russian). DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14060.
11. Makhmarasulov S.S., Enileev N.Sh., Sul-tonov K.S. Morpho-biological and productive features of strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa* Duch. ex Weston). *Agrarnaya nauka* = *Agrarian Science*, 2020, no. 1, pp. 67–70. (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2020-334-1-67-70.
12. Fernandez-Salvador J., Chernoh E., Pheil A., Renne B. Low tunnels for season extension of day-neutral strawberries in the US Pacific Northwest. *Acta Horti*, 2021, no. 1309, pp. 269–276. DOI: 10.17660/ActaHorti.2021.1309.39.
13. Zubkova M.I. Biological productivity and actual yield of non-native varieties of strawberry. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 2018, no. 4, pp. 27–31. (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/27-31.
14. Gaston A., Osorio S., Denoyes B., Rothan Ch. Applying the Solanaceae Strategies to Strawberry Crop Improvement. *Trends in Plant Science*, 2020, vol. 25 (2), pp. 130–140. DOI: 10.1016/j.tplants.2019.10.003.
15. Kozlova I.I. The technological model of long period of production of strawberries. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = *Collection of sci-*

- entific works of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 2017, vol. 144, no. 2, pp. 29–31. (In Russian).
16. Yakovenko V.V., Lapshin V.I., Ushak L.S. The results of the estimation of new strawberry varieties for availability for industrial growing in Krasnodar Region. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 2021, vol. 167, no. 03, pp. 248–257. (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-167-017.
 17. Aitzhanova S.D., Andronov V.I. Strawberry breeding for high and stable productivity level. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 1995, vol. 2, pp. 85–89. (In Russian).
 18. Andronova N.V. Evaluation of the initial forms of garden strawberries by productivity and its components. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2014, vol. 38, part. 1, pp. 28–34. (In Russian).
 19. Kichina V.V. *Genetics and selection of berry crops*, Moscow, Kolos Publ., 1984, 278 p. (In Russian).
 20. Skott D.Kh., Lourens F. Dzh. *Strawberry. Selection of fruit plants (translated from English, edited by Kh. K. Enikeev)*, Moscow, Publ., 1981, pp. 106–141. (In Russian).
 21. Kulikov I.M., Aitzhanova S.D., Andronova N.V., Borisova A.A., Tumaeva T.A. A model of a commercial strawberry variety for the conditions of Central Russia. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and Viticulture*, 2020, no. 3, pp. 5–10. (In Russian). DOI: 10.31676/0235-2591-2020-3-5-10.
 22. Vergauwen D., I. De Smet. The Strawberry Tales: Size Matters. *Trends in Plant Science*. 2019, vol. 24 (1), pp. 1–3. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.10.007
 23. Luo G., Xue L., XubW., Zhao J., Wang J., Ding Y., Luana K., Leia J. Breeding decaploid strawberry with improved cold resistance and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 2019, no. 251, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.03.001.
 24. Govorova G.F., Govorov D.N. *Strawberry: past, present, future*, Moscow, FGNU «Rosinformagrotekh». 2014, 348 p. (In Russian).
 25. Scott D.H., Lawrence F.J. *Strawberry. Advances in fruit Breeding / Eds Junick J., Moore J.N.* N.Y.: The University of Wisconsin Press. 1975. 71 p.
 26. Aitzhanova S.D., Andronova N.V., Potsepai S.N. Breeding of strawberry on large-fruit. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2016, vol. 45, pp. 15–18. (In Russian).
 27. Lapshin V.I. Results of assessing the strawberry selected forms on the yield and quality of berries. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya = Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture*, 2019, no. 23, pp. 80–83. (In Russian). DOI: 10.30679/2587-9847-2019-23-80-83.
 28. Lapshin V.I., Yakovenko V.V. Estimation of heritability coefficient of average berry weight in strawberry varieties. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya = Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-making*, 2020, no. 28, pp. 57–61. (In Russian). DOI: 10.30679/2587-9847-2020-28-57-61.
 29. Edger P.P., Poorten T.J., Van Buren R., Hardigan M.A., Collet M., et al. Origin and evolution of the octoploid strawberry genome. *Nature Genetics*, 2019, no. 51, pp. 541–547. DOI: 10.1038/s41588-019-0356-4.
 30. Mazzoni L., Di Vittori L., Balducci F., Forbes-Hernández T.Y., Giampieri F., Battino M., Mezzetti B., Capocasa F. Sensorial and nutritional quality of inter and intra-Specific strawberry genotypes selected in resilient conditions. *Scientia Horticulturae*, 2020, no. 261, pp. 1–6. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108945.
 31. Biswas A., Melmaie K., Elavarthi S., Jones J., Reddy U. Characterization of strawberry (*Fragaria* spp.) accessions by genotyping with SSR markers and phenotyping by leaf antioxidant and trichome analysis. *Scientia Horticulturae*, 2019, no. 256, pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108561.
 32. Khlestkina E.K. Molecular markers in genetic studies and breeding. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2013, vol. 17, no. 4/2, pp. 1044–1052. (In Russian).
 33. Mason A.S., Batley J. Creating new interspecific hybrid and polyploid crops. *Trends in Biotechnology*, 2015, vol. 33, no. 8, pp. 436–441. DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.06.004.
 34. Novokhatin V.V., Dragavtsev V.A., Leonova T.A., Shelomentseva T.V. Innovative tech-

- nologies for designing breakthrough varieties, created on the basis of the theory of ecological-genetic organization of quantitative characteristics. *Epokha nauki = Era of Science*, 2020, no. 24, pp. 54–58. (In Russian). DOI: 10.24411/2409-3203-2020-12411.
35. Kozlova I.I. Tendencies of formation of strawberries commercial assortment in Russia. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and Viticulture*, 2019, no. 2, pp. 25–32. (In Russian). DOI: 10.31676/0235-22591-2019-2-25-32.
36. Andronova N.V. Winter hardiness and yields of original forms of strawberry in the conditions of the Bryansk region. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2017, vol. 49, pp. 32–36. (In Russian).
37. Stol'nikova N.P., Kolesnikova A.V. Evaluation of the efficiency of strawberry varieties in conditions of the forest-steppe of the Altai region. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2017, vol. 49, pp. 321–324. (In Russian)..
38. Dakhno T.G., Dakhno O.A. Morphostructural components of the bush and their relationship with the productivity of the variety samples of the large-fruited strawberry in the climate of the Kamchatsky territory. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik = Far East Agrarian Bulletin*, 2019, vol. 2, no. 50, pp. 22–31. (In Russian). DOI:10.24411/1999-6837-2019-12016.
39. Chiomento J.L.T., Júnior L.P.L., D'Agostini M., De Nardi F.S., Trentin T.S., Dornelles A.G., Huzar-Novakowski J., Calvete E.O. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: A view through multivariate analysis. *Scientia Horticulturae*, 2021, no. 279, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109738/
40. Olbricht K., Wagner H., Gerischer U. “Rendezvous” portrait of a new European strawberry. *Acta Horti*, 2021, no. 1309, pp. 157–162. DOI: 10.17660/ActaHorti.2021.1309.23.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Марченко Л.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 115598, Москва, ул. Загорьевская, 4; e-mail: Lamarch@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Liudmila A. Marchenko**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 4, Zagorievskaya St., Moscow, 115598, Russia; e-mail: Lamarch@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.03.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 11.06.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021



ПРОМЫШЛЕННОЕ СКРЕЩИВАНИЕ КОРОВ МОЛОЧНОГО СКОТА С БЫКАМИ МЯСНЫХ ПОРОД В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Инербаев Б.О., Храмцова И.А., (✉) Инербаева А.Т.

Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р. п. Краснообск, Россия

(✉) e-mail: atinerbaeva@yandex.ru

Представлены результаты промышленного скрещивания коров молочного скота с быками мясных пород. Научно-хозяйственные опыты проведены в Омской и Новосибирской областях. Для эксперимента отобраны выранные коровы красной степной породы, которых искусственно осеменели семенем быков красной степной, калмыцкой и герефордской пород. От народившихся телят по методу групп-аналогов отобрали бычков каждого генотипа и сформировали три группы: 1-я контрольная – красные степные, 2-я опытная – помеси калмыцкая × красная степная, 3-я опытная – помеси герефордская × красная степная. Во втором опыте из бычков-кастратов симментальской породы и герефорд × симментальских помесей сформированы две группы: 1-я контрольная симментальской породы и 2-я опытная герефорд × симментальские помеси. Выявлено высокодостоверное превосходство по живой массе молодняка 2-й и 3-й опытных групп. С 9- и до 15-месячного возраста по сравнению с контрольными животными оно составило 16,5–77,3 кг ($p < 0,05–0,001$). У помесей группы красная степная × герефордская убойный выход составил 58,6%, что выше, чем у сверстников двух первых групп, на 1,9 и 1,8% ($p < 0,05$), масса туши 209,3 кг, у красных степных – 172,2 кг ($p < 0,01$). Во втором опыте в возрасте 8, 12, 15 и 18 мес бычки 2-й опытной группы превосходили сверстников 1-й контрольной на 15,2–29,4 кг ($p < 0,05–0,001$). Убойный выход у опытного молодняка был выше, чем у контрольного, – 57,8%. По двум опытам помесные группы животных характеризовались лучшей мясной продуктивностью. Промышленное скрещивание коров молочного скота с быками мясных пород позволит повысить мясную продуктивность и увеличить поголовье мясного скота.

Ключевые слова: промышленное скрещивание, мясная продуктивность, порода, живая масса

COMMERCIAL CROSS BREEDING OF DAIRY CATTLE WITH BEEF BULLS IN WESTERN SIBERIA

Inerbaev B.O., Khramtsova I.A., (✉) Inerbaeva A.T.

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

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

(✉) e-mail: atinerbaeva@yandex.ru

The results of commercial cross breeding of dairy cattle with meat bulls are presented. Scientific and economic experiments were carried out in Omsk and Novosibirsk regions. Ranked cows of the red steppe breed were selected for the experiment. They were artificially inseminated with the semen of bulls of the red steppe, Kalmyk and Hereford breeds. Bulls of each genotype were selected from the calves born and three groups were formed by the method of analogue groups: 1st control – the red steppe, 2nd experimental – crossbreed of Kalmyk × the red steppe, 3^d experimental – crossbreed

of Hereford × the red steppe. In the second experiment two groups were formed from castrated bulls of Simmental and Hereford breeds × Simmental hybrids: 1st control group of Simmental breed, 2nd experimental group – Hereford × Simmental hybrids. A highly reliable superiority in the live weight of young animals of the 2nd and 3^d experimental groups was revealed. From the age of 9 to 15 months, it was 16.5–77.3 kg ($p < 0.05–0.001$) compared to animals in the control group. In the group of the red steppe × Hereford, slaughter yield was 58.6%, which is higher than that of the first two groups, by 1.9 and 1.8% ($p < 0.05$), the carcass weight was 209.3 kg, the red steppe – 172.2 kg ($p < 0.01$). In the second experiment at the age of 8, 12, 15 and 18 months, the bulls of the 2nd experimental group outperformed the peers of the 1st control group by 15.2–29.4 kg ($p < 0.05–0.001$). Their slaughter yield was higher than that of the control group, and accounted for 57.8%. In two experiments, crossbred groups of animals were characterized by a better meat productivity. Commercial crossbreeding of dairy cows with beef breeds of bulls allows to increase meat productivity and increase the population of the meat cattle.

Keywords: commercial crossbreeding, meet productivity, breed, live weight

Для цитирования: Инербаев Б.О., Храмцова И.А., Инербаева А.Т. Промышленное скрещивание коров молочного скота с быками мясных пород в Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 75–81. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-8>

For citation: Inerbaev B.O., Khramtsova I.A., Inerbaeva A.T. Commercial cross breeding of dairy cattle with beef bulls in Western Siberia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2021. T. 51. № 3. pp. 75–81. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-8>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие отрасли специализированного мясного скотоводства в России – приоритетная задача сельского хозяйства. С 2010 по 2019 г. производство крупного рогатого скота на убой в живой массе уменьшилось от 3030,0 тыс. т до 2827,1 тыс. т, или на 202,9 тыс. т (–6,7%), что является следствием сокращения численности коров молочного направления продуктивности и сверхремонтного молодняка в доле откормочного поголовья¹ [1]. По мнению специалистов, их могут заменить только животные мясных пород. По прогнозам, к 2025 г. поголовье мясного скота специализированных мясных пород должно составить 10 млн гол. [2]. Развитие мясного скотоводства осуществляется как при использовании отечественных, так и зарубежных пород, как правило, районированных к условиям конкретного региона [3–10].

Следует отметить, что для увеличения поголовья мясного скота за счет собственного воспроизводства требуется длительное время, а покупать животных из других стран очень дорого. В связи с этим считаем целесообразным для сибирских товаропроизводителей использовать выранных (выбракованных) молочных коров для промышленного скрещивания с быками мясных пород. Это позволит в отличие от чистопородного поголовья мясного скота создать контингент помесных стад для производства говядины [11–15]. Потенциал развития мясного скотоводства в Сибири с ее обширными сельскохозяйственными угодьями очень высокий, поэтому разведение мясного скота может стать выгодным производством.

Цель исследования – изучить продуктивные особенности и мясные качества молодняка, полученного от промышленного

¹Дунин И.М., Бутусов Д.В., Шичкин Г.И., Сафина Г.Ф., Чернов В.В., Ласточкина О.В., Тяпугин С.Е., Боголюбова Л.П., Никитина С.В., Матвеева Е.А., Тяпугин Е.Е. Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации // Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации, 2019. М., 2020. 3 с.

скрещивания выранжированных молочных коров с быками специализированных мясных пород в Западной Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведены два научно-хозяйственных опыта. Первый – в СПК «Уралы» Омской области путем промышленного скрещивания коров красной степной породы с быками калмыцкой и герефордской пород для увеличения количества и улучшения качества говядины в хозяйствах притундровой северной зоны Западной Сибири. Для этого отобраны 62 выранжированные коровы красной степной породы, затем их искусственно осеменили семенем быков красной степной, калмыцкой и герефордской пород.

От народившихся 60 телят отобрали 30 бычков по 10 гол. каждого генотипа. По методу групп-аналогов сформировали три группы: 1-я контрольная – красные степные, 2-я опытная – помеси калмыцкая × красная степная, 3-я опытная – помеси герефордская × красная степная.

Второй опыт проведен в ЗАО «Козинское» Новосибирской области на поголовье бычков-кастратов симментальской породы и герефорд × симментальских помесях. Сформировали две группы животных по 10 гол.: 1-я (контрольная) симментальской породы, и 2-я (опытная) герефорд × симментальские помеси. Кормление и содержание молодняка в обоих опытах были одинаковыми. Бычков взвешивали ежемесячно утром до кормления. Определяли динамику их живой

массы до 15-месячного возраста в первом опыте и до 18-месячного – во втором.

Мясную продуктивность и качество мяса изучали по методике ВАСХНИЛ, ВИЖ, ВНИИМП. Для этого провели контрольный убой бычков в 15-месячном возрасте по 3 гол. из каждой группы в первом опыте и 18-месячном – во втором. Учтены предубойная масса, масса парной туши, выход туши, масса внутреннего сала, убойная масса и убойный выход. Данные обработаны методом вариационной статистики с использованием программы Snedecor.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено влияние герефордских и калмыцких быков при скрещивании с красными степными коровами на особенности изменения живой массы молодняка в возрастной динамике при выращивании с 9- до 15-месячного возраста. При рождении бычки красной степной породы и помеси 2-й группы имели практически одинаковую живую массу (26,0 и 27,2 кг) в отличие от 3-й группы. Живая масса бычков 3-й группы была больше на 2,7 кг, чем в 1-й группе, и на 1,5 кг – во 2-й ($p < 0,05$) (см. табл. 1).

Разница по живой массе в пользу помесей в сравнении со сверстниками контрольной группы особенно существенной оказалась после отъема от матерей. С этого возраста и до 15 мес различия 2-й и 3-й групп по сравнению с контрольной высокодостоверны. При этом у помесных животных происходило более интенсивное наращивание

Табл. 1. Динамика живой массы бычков, кг ($M \pm m$)

Table. 1. Dynamics of live weight of bulls, kg ($M \pm m$)

Возраст, мес	Группа (n = 10)		
	1-я	2-я	3-я
При рождении	26,0 ± 0,82	27,2 ± 0,73	28,7 ± 0,87 ^{*1}
9	219,8 ± 3,75	236,3 ± 5,92 ^{*1}	244,5 ± 2,36 ^{***1}
12	273,6 ± 5,46	296,0 ± 6,67 ^{*1}	317,8 ± 3,80 ^{***1*2}
15	333,5 ± 6,82	375,1 ± 4,92 ^{***1}	386,1 ± 4,13 ^{***1}

Здесь и далее: 1, 2 – означает номер группы.

^{*} $p < 0,05$.

^{**} $p < 0,01$.

^{***} $p < 0,001$.

живой массы. Различия по 1-й контрольной и 2-й опытной группам к 15 мес составили 41,6 кг в пользу опытных животных, по 1-й и 3-й – 52,6 кг ($p < 0,001$). Вероятно, высокая неприхотливость герефордских помесей к условиям содержания в зимний и ранневесенний периоды определила более высокие темпы прироста живой массы бычков 3-й группы.

Для установления убойных показателей молодняка красной степной породы и помесей с калмыцкими и герефордскими быками провели контрольный убой бычков в возрасте 15 мес. Для убоя отобрали по 3 бычка из каждой группы, имеющих сравнительно сходную живую массу со средними показателями по группе и одинаковой упитанностью перед убоем (см. табл. 2).

Убойный выход помесных бычков 2-й группы составил 56,8%, 3-й – 58,6%.

В 15-месячном возрасте более полновесными оказались туши помесных герефордских бычков – 209,3 кг, или 55,2%, у красных степных – 172,2 кг и 52,6%.

У калмыцких помесей масса парной туши составила 197,0 кг, что больше, чем

у красных степных сверстников. В целом убойный выход у калмыцких помесных бычков равнозначен с красными степными сверстниками (56,7 и 56,8%). У помесей группы красная степная × герефордская он составил 58,6%, что выше, чем у сверстников двух первых групп, на 1,9 и 1,8% соответственно.

Во втором опыте в возрасте 8 мес бычки 2-й опытной группы превосходили по живой массе сверстников 1-й контрольной на 22,9 кг (10,8%) при $p < 0,001$ (см. табл. 3).

Тенденцию превосходства по живой массе бычков 2-й группы на 15,2–29,4 кг ($p < 0,05–0,001$) наблюдали до 18-месячного возраста.

Показатели мясной продуктивности молодняка по результатам контрольного убоя бычков приведены в табл. 4.

Высокую предубойную массу в опыте имели бычки 1-й группы. Они превосходили своих сверстников из 2-й группы на 34,1 кг. Аналогичную ситуацию наблюдали по убойной массе и массе парной туши. Преимущество по убойному выходу было на стороне бычков 2-й группы – 57,8%.

Табл. 2. Результаты контрольного убоя 15-месячных бычков ($M \pm m$)

Table. 2. Results of the control slaughter of 15-month-old bulls ($M \pm m$)

Показатель	Группа		
	1-я	2-я	3-я
Живая масса, кг:			
съемная	338,0 ± 3,22	378,2 ± 2,49***	389,0 ± 3,57*** ^{1,2}
предубойная	327,3 ± 3,15	364,6 ± 2,76***	379,1 ± 2,61*** ^{1,2}
Масса, кг:			
убойная	186,0 ± 2,31	207,1 ± 2,50**	222,2 ± 2,23*** ^{1,2}
парной туши	172,2 ± 3,18	197,0 ± 2,15**	209,3 ± 2,20*** ^{1,2}
Убойный выход, %	56,7	56,8	58,6
Выход туши, %:	52,6	54,0	55,2

Табл. 3. Динамика живой массы симментальских, герефорд × симментальских бычков, кг

Table. 3. Dynamics of live weight of Simmental, Hereford × Simmental bulls, kg

Возраст, мес	Группа (n = 10)	
	1-я	2-я
8	212,2 ± 3,38	235,1 ± 3,78***
12	282,4 ± 5,81	311,8 ± 3,43***
15	328,0 ± 4,36	343,2 ± 5,13*
18	368,3 ± 5,20	397,7 ± 4,52***

Табл. 4. Результаты контрольного убоя подопытных бычков ($M \pm m$)

Table. 4. Results of control slaughter of experimental bulls ($M \pm m$)

Показатель	Группа	
	1-я	2-я
Масса, кг:		
съемная	350,6 ± 3,28	382,0 ± 3,45***
предубойная	335,1 ± 4,20	382,3 ± 14,4***
убойная	184,3 ± 4,26	212,3 ± 3,77***
парной туши	170,0 ± 3,19	197,0 ± 4,15***
Выход, %:		
убойный	55,3	57,8
туши	50,6	53,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты двух научно-хозяйственных опытов показали, что помесные бычки характеризовались лучшей мясной продуктивностью. Превосходство их над контрольными животными по живой массе достигло до 15,8%, по убойному выходу – до 2,5%. По нашему мнению, необходимо шире использовать промышленное скрещивание выранных (выбракованных) по молочной продуктивности коров молочного скота с быками мясных пород, что позволит повысить мясную продуктивность и увеличить поголовье мясного скота, особенно в личных подсобных и фермерских хозяйствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелева О.М., Бахарев А.А., Суханова С.В. Мясное скотоводство Уральского федерального округа: Основные тенденции и перспективы развития // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 237–239.
2. Бахарев А.А., Шевелёва О.М., Беседина Г.Н. Характеристика и история формирования мясного скотоводства в Тюменской области // Мир инноваций. 2017. № 1. С. 65–69. DOI: 10.34655/bgsha.2019.55.2.019.
3. Косилов В.И., Костомахин Н.М., Шкидев П.Н., Мироненко С.И., Никонова Е.А., Андриенко Д.А. Повышение мясной продуктивности и улучшение качества мяса у скота красной степной породы // Главный зоотехник. 2017. № 1. С. 3–11.
4. Левицкая Т.Т., Фомина Н.В. Характеристика роста и показателей естественной резистентности у чистопородного и помесного молодняка герефордской породы // АПК России. 2017. № 2. С. 385–390.
5. Лукьянов В.Н., Прохоров И.П. Особенности роста и развития мускулатуры туш бычков симментальской породы и ее помесей с абердин-ангусской и лимузинской // Научная жизнь. 2017. № 4. С. 47–57.
6. Зеленов Г.Н. Использование быков мясных пород в скрещивании с бестужевскими и помесными коровами для повышения мясной продуктивности и улучшения качества говядины // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2. С. 137–141. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-2-137-141.
7. Костомахин Н.М., Сафронов С.Л. Рост и развитие чистопородного молодняка чернопестрой породы и помесей с герефордской // Главный зоотехник. 2020. № 12. С. 9–15. DOI: 10.33920/sel-03-2012-01.
8. Кулинцев В.В., Шевхужев А.Ф., Смакуев Д.Р., Улимбашев М.Б. Откормочные и убойные качества бычков при выращивании по технологии мясного скотоводства // Зоотехния. 2020. № 3. С. 17–21. DOI: 10.25708/ZT.2020.85.75.005.
9. Прохоров И.П., Калмыкова О.А. Особенности роста и развития скелета симментальских и помесных бычков, выращиваемых на мясо // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 2. С. 58–61. DOI: 10.31857/S2500-2627-2020-2-58-61.
10. Фролов А.Н., Завьялов О.А. Создание товарных мясных стад на основе низкопродуктивных коров симментальской породы // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 3. С. 61–67.
11. Бахарев А.А., Фоминцев К.А., Григорьев К.Н. Промышленное скрещивание мясных пород скота в Северном Зауралье // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 53. С. 129–133. DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14129.
12. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Суторма О.А., Ранделина В.В., Ранделин А.В., Натиров А.К. Эффективность различных вариантов промышленного скрещивания

- крупного рогатого скота мясных пород российской селекции // Животноводство и кормопроизводство. 2018. № 3. С. 45–52.
13. Инербаев Б.О., Борисов Н.В. Качество говядины чистопородного и помесного мясного скота Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 45–51. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-6.
14. Овсянникова Г.В. Мясное скотоводство Черноземья: состояние и перспективы производства говядины // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2019. № 1. С. 47–50.
15. Басонов О.А., Асадчий А.А. Мясная продуктивность и биологические особенности чистопородных и помесных бычков герефордской породы // Зоотехния. 2020. № 10. С. 20–24. DOI: 10.25708/ZT.2020.29.67.006.
- ## REFERENCES
1. Sheveleva O.M., Bakharev A.A., Sukhanova S.V. Beef cattle breeding in the Ural Federal District: main trends and development prospects. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya of Orenburg State Agrarian University*, 2019, no. 3 (77), pp. 237–239. (In Russian).
2. Bakharev A.A., Sheveleva O.M., Besedina G.N. Characteristics and history of the formation of meat cattle breeding in the Tyumen region. *Mir innovatsii = World of Innovations*, 2017, no. 1, pp. 65–69. (In Russian). DOI: 10.34655/bgsha.2019.55.2.019.
3. Kosilov V.I., Kostomakhin N.M., Shkidev P.N., Mironenko S.I., Nikonova E.A., Andrienko D.A. The increase of meat productivity and improving meat quality in red steppe cattle. *Glavnyi zootekhnik = Chief Zootechnician*, 2017, no. 1, pp. 3–11. (In Russian).
4. Levitskaya T.T., Fomina N.V. Characteristics of growth and indices of natural resistance in purebred and crossbred Hereford breed young animals. *APK Rossii = Agro-Industrial Complex of Russia*, 2017, no. 2, pp. 385–390. (In Russian).
5. Luk'yanov V.N., Prokhorov I.P. Features of the growth and development of the musculature of carcasses of Simmental bulls and their crossbreeds with Aberdeen-Angus and Limousine breeds. *Nauchnaya zhizn' = Scientific Life*, 2017, no. 4, pp. 47–57. (In Russian).
6. Zelenov G.N. Usage of bulls of meat breeds for crossing with Bustuzhev and cross-bred cows for improving meat productivity and beef quality. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2018, no. 2, pp. 137–141. (In Russian). DOI: 10.18286/1816-4501-2018-2-137-141.
7. Kostomakhin N.M., Safronov S.L. Growth and development of purebred young cattle of black-and-white breed and crossbreeds with Hereford breed. *Glavnyi zootekhnik = Chief Zootechnician*, 2020, no. 12, pp. 9–15. (In Russian). DOI: 10.33920/sel-03-2012-01.
8. Kulintsev V.V., Shevkhezhev A.F., Smakuev D.R., Ulimbashev M.B. Feeding and slaughter qualities of bulls when grown by meat cattle technology. *Zootekhnika*, 2020, no. 3, pp. 17–21. (In Russian). DOI: 10.25708/ZT.2020.85.75.005.
9. Prokhorov I.P., Kalmykova O.A. Peculiarities of skeleton growth and development in Simmental and Crossbred bull-calves reared for beef. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka = Russian Agricultural Science*, 2020, no. 2, pp. 58–61. (In Russian). DOI: 10.31857/S2500-2627-2020-2-58-61.
10. Frolov A.N., Zav'yalov O.A. Creation of commercial beef herds based on low-productive Simmental cows. *Vestnik myasnogo skotovodstva = The Herald of Beef Cattle Breeding*, 2017, no. 3, pp. 61–67. (In Russian).
11. Bakharev A.A., Fomintsev K.A., Grigor'ev K.N. Industrial crossbreeding of beef cattle in northern Urals. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2018, no. 53, pp. 129–133. (In Russian). DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14129.
12. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Sutorma O.A., Randelina V.V., Randelin A.V., Nasyrov A.K. Efficiency of different variants of commercial crossing of beef cattle breeds of Russian selection. *Zhivotnovodstvo i kormoproduktstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*, 2018, no. 3, pp. 45–52. (In Russian).
13. Inerbaev B.O., Borisov N.V. Beef quality of purebred and crossbred beef cattle of Siberia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, no. 5, pp. 45–51. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-6.

14. Ovsyannikova G.V. Meat cattle breeding of the Chernozem region: state and prospects of beef production. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaistvennoi produktsii = Technology and Commodity Science of Agricultural Products*, 2019, no. 1, pp. 47–50. (In Russian).
15. Basonov O.A., Asadchii A.A. Meat productivity and biological characteristics of purebred and crossbreed bulls of the Hereford breed. *Zootekhnika*, 2020, no. 10, pp. 20–24. (In Russian). DOI: 10.25708/ZT.2020.29.67.006.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Инербаев Б.О., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией; e-mail: bazin60.nsk@mail.ru

Храмцова И.А., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: sibnptig@ngs.ru

✉ **Инербаева А.Т.**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: atinerbaeva@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Bazarbai O. Inerbaev, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, Laboratory Head; e-mail: bazin60.nsk@mail.ru

Irina A. Khramtsova, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; e-mail: sibnptig@ngs.ru

✉ **Aigul T. Inerbaeva**, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: atinerbaeva@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.01.2021

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 19.05.2021

Дата публикации / Published 26.07.2021

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА БАКТЕРИЦИДНУЮ АКТИВНОСТЬ И АНТИБИОТИКОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ *SALMONELLA ENTERITIDIS* 182

✉ Шкиль Н.Н., Нефедова Е.В.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: nicola07@mail.ru

Проведены исследования по определению синергетического эффекта применения комбинаций антибактериальных веществ, включающих антибиотики, дезинфектант септабик и AgNPs. Выявлен значительный рост бактерицидной активности в комбинации септабик + AgNPs + нитокс и септабик + AgNPs + цефтиофур. Определение чувствительности *Salmonella enteritidis* 182 к антибактериальным препаратам показало наличие устойчивости к 8 (38,1%) препаратам, малой чувствительности – к 7 (33,3%), чувствительности – к 6 (28,6%) и отсутствие препаратов с высокой чувствительностью. После культивирования *S. enteritidis* 182 с антибактериальными препаратами и их комбинациями установлено увеличение количества лекарственных средств, к которым изучаемый штамм был чувствителен. Наличие чувствительности выявлено к 7–10 препаратам, что на 4,7–19,6% больше, чем в контрольных показателях. Установлена ранее отсутствовавшая высокая чувствительность к 2–8 (9,5–38,0%) антибактериальным препаратам. Культивирование *S. enteritidis* 182 с AgNPs показало наивысший рост антибиотикочувствительности из всех изучаемых комбинаций антибактериальных средств в виде увеличения размера задержки роста. Это дает основание предположить о ведущей роли AgNPs в преодолении антибиотикорезистентности. Инкубирование *S. enteritidis* 182 после контакта с септабиком и арговитом вызвало максимальное увеличение диаметра задержки роста микроорганизма без снижения показателя к отдельным видам препаратов (за исключением септабика, где установлена утрата чувствительности к тилозину). При добавлении различных антибиотиков к комбинации септабик + арговит отмечены факты снижения зоны задержки роста или его исчезновения. Описан комбинированный эффект сочетанного применения антибактериальных препаратов и наночастиц серебра в отношении бактерий с множественной лекарственной устойчивостью.

Ключевые слова: наночастицы серебра, *Salmonella enteritidis*, антибиотики, антибиотикорезистентность, AgNPs, септабик

EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES ON BACTERICIDAL ACTIVITY AND ANTIBIOTIC SENSITIVITY OF *SALMONELLA ENTERITIDIS* 182

✉ Shkil N.N., Nefedova E.V.

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

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: nicola07@mail.ru

Studies have been carried out to determine the synergetic effect of the use of combinations of antibacterial substances, including antibiotics, septabic disinfectant and AgNPs. A significant increase in bactericidal activity was revealed in the combination of septabic + AgNPs + nitox and septabic + AgNPs + ceftiofur. Determination of the sensitivity of *Salmonella enteritidis* 182 to antibacterial drugs showed the presence of resistance to 8 drugs (38.1%), low sensitivity to 7 (33.3%), sensitivity to 6 (28.6%) and the absence of preparations with high sensitivity indicators. After cultivation of *S. enteritidis* 182 with antibacterial drugs and their combinations, an increase in the number of preparations to which the studied strain was sensitive was found. The presence of sensitivity to 7–10 drugs was revealed, which is 4.7–19.6% higher than in the control indicators. A previously absent high sensitivity to 2–8 antibacterial drugs (9.5–38.0%) was established. The cultivation of *S. enteritidis* 182 with AgNPs showed the highest increase in antibiotic sensitivity of all the studied combinations of antibacterial agents in the form of the growth inhibition size increase. This suggests

a leading role of AgNPs in overcoming antibiotic resistance. Incubation of *S. enteritidis* 182 after contact with septabic and argovite caused a maximum increase in the diameter of the growth inhibition of the microorganism without decreasing sensitivity to certain types of drugs (with the exception of septabic, where the loss of sensitivity to tylosin was established). When adding various antibiotics to the combination of septabic + argovit, a decrease in the growth inhibition zone or its disappearance were noted. The combined effect of the use of antibacterial drugs together with silver nanoparticles against bacteria with multidrug resistance is described.

Keywords: silver nanoparticles, *Salmonella enteritidis*, antibiotics, antibiotic resistance, AgNPs, septabik

Для цитирования: Шкиль Н.Н., Нефедова Е.В. Влияние наночастиц серебра на бактерицидную активность и антибиотикочувствительность *Salmonella enteritidis* 182 // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 82–91. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-9>

For citation: Shkil N.N., Nefedova E.V. Effect of silver nanoparticles on bactericidal activity and antibiotic sensitivity of *Salmonella enteritidis* 182. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 82–91. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение антибактериальных препаратов в животноводстве привело к росту количества изоляции антибиотикорезистентных штаммов микроорганизмов. Это значительно снизило эффективность химиотерапии и создало условия для передачи антибиотикорезистентных генов через продукты животного происхождения человеку. В 2001 г. ВОЗ ООН признала проблему антибиотикорезистентности глобальной и разработала ряд мероприятий, направленных на ограничение возникновения и распространения данного явления, которое в равной степени затрагивает как медицинскую, так и ветеринарную сферу оказания услуг. Устойчивые к карбапенемам микроорганизмы семейства Enterobacteriaceae рассматриваются как угроза общественному здравоохранению. Важнейшим каналом формирования этой устойчивости являются штаммы бактерий, выделенные от крупного рогатого скота. Ущерб в США от инфекций, вызываемых антибиотикостойкими микроорганизмами, оценивается в 55–70 млрд

дол., аналогичные потери в Европе превышают 1,5 млрд евро в год^{1,2} [1].

Особую опасность представляет группа возбудителей кишечных инфекционных болезней рода *Salmonella*, способных вызывать патологии у животных и птицы и пищевые токсикоинфекции у человека. С учетом дополнительных рисков, которые создают персистирующие возбудители, связанные с наличием антибиотикорезистентных генов, проблема инфекционных патологий приобретает угрожающий характер и требует незамедлительных решений.

В настоящее время проводят исследовательские работы по созданию ветеринарных препаратов, не содержащих антибиотики, но обладающих антибактериальными свойствами. Один из известных способов лечения и профилактики инфекционных болезней – применение препаратов серебра. Широкое использование данные препараты получили при лечении желудочно-кишечных болезней человека и животных, акушерско-гинекологических (мастит, эндометрит) патологий крупного рогатого скота, а также лечения ран, язв, пролежней в хирургической прак-

¹World Health Organization. WHO Global Strategy for Containment of Antimicrobial Resistance. Geneva, 2001. WHO/CDS/CSR/DRS/2001.2.

²Стратегия предупреждения распространения антимикробной резистентности: распоряжение Правительства Российской Федерации № 2045-р от 25.09.2017.

тике³ [2–5]. Проведенные исследования выявили наряду с бактерицидными свойствами препаратов серебра наличие у наночастиц серебра (AgNPs) возможности преодоления и снижения антибиотикорезистентности условно-патогенной и патогенной микрофлоры⁴. Получен положительный опыт применения дезинфектантов в качестве лекарственных средств антибактериальной направленности (экоцид при оральном применении), что открывает перспективы использования данных препаратов в качестве лечебных средств [6]. В связи с этим возникает потребность изучения наличия возможных синергетических свойств при совместном применении антибактериальных препаратов различных фармакологических групп.

Изучение влияния коллоидного серебра на морфологию и развитие популяций клеток *Salmonella enteritidis* с применением метода сканирующей электронной микроскопии показало, что AgNPs в невысоких концентрациях способствует частичному разрушению клеточной стенки бактерий, препятствует нормальному делению клеток, инициирует процессы гетероморфизма. Однако при этом популяция *S. enteritidis* остается жизнеспособной. Попадая в благоприятную среду, она полностью восстанавливает свои морфологические свойства и возможность роста и развития (бактериостатический эффект). В высоких концентрациях AgNPs вызывает стремительную гибель клеток в популяции. Таким образом, бактерицидный эффект растворов коллоидного серебра напрямую зависит от концентрации в них наночастиц. Чем выше их концентрация, тем глубже поражение клеточных структур, тем более выражен дезинфицирующий эффект применяемого препарата [7].

Установлено, что наноразмерные системы способны не только улучшать терапевтическую активность антибактериальных агентов, но и сдерживать стимуляцию

устойчивости путем преодоления разработанных бактериями стратегий устойчивости, включающих разложение лекарственного средства под действием β -лактамазы, утолщение стенок бактериальных клеток [8]. Синергетический эффект AgNPs в сочетании с гентамицином в отношении бактерий *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* и *Staphylococcus aureus* показал значительное увеличение диаметра (до 26–34 мм) зон задержки роста бактерий [9].

Цель исследования – изучить бактерицидные свойства различных комбинаций антибактериальных препаратов и их влияние на возможность преодоления антибактериальной резистентности у *S. enteritidis* 182.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения использовали содержащий AgNPs (12–14 мкг/мл) препарат арговит; цефтимаг, в 1 мл в качестве действующего вещества содержащий цефтиофура гидрохлорид 100 мг; в качестве вспомогательных веществ – метилового эфира параоксибензойной кислоты 1,8 мг, пропилового эфира параоксибензойной кислоты 0,2 мг и пропиленгликоля дикаприлата/дикапрата до 1 мл; окситетрациклин в виде 10%-го водного раствора; энрофлоксацин, содержащий 50 мг энрофлоксацина в 1 мл; гентамицин, содержащий гентамицина сульфата 40 мг в 1 мл; нитокс, в 1 мл лекарственного препарата в качестве действующего вещества содержащий 200 мг окситетрациклина дигидрата; вспомогательные компоненты – магния оксид, N,N-диметилацетамид, ронгалит, моноэтаноламин и вода для инъекций; азитромицин в виде азитромицина цитрата, полученный из азитромицина дигидрата, 100 мг в 1 мл; вспомогательные вещества – кислоты лимонной моногидрат, натрия гидроксид, вода для инъекций.

³Благитко Е.М., Бугайченко Н.В., Шорина Г.Н. и др. Результаты местного применения арголита и гидропента-серебросодержащих препаратов на естественной минеральной основе // Нанотехнологии и наноматериалы для биологии и медицины: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием: в 2 ч. Новосибирск, 2007. Ч. 2. С. 39–49.

⁴Мамонова И.А. Влияние наночастиц переходной группы металлов на антибиотико-резистентные штаммы микроорганизмов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2013. 21 с.

Дезинфектант септабик содержит действующее вещество – клатрат дидецилдиметиламмоний бромида с мочевиной, который активен в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий (включая микобактерии туберкулеза), дерматофитов, дрожжеподобных грибов рода кандиды, вируса гепатита В, ВИЧ, вирусов гриппа, парагриппа⁵.

Определение чувствительности микроорганизмов референтного штамма *S. enteritidis* ATCC 182 к антибактериальным веществам и их сочетаниям определяли из разведения с минимальной бактериостатической концентрацией, 0,2 мл которого вносили на МПА и дискодиффузионным методом определяли антибиотикочувствительность микроорганизмов.

Определение чувствительности проводили к 21 антибактериальному препарату при последующем инкубировании в течение 24 ч при температуре $37,5 \pm 0,5$ °C. Чувствительность микроорганизмов к антибиотикам определяли по степени задержки диаметра роста вокруг диска: до 10 мм – устойчивые, до 15 – малочувствительные, до 20 – чувствительные, более 20 мм – высокочувствительные⁶.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение бактерицидной активности антибактериальных препаратов в комбинации с AgNPs и дезинфектантом септабик обосновано возможным его применением при лечении инфекционных патологий ввиду приемлемых параметров острой токсичности, который относится к 3-му классу (ГОСТ 12.1.007–76) умеренно опасных соединений при введении в желудок, к 4-му классу малоопасных соединений при нанесении на кожу и при ингаляционном воздействии в насыщающей концентрации. AgNPs обладает слабым сенсibiliзирующим действием⁷.

Проведенные исследования по определению синергетического эффекта применения комбинаций антибактериальных веществ, включающих антибиотики, препарат дезинфектанта и AgNPs, показали значительный рост бактерицидной активности в комбинации септабик + AgNPs + нитокс и септабик + AgNPs + цефтиофур (см. табл. 1).

Определение чувствительности *S. enteritidis* 182 к антибактериальным препаратам показало наличие устойчивости к 8 (38,1%), малой чувствительности – к 7 (33,3%), чувствительности – к 6 (28,6%) и отсутствие препаратов с высокой чувствительностью. После культивирования *S. enteritidis* 182 с антибактериальными препаратами и их комбинациями установлено увеличение количества лекарственных средств, к которым изучаемый штамм был чувствителен. Наличие чувствительности выявлено к 7–10 препаратам, что на 4,7–19,6% больше, чем в контрольных показателях. Установлена ранее отсутствовавшая высокая чувствительность

Табл. 1. Чувствительность *S. enteritidis* 182 к антибактериальным препаратам и их комбинациям

Table 1. Sensitivity of *S. enteritidis* 182 to antibacterial drugs and their combinations

Препарат	Концентрация, мкг/мл		
	AgNPs	Септабик	Антибиотик
AgNPs	115	–	–
Септабик	–	312	–
Септабик + AgNPs	0,2	156	–
Септабик + AgNPs + окситетрациклин	0,1	0,78	0,78
Септабик + AgNPs + азитромицин	0,05	0,39	0,39
Септабик + AgNPs + гентамицин	0,05	0,39	0,39
Септабик + AgNPs + энрофлоксацин	0,05	0,39	0,39
Септабик + AgNPs + нитокс	0,00125	0,0975	0,0975
Септабик + AgNPs + цефтиофур	0,00125	0,0975	0,0975

⁵https://infodez.ru/product/1452_septabik.html

⁶Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам: методические указания МУК 4.2. 1890-04, ЦНИИЭ. М., 2004. 101 с.

⁷https://infodez.ru/product/1452_septabik.html

к 2–8 (9,5–38,0%) антибактериальным препаратам (см. табл. 2).

Культивирование *S. enteritidis* 182 с AgNPs показало наивысший рост антибиотикочувствительности из всех изучаемых комбинаций антибактериальных средств в виде наибольшего размера задержки роста микроорганизма, что дает основание предположить о ведущей роли AgNPs в преодолении антибиотикорезистентности. Инкубирование *S. enteritidis* 182 после контакта с септабиком и арговитом вызывало максимальное увеличение диаметра задержки роста микроорганизма без снижения показателя к отдельным видам препаратов (за исключением септабика, где установлена утрата чувствительности к тилозину). При добавлении различных антибиотиков к комбинации септабик + арговит отмечены факты снижения зоны задержки роста или его исчезновения. Так, энрофлоксацин снижал диаметр задержки роста микроорганизма или приводил к его исчезновению к 6 (28,6%) препаратам, окситетрациклин, гентамицин – к 4 (19,0%), нитокс, цефтиофур, азитромицин – к 2 (9,5%). В данных случаях во всех комбинациях отмечена утрата чувствительности к тилозину и неомицину при добавлении к комбинации септабик + арговит азитромицина, энрофлоксацина, нитокса и цефтиофура (см. табл. 3, 4).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о наличии синергетических свойств сочетанного применения антибактериальных препаратов и подтверждают ранее проведенные исследования других авторов. Описан комбинированный эффект сочетанного применения антибактериальных препаратов и наночастиц серебра в отношении бактерий с множественной лекарственной устойчивостью. Установлено, что синергетический эффект антибиотиков ципрофлоксацина, имипенема, гентамицина, ванкомицина, триметоприма и наночастиц привел к увеличению антибактериальной активности в 0,2–7,0 раза (в среднем в 2,8). Это показывает, что наночастицы могут эффективно использоваться в сочетании с антибиотиками для повышения их эффективности против различных патогенных микроорганизмов [10]. Установлен антибактериальный эффект сочетанного применения AgNPs и ванкомицина в отношении *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Streptococcus pneumonia* [11].

Синергетическая антибактериальная активность в сочетании AgNPs с тетрациклином, неомицином и пенициллином испытана против антибиотикорезистентной *S. typhimurium* DT104. Отмечено дозозависимое ингибирование роста бактерий *S. typhimurium* DT104 для комплексов тетрациклин – AgNPs и неомицин – AgNPs (0,07 и

Табл. 2. Изменение чувствительности *S. enteritidis* 182 после контакта с антибактериальными средствами и их комбинациями

Table 2. Changes in the sensitivity of *S. enteritidis* 182 after contact with antibacterial agents and their combinations

Препарат	Количество препаратов							
	У	%	М	%	Ч	%	В	%
Арговит	1	4,8	3	14,3	12	57,1	5	23,8
Септабик	4	19,0	2	9,5	10	47,6	5	23,8
Септабик + AgNPs	3	14,3	2	9,5	10	47,6	6	28,6
Септабик + AgNPs + окситетрациклин	8	38,0	3	14,3	7	33,3	3	14,3
Септабик + AgNPs + азитромицин	3	14,3	2	9,5	8	38,0	8	38,0
Септабик + AgNPs + гентамицин	7	33,3	2	9,5	9	42,74	3	14,3
Септабик + AgNPs + энрофлоксацин	12	57,0	–	–	7	33,3	2	9,5
Септабик + AgNPs + нитокс	4	19,0	1	4,75	10	47,6	6	28,6
Септабик + AgNPs + цефтиофур	6	28,6	3	14,3	8	38,0	4	19,0

Примечание. У – устойчивые, М – малочувствительные, Ч – чувствительные, В – высокочувствительные.

Табл. 3. Изменение зоны задержки роста *S. enteritidis* 182 после контакта с антибактериальными препаратами и их комбинациями**Table 3.** Changes in the growth inhibition zone of *S. enteritidis* 182 after contact with antibacterial drugs and their combinations

Препарат	Контрольная группа	Септабик	%	Септабик + AgNPs	%	Септабик + AgNPs + окситетрацилин	%	Септабик + AgNPs + азитромицин	%	Септабик + AgNPs + гентамицин	%
Ампициллин/сульфабактам	–	–	–	21	100	–	–	11	100	–	–
Ампициллин	15	20	33,3	22	46,7	14	–6,7	21	40	–	–100
Амикацин	–	21	100	20	100	20	100	22	100	20	100
Бензилпенициллин	–	–	–	19	100	–	–	–	–	–	–
Гентамицин	15	18	20	16	6,7	20	33,3	20	33,3	20	33,3
Доксициклин	15	13	–13,3	16	6,7	–	–100	16	6,7	13	–13,3
Полимиксин	–	15	100	19	100	–	–	15	100	15	100
Карбециллин	20	21	5	21	5	21	5	25	25	23	15
Норфлоксацин	–	24	100	–	–	23	100	21	100	22	100
Неомицин	16	18	12,5	18	12,5	18	12,5	–	–100	20	25
Энрофлоксацин	17	18	5,9	18	5,9	20	17,6	22	29,4	20	17,6
Ципрофлоксацин	20	25	25	23	100	21	5	21	5	25	25
Тетрациклин	–	20	100	15	100	14	100	18	100	17	100
Окситетрациклин	15	18	20	13	13,3	13	–13,3	17	13,3	18	20
Линкомицин	–	16	100	–	–	–	–	20	100	–	–
Тилозин	15	–	–100	21	27,0	–	–100	–	–100	–	–100
Левомецетин	15	20	33,3	16	6,7	16	6,7	22	46,7	20	33,3
Стрептомицин	15	20	33,3	18	20	20	33,3	21	40	16	6,7
Тикарциллин/клавулановая кислота	19	20	5,3	24	26,3	16	–15,8	20	5,3	–	–100
Офлоксацин	16	23	43,7	17	6,2	–	–100	20	25	17	6,2
Рифампицин	–	–	–	–	–	–	–	20	100	–	–

0,43 мкг/мл соответственно). При этом комбинация пенициллин – AgNPs не оказывала ингибирования роста микроорганизма [12]. Изучена антимикробная активность синтезированных биоконъюгатов AgNPs и эндогенных антибиотиков. Конъюгаты AgNPs с пептидом C-Bac3.4 обладают антимикробной активностью, в том числе в отношении резистентного к антибиотикам штамма *P. aeruginosa*, а также устойчивого к метициллину штамма *St. aureus* ATCC 33591. Исследования показали, что комплексы AgNPs с антимикробными пептидами не обладают выраженным мембранолитическим действием, свойственным пептидам [13].

AgNPs, синтезированные *A. calcoaceticus* LRVP54 в течение 24 ч, имеющие вид монодисперсных сферических наночастиц размером 8–12 нм, получены из солей металла

нитрата серебра размером 0,7 мкм с последующим нагреванием при температуре 70 °С. Дискдиффузионным методом установлена более высокая антибактериальная активность в отношении грамотрицательных микроорганизмов. Установлен высокий синергитический антибактериальный эффект (в 3,8 раза) применения AgNPs и ванкомицина для *Enterobacter aerogenes*, при этом наблюдалось сокращение минимальной бактерицидной концентрации. Отмечено, что у *Acinetobacter baumannii* с множественной лекарственной устойчивостью обнаружена высокая чувствительность в присутствии AgNPs и к антибиотикам, за исключением цефалоспоринов. Аналогичный эффект наблюдали при добавлении AgNPs в бульон культивирования с ванкомицинустойчивым штаммом *Streptococcus mutans*. Таким об-

Табл. 4. Изменение зоны задержки роста *S. enteritidis* 182 после контакта с антибактериальными препаратами и их комбинациями**Table 4.** Changes in the growth inhibition zone of *S. enteritidis* 182 after contact with antibacterial drugs and their combinations

Препарат	Кон- трольная группа	Арго- вит	%	Септабик + Ag + энрофлоксацин	%	Септабик + AgNPs+ нитокс	%	Септабик + AgNPs + цефтиофур	%
Ампициллин/ сульфабактам	–	12	100	–	–	13	100	13	100
Ампициллин	15	21	–	–	–100	22	46,7	20	33,3
Амикацин	–	20	100	–	–	20	100	21	100
Бензилпенициллин	–	11	100	–	–	16	100	–	–
Гентамицин	15	20	33,3	22	46,7	24	60	19	26,7
Доксициклин	15	16	6,7	16	6,7	16	6,7	13	–13,3
Полимиксин	–	16	100	–	–	20	100	16	100
Карбециллин	20	23	15	–	–100	23	15	–	–20
Норфлоксацин	–	21	100	22	100	25	100	20	100
Неомицин	16	18	12,5	–	–100	–	–100	13	–18,7
Энрофлоксацин	17	21	23,5	20	–17,6	20	17,6	22	29,4
Ципрофлоксацин	20	21	5	–	–100	23	15	23	15
Тетрациклин	–	20	100	–	–	20	100	–	–
Окситетрациклин	15	18	20	20	33,3	20	33,3	16	6,7
Линкомицин	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тилозин	15	16	6,7	–	–100	–	–100	–	–100
Левомецетин	15	16	6,7	20	33,3	20	33,3	16	6,7
Стрептомицин	15	20	33,3	20	33,3	20	33,3	20	33,3
Тикарциллин/кла- вулановая кислота	19	20	5,3	20	5,3	22	15,8	25	31,6
Офлоксацин	16	18	12,5	19	18,7	18	12,5	18	12,5
Рифампицин	–	10	100	–	–	10	100	–	–

разом, биогенносинтезированные AgNPs показали значительный синергетический антибактериальный эффект на β -лактамы антибиотики [14].

Установлено, что комбинация серебра и сульфадиметоксина позволяет увеличить антибактериальную активность и создать препарат, к которому отсутствует привыкание бактерий при определенных концентрациях серебра в растворе. Препараты с AgNPs и сульфадиметоксина обладают меньшей антибактериальной активностью по сравнению с комплексами серебра в ионной форме, но антимикробная активность препаратов с AgNPs становится менее зависимой от концентрации и природы субстрата⁸.

Отмечены синергетические и антагонистические эффекты сочетанного приме-

нения наночастиц металлов и антибиотиков против патогенных штаммов микроорганизмов. AgNPs и ZnONPs обладали повышенной антибактериальной активностью при увеличении концентрации в отношении *S. aureus*, *E. coli*. Синергетический эффект антибиотиков азитромицина, цефотаксима, цефуросима, фосфомицина и хлорамфеникола против *E. coli* и *S. aureus* был значительно более высоким в присутствии AgNPs в сравнении с моноиспользованием антибиотиков (см. сноску 8).

Синергетический эффект антибиотиков азитромицина, оксациллина, цефотаксима, цефуросима, фосфомицина и окситетрациклина в отношении *E. coli* был значительно выше в присутствии ZnONPs по сравнению с использованием только антибиотика. Си-

⁸Лопанов А.Н., Лысых В.А. Антибактериальная активность сульфадиметоксина с серебром // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2020. С. 93–100.

нергетический эффект антибиотиков азитромицина, цефотоксима, цефофоксима, цефосфимоксима, цефимпоксима, цефоксима, цефосфимоксима, цефоксимола и окситетрациклина против *S. aureus* оказался также значительно выше в присутствии ZnONPs в сравнении с моноиспользованием антибиотиков [15].

Литературные данные подтверждают различный антибактериальный эффект использования AgNPs и антибиотиков против выделенных от животных бактерий, которые проявляют устойчивость к антибиотикам. Ингибирующая концентрация рассчитывалась для классификации наблюдаемой коллективной антибактериальной активности как синергетической, аддитивной (только сумма отдельных эффектов лекарств), индифферентной (без эффекта) или антагонистической. Из 40 выполненных тестов 7 были синергетическими, 17 – аддитивными и 16 – безразличными. Ни одна из протестированных комбинаций не продемонстрировала антагонистического эффекта. Большинство синергетических эффектов наблюдали для комбинаций с AgNPs, вводимых вместе с гентамицином. Наибольшее усиление антибактериальной активности обнаружено при комбинированной терапии вместе с пенициллином G против *Actinobacillus pleuropneumoniae*, *Actinobacillus pleuropneumoniae* и *Pasteurella multocida*. Изначально устойчивые к амоксициллину, гентамицину и колистину, они оказались чувствительны к указанным антибиотикам в сочетании с AgNPs. Исследование показывает, что AgNPs имеют потенциал в качестве адъювантов для лечения бактериальных заболеваний животных [16].

Отмечено синергетическое действие AgNPs в комбинации с эритромицином и левофлоксацином против *St. aureus*. Антимикробная активность с антибиотиками по сравнению с чистыми наночастицами серебра увеличилась в 1,16–1,32 раза. Этот синергизм может оказаться актуальным для лечения инфекций, вызванных бактериями с множественной лекарственной устойчиво-

стью [17].

Анализ результатов исследований многих авторов показывает как выраженный рост бактерицидной активности антибиотиков при совместном применении с AgNPs, так и его снижение. Учитывая многообразие видов антибактериальных препаратов, применяемых в медицине и сельском хозяйстве, подобный неоднозначный результат требует дальнейших исследований при поиске их новых комбинаций с AgNPs.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоренко С.В., Тишков В.И. Молекулярные основы резистентности к антибиотикам // Успехи биологической химии. 2004. Т. 44. С. 263–306.
2. Скрипникова Т.А. Оценка действия противомикробного препарата на основе наночастиц серебра при лечении болезней желудочно-кишечного тракта телят // Иппология и ветеринария. 2016. № 3 (21). С. 84–88.
3. Плешакова В.И., Власенко В.С., Пугачев В.Г., Лещева Н.А., Степанов Д.Н. Лечение сальмонеллеза цыплят с применением бактериофагов и наносеребра // Птицеводство. 2017. № 4. С. 43–49.
4. Красочко П.А., Красочко И.А., Станкуть А.Э. Противовирусные свойства препарата на основе наночастиц серебра // Ветеринарная медицина. 2013. Вып. 97. С. 526–528.
5. Красочко П.А., Ярыгина Е.И., Красочко И.А., Борисов Д.С., Струк М.С., Смоляк Я.А. Влияние наночастиц серебра, цинка и меди на фагоцитарную активность мононуклеарных лейкоцитов животных // Ученые записки Витебской государственной академии ветеринарной медицины. 2018. Т. 54. № 2. С. 39–42.
6. Нефедова Е.В., Черепушкина В.С., Бушмелева П.В., Донченко Н.А., Шкиль Н.Н. Влияние аллелей гена пролактина коров черно-пестрой голштинизированной породы на лечение мастита // Ветеринария и кормление. 2019. № 7. С. 19–21. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-7-5.
7. Банникова Д.А., Кононенко А.Б., Савинова Е.П. Изучение влияния коллоидного серебра на морфологию и развитие популяций клеток сальмонелл с применением метода сканирующей электронной микроскопии // Проблемы ветеринарной санитарии, гигие-

- ны и экологии. 2015. № 1 (13). С. 81–87.
8. Baptista P.V., McCusker M.P., Carvalho A., Ferreira D.A., Mohan N.M., Martins M., Fernandes A.R. Nano-Strategies to Fight Multidrug Resistant Bacteria — «A Battle of the Titans» // Front Microbiology. 2018. Vol. 9. P. 14–41. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01441.
 9. Muhsin T.M., Hachim A.K. Mycosynthesis and characterization of silver nanoparticles and their activity against some human pathogenic bacteria // World Journal of Microbiology & Biotechnology. 2014. N 30 (7). P. 2081–2090. DOI: 10.1007/s11274-014-1634-z.
 10. Naqvi S.Z., Kiran U., Ali M.I., Jamal A., Ha-meed A., Ahmed S., Ali N. Combined efficacy of biologically synthesized silver nanoparticles and different antibiotics against multidrug-resistant bacteria // International Journal of Nano-medicine. 2013. Vol. 8. P. 3187–3195. DOI: 10.2147/IJN.S49284.
 11. Mohamed M.S.M., Mostafa H.M., Mohamed S.H. Combination of silver nanoparticles and vancomycin to overcome antibiotic resistance in planktonic/biofilm cell from clinical and animal source // Microbial Drug Resistance. 2020. Vol. 26 (11). P. 1410–1420. DOI: 10.1089/mdr.2020.0089.
 12. McShan D., Zhang Y., Deng H., Ray P.C., Yu H. Synergistic Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Combined with Ineffective Antibiotics on Drug Resistant *Salmonella typhimurium* DT104 // J. Environ. Sci. Health C Environ. Carcinog Ecotoxicol. Rev. 2015. Vol. 33. P. 369–384. DOI: 10.1080/10590501.2015.1055165.
 13. Голубева О.Ю., Шамова О.В., Орлов Д.С., Пазина Т.Ю., Болдина А.С., Дроздова И.А., Кокряков В.Н. Синтез и исследование анти-микробной активности биоконъюгатов наночастиц серебра и эндогенных антибиотиков // Физика и химия стекла. 2011. Т. 37. № 1. С. 107–115.
 14. Singh R., Wagh P., Wadhwani S., Gaidhani S., Kumbhar A., Bellare J., Ananda Chopade B. Synthesis, optimization, and characterization of silver nanoparticles from *Acinetobacter calcoaceticus* and their enhanced antibacterial activity when combined with antibiotics // International Journal of Nanomedicine. 2013. Vol. 8. P. 4277–4290. DOI:10.2147/IJN.S48913.
 15. Abo-Shama U.H., El-Gendy H., Mousa W.S. Synergistic and Antagonistic Effects of Metal Nanoparticles in Combination with Antibiotics Against Some Reference Strains of Pathogenic Microorganisms // Infection and Drug Resistance. 2020. Vol. 13. P. 351–362. DOI: 10.2147/IDR.S234425.
 16. Smekalova M., Aragon V., Panacek A., Prucek R., Zboril R., Kvitek L. Enhanced antibacterial effect of antibiotics in combination with silver nanoparticles against animal pathogens // Veterinary Journal. 2016. Vol. 209. P. 174–179. DOI: 10.1016/j.tvjl.2015.10.032.
 17. Singh M., Kalaivani R., Subramanian M. Metallic silver nanoparticle: a therapeutic agent in combination with antifungal drug against human fungal pathogen // Bioprocess and Biosystems Engineering. 2013. Vol. 36. N 4. P. 407–415.
- ## REFERENCES
1. Sidorenko S.V., Tishkov V.I. Molecular basis of antibiotic resistance. *Uspekhi biologicheskoi khimii = Advances of Biological Chemistry*, 2004, vol. 44, pp. 263–306. (In Russian).
 2. Skripileva T.A. Evaluation of the effect of antimicrobial drug based on silver nanoparticles in the treatment of diseases of the gastrointestinal tract of calves. *Ippologiya i veterinariya = Hippology and Veterinary*, 2016, no. 3 (21), pp. 84–88. (In Russian).
 3. Pleshakova V.I., Vlasenko V.S., Pugachev V.G., Leshcheva N.A., Stepanov D.N. Treatment of salmonellosis in chickens using bacteriophages and nanosilver. *Ptitsevodstvo*, 2017, no. 4, pp. 43–49. (In Russian).
 4. Krasochko P.A., Krasochko I.A., Stankut' A.E. Antiviral properties of a preparation based on silver nanoparticles. *Veterinarnaya meditsina = Veterinary Medicine*, 2013, issue 97, pp. 526–528. (In Russian).
 5. Krasochko P.A., Yarygina E.I., Krasochko I.A., Borisovets D.S., Struk M.S., Smolyak Ya.A. Influence of nanoparticles of silver, zinc and copper on phagocytic activity of mononuclear leukocytes of animals. *Uchenye zapiski Vitebskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny = Scientific notes of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 39–42. (In Russian).
 6. Nefedova E.V., Cherepushkina V.S., Bushmeleva P.V., Donchenko N.A., Shkil' N.N. The effect of alleles of the prolactin gene of cows of black-and-white Holstein on the treatment of mastitis. *Veterinariya i kormlenie = Journal Veterinaria i Kormlenie*, 2019, no. 7, pp. 19–21. (In Russian). DOI: 10.30917/ATT-

- VK-1814-9588-2019-7-5.
7. Bannikova D.A., Kononenko A.B., Savinova E.P. Effect of colloid silver onto morphology and development of *Salmonella* cells populations using scanning electron microscopy. *Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii = Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, 2015, no. 1 (13), pp. 81–87. (In Russian).
 8. Baptista P.V., McCusker M.P., Carvalho A., Ferreira D.A., Mohan N.M., Martins M., Fernandes A.R. Nano-Strategies to Fight Multidrug Resistant Bacteria — «A Battle of the Titans». *Front Microbiology*, 2018, vol. 9, pp. 14–41. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01441.
 9. Muhsin T.M., Hachim A.K. Mycosynthesis and characterization of silver nanoparticles and their activity against some human pathogenic bacteria. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2014, no. 30 (7), pp. 2081–2090. DOI: 10.1007/s11274-014-1634-z.
 10. Naqvi S.Z., Kiran U., Ali M.I., Jamal A., Hameed A., Ahmed S., Ali N. Combined efficacy of biologically synthesized silver nanoparticles and different antibiotics against multidrug-resistant bacteria. *International Journal of Nanomedicine*, 2013, vol. 8, pp. 3187–3195. DOI: 10.2147/IJN.S49284.
 11. Mohamed M.S.M., Mostafa H.M., Mohamed S.H. Combination of silver nanoparticles and vancomycin to overcome antibiotic resistance in planktonic/biofilm cell from clinical and animal source. *Microbial Drug Resistance*, 2020, vol. 26 (11), pp. 1410–1420. DOI: 10.1089/mdr.2020.0089.
 12. McShan D., Zhang Y., Deng H., Ray P.C., Yu H. Synergistic Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Combined with Ineffective Antibiotics on Drug Resistant *Salmonella typhimurium* DT104. *J. Environ. Sci. Health C Environ. Carcinog Ecotoxicol. Rev.*, 2015, vol. 33, pp. 369–384. DOI: 10.1080/10590501.2015.1055165.
 13. Golubeva O.Yu., Shamova O.V., Orlov D.S., Pazina T.Yu., Boldina A.S., Drozdova I.A., Kokryakov V.N. Synthesis and study of the antimicrobial activity of bioconjugates of silver nanoparticles and endogenous antibiotics. *Fizika i khimiya stekla = Glass Physics and Chemistry*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 107–115. (In Russian).
 14. Singh R., Wagh P., Wadhwani S., Gaidhani S., Kumbhar A., Bellare J., Ananda Chopade B. Synthesis, optimization, and characterization of silver nanoparticles from *Acinetobacter calcoaceticus* and their enhanced antibacterial activity when combined with antibiotics. *International Journal of Nanomedicine*, 2013, vol. 8, pp. 4277–4290. DOI: 10.2147/IJN.S48913.
 15. Abo-Shama U.H., El-Gendy H., Mousa W.S. Synergistic and Antagonistic Effects of Metal Nanoparticles in Combination with Antibiotics Against Some Reference Strains of Pathogenic Microorganisms. *Infection and Drug Resistance*, 2020, vol. 13, pp. 351–362. DOI: 10.2147/IDR.S234425.
 16. Smekalova M., Aragon V., Panacek A., Pucek R., Zboril R., Kvitek L. Enhanced antibacterial effect of antibiotics in combination with silver nanoparticles against animal pathogens. *Veterinary Journal*, 2016, vol. 209, pp. 174–179. DOI: 10.1016/j.tvjl.2015.10.032.
 17. Singh M., Kalaivani R., Subramanian M. Metallic silver nanoparticle: a therapeutic agent in combination with antifungal drug against human fungal pathogen // *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2013, vol. 36, no. 4, pp. 407–415.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Шкиль Н.Н., доктор ветеринарных наук, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 630501 Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: nicola07@mail.ru

Нефедова Е.В., кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; e-mail: fill1555@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ Nikolai N. Shkil, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Laboratory Head; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: nicola07@mail.ru

Ekaterina V. Nefedova, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher; e-mail: fill1555@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 19.01.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 28.04.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ У МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПРИ ВАКЦИНАЦИИ ПРОТИВ САЛЬМОНЕЛЛЕЗА

Куликова С.Г., ✉ Логинов С.И., Назаренко Ю.С., Калинина Н.С.

Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

✉ e-mail: logsi-nsk2@yandex.ru

Изучен спектр и определены частоты цитогенетических нарушений у молодняка крупного рогатого скота, иммунизированного вакциной против сальмонеллеза телят. Исследования проведены в хозяйстве Новосибирской области на 10 клинически здоровых голштинизированных черно-пестрых телятах 10–17-дневного возраста. Использована концентрированная формолквасцовая вакцина против сальмонеллеза (паратифа) телят в дозе 2 мл (реиммунизация в дозе 2 мл) с интервалом 10 сут между инъекциями. Вакцина изготовлена из культуры бактерий штамма *Salmonella dublin* № 373, инаktivированного формалином с добавлением алюмокалиевых квасцов и хлорида кальция. Цитогенетический анализ периферической крови у телят проведен до вакцинации (контроль), через 2 и 9 сут после вакцинации, через 2 и 9 сут после ревакцинации. Установлено, что спектр соматической хромосомной нестабильности в лимфоцитах периферической крови телят после вакцинации и ревакцинации представлен полиплоидией, гипоплоидией и гиперплоидией, хроматидными и хромосомными разрывами, одиночными и парными фрагментами хромосом. Выявлено, что спектр соматической хромосомной нестабильности после двукратных иммунизаций инаktivированной вакциной против сальмонеллеза не отличался от спектра спонтанно возникающих мутаций у данного вида. Вакцинация и последующая ревакцинация телят в сравнении с довакцинационным периодом не приводили к достоверному увеличению частот анеуплоидных и полиплоидных клеток. При двукратной иммунизации телят в лимфоцитарных клетках крови животных отмечен волновой характер в вариации частот геномных мутаций от максимальных до минимальных значений аналогично продленному мутагенезу. Обнаружена тенденция увеличения частоты структурных нарушений хромосом через 2, 9 сут после вакцинации и 2 сут после ревакцинации. Отмечено достоверное возрастание в 2,9 раза частоты клеток с хромосомными абберациями в лимфоцитах крови животных через 9 сут после их повторной иммунизации за счет разрывов и парных фрагментов хромосом. После вакцинации и ревакцинации хроматидные разрывы наиболее часто регистрировались в медиальных районах одной из хроматид, хромосомные разрывы в медиальных и теломерных районах обеих хроматид.

Ключевые слова: геномные мутации, хромосомные мутации, лимфоциты периферической крови, телята, вакцинация, ревакцинация, сальмонеллез

CYTOGENETIC ABNORMALITIES IN YOUNG CATTLE DURING VACCINATION AGAINST SALMONELLOSES

Kulikova S.G., ✉ Loginov S.I., Nazarenko Yu.S., Kalinina N.S.

Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: logsi-nsk2@yandex.ru

The spectrum and the frequencies of cytogenetic abnormalities in young cattle immunized with a vaccine against salmonellosis of calves were investigated. The study was carried out on the farm of Novosibirsk region on 10 clinically healthy Holstein black-and-white calves of 10–17 days of age. A concentrated formol-alum vaccine against salmonellosis (paratyphoid) of calves was used at a dose of 2 ml (reimmunization at a dose of 2 ml) with an interval of 10 days between injections. The vaccine was made from the culture of bacteria of the *Salmonella dublin* strain № 373, inactivated with formalin with the addition of potassium alum and calcium chloride. Cytogenetic analysis of peripheral blood in calves was carried out before vaccination (control), 2 and 9 days after vaccination,

2 and 9 days after revaccination. It was found that the spectrum of somatic chromosomal instability in peripheral blood lymphocytes of calves after vaccination and revaccination is represented by polyploidy, hypoploidy and hyperploidy, chromatid and chromosomal breaks, single and paired fragments of chromosomes. It was revealed that the spectrum of somatic chromosomal instability after double immunizations with an inactivated vaccine against salmonellosis did not differ from the spectrum of spontaneously occurring mutations in this species. Vaccination and subsequent revaccination of calves in comparison with the pre-vaccination period did not lead to a significant increase in the frequency of aneuploid and polyploid cells. During double immunization of calves, a wave pattern in the variation of genomic mutation frequencies from maximum to minimum values in the lymphocytic blood cells of animals was noted, similar to prolonged mutagenesis. A tendency was found for the frequency of structural chromosome abnormalities to increase 2 and 9 days after vaccination and 2 days after revaccination. There was a credible 2.9-fold increase in the frequency of cells with chromosomal aberrations in the blood lymphocytes of animals 9 days after their repeated immunization due to breaks and paired fragments of chromosomes. After vaccination and revaccination, chromatid breaks were most often recorded in the medial regions of one of the chromatids, and chromosomal breaks in the medial and telomeric regions of both chromatids.

Keywords: genome mutations, chromosomal mutations, peripheral blood lymphocytes, calves, vaccination, revaccination, salmonellosis

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Для цитирования: Куликова С.Г., Логинов С.И., Назаренко Ю.С., Калинина Н.С. Цитогенетические нарушения у молодняка крупного рогатого скота при вакцинации против сальмонеллеза // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 92–103. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-10>

For citation: Kulikova S.G., Loginov S.I., Nazarenko Yu.S., Kalinina N.S. Cytogenetic abnormalities in young cattle during vaccination against salmonellosis. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 92–103. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-10>

Благодарность

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность аспиранту Новосибирского государственного аграрного университета Унагаевой Наталье Владимировне за оказанную помощь при проведении цитогенетических исследований.

Acknowledgments

The authors express their gratitude and deep appreciation to the post-graduate student of the Novosibirsk State Agrarian University Unagaeva Natalia Vladimirovna for her assistance in conducting cytogenetic research.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение производства продукции животноводства в современных условиях основано на совершенствовании генетического потенциала животных и создании высокопродуктивных стад, устойчивых к заболеваниям¹ [1–4].

В настоящее время установлено, что целый ряд инфекционных заболеваний вызывают патогенные микроорганизмы. Их воздействие способствует появлению на-

рушений в хромосомном аппарате человека и лабораторных животных. В медицине проведены многочисленные исследования, посвященные изучению цитогенетических последствий инфекционных заболеваний и вакцинаций [5–8]. Высказываются предположения, что антигены и токсины некоторых возбудителей инфекций и вакцины могут обладать мутагенными свойствами. Реактивные метаболиты кислорода и азота, образующиеся в очагах воспаления и в ходе

¹Патент RU № 2 083 102 C1 МПК А 01 К 67/02. Способ комплексного отбора быков-производителей по устойчивости потомства к болезням / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.Г. Незавитин, А.И. Жёлтиков, О.С. Короткевич, С.Г. Куликова, В.Г. Маренков, Н.Н. Кочнев, В.П. Шишков, В.Т. Христенко; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт ветеринарной генетики и селекции. № 95113836/13; заявл. 01.08.1995; опубл. 10.07.1997, Бюл. № 19. 10 с.

иммунного ответа, могут вызывать рост частоты повреждений ДНК и цитогенетических нарушений [5, 6].

Влияние инфекционных агентов, в том числе вакцин, на нестабильность кариотипов человека и лабораторных животных часто неоднозначно. По мнению Н.Н. Ильинских [5], это объясняется не только штаммовыми особенностями возбудителей инфекций, но и специфичностью генотипа организма, его возрастом, функциональным состоянием защиты и резистентностью к мутагенному влиянию инфекционных факторов.

В ветеринарной медицине и генетике сельскохозяйственных животных сведения на эту тему представлены единичными публикациями, несмотря на необходимость исследований в связи с широким применением вакцинации в сельском хозяйстве^{2,3} [9].

Сальмонеллез (паратиф) – одно из наиболее распространенных на территории Сибири инфекционных заболеваний молодняка крупного рогатого скота [10]. Он вызывается бактериями рода *Salmonella* (*S. dublin*, реже *S. typhimurium* и бактериями других серологических типов), поражающими прежде всего молодняк в возрасте от 10 дней до 5 мес. У молодняка острое течение болезни характеризуется лихорадкой, септициемией, токсикозом и диареей, подострое и хроническое – пневмонией и артритом; у взрослых самок – абортми. До сих пор самым эффективным способом предотвращения распространения инфекционных заболеваний в популяциях сельскохозяйственных животных остается вакцинация. До настоящего времени цитогенетические последствия вакцинаций крупного рогатого скота против сальмонеллеза не исследовали.

Цель работы – изучить цитогенетические нарушения у молодняка крупного рогатого скота при вакцинации против сальмонеллеза.

Задачи исследования:

- определить спектр цитогенетических нарушений в лимфоцитах периферической крови у телят в разные периоды иммунизации против сальмонеллеза,

- исследовать влияние двукратных иммунизаций инактивированной вакциной против сальмонеллеза на частоты цитогенетических нарушений в иммунокомпетентных клетках у молодняка крупного рогатого скота.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в хозяйстве Новосибирского района Новосибирской области на 10 клинически здоровых голштинизированных черно-пестрых телятах 10–17-дневного возраста. Кровь на цитогенетический анализ у каждого животного брали пятикратно: до вакцинации (контроль), через 2 и 9 сут после вакцинации, через 2 и 9 сут после ревакцинации вакциной против сальмонеллеза.

Использовали концентрированную формолквасцовую вакцину против сальмонеллеза (паратифа) телят в дозе 2 мл (реимунизация в дозе 2 мл) с интервалом 10 сут между инъекциями. Вакцина изготовлена из культуры бактерий штамма *Salmonella dublin* № 373, инактивированного формалином (0,4% к объему) с добавлением в качестве адъюванта алюмокалиевых квасцов и хлорида кальция (0,1% к объему).

Материалом цитогенетического исследования являлись лимфоциты периферической крови животных, стимулированные фитогемагглютинином. Препараты метафазных хромосом готовили по методике P.S. Moorhead et al. [11] с модификациями. Препараты окрашивали с помощью красителя Гимза. Классификацию соматических мутаций проводили по критериям, предложенным Н.П. Бочковым и А.Н. Чеботаре-

²Назаренко Ю.С., Куликова С.Г., Логинов С.И. Влияние вакцинаций на соматическую хромосомную нестабильность у животных и человека // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. V Всероссийской (национальной) науч. конф. (г. Новосибирск, 18 декабря 2020 г.). Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. С. 516–519.

³Куликова С.Г., Логинов С.И., Назаренко Ю.С. Влияние вакцинации против сальмонеллеза на ассоциативную способность акроцентрических хромосом у крупного рогатого скота // Теория и практика современной аграрной науки: сб. IV национальной (Всероссийской) науч. конф. с международ. участием (г. Новосибирск, 26 февраля 2021 г.). Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. С. 908–912.

вым [12]. В результате цитогенетического исследования телят в разные периоды детально проанализировано 9472 метафазные пластинки. Вычисление частот числовых и структурных нарушений хромосом проводили в пересчете на 100 клеток. Частоты цитогенетических нарушений приведены в таблицах с ошибками в процентах.

Результаты исследований обработаны стандартными методами вариационной статистики с использованием программы Microsoft Office Excel 2010. Достоверность различий между частотами цитогенетических показателей в группах оценивали методом Фишера с ϕ -преобразованием частот. Для нулевого значения частоты вычисляли ошибку по методу Б.Л. Ван-дер-Вардена [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованиями культур лимфоцитов периферической крови клинически здоровых голштинизированных черно-пестрых телят установлено, что спектр цитогенетических нарушений у животных после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза пред-

ставлен полиплоидными, гипоплоидными и гиперплоидными клетками, хроматидными и хромосомными разрывами, одиночными и парными фрагментами хромосом, независимо от времени, прошедшего с момента введения вакцины. Среди числовых нарушений хромосом у особей как до, так и после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза выявлены полиплоидные и анеуплоидные клетки (см. табл. 1.).

Установлено, что вакцинация и ревакцинация молодняка крупного рогатого скота против сальмонеллеза не привели к достоверному увеличению частоты геномных мутаций в соматических клетках животных. Наоборот, обнаружена тенденция постепенного снижения частоты клеток с измененным числом хромосом через 2 и 9 сут после вакцинации телят против сальмонеллеза. Через 9 сут после ревакцинации животных отмечено достоверное снижение частоты клеток с геномными мутациями до 7,18%, контроль – 9,62% ($p < 0,05$).

Максимальная частота клеток с измененным числом хромосом (14,0%) обнаружена

Табл. 1. Частота клеток с измененным числом хромосом у молодняка крупного рогатого скота до и после вакцинации, ревакцинации против сальмонеллеза, %

Table 1. Frequency of cells with changed number of chromosomes in young cattle before and after vaccination, and revaccination against salmonellosis, %

Показатель	Период исследования				
	до вакцинации (контроль)	после вакцинации		после ревакцинации	
		через 2 сут	через 9 сут	через 2 сут	через 9 сут
Полиплоидные клетки	3,40 ± 0,57	4,40 ± 0,75	3,16 ± 0,63	6,00 ± 1,68	2,52 ± 0,47
Анеуплоидные клетки, в том числе:	6,22 ± 1,10	4,47 ± 1,06	4,94 ± 1,10	8,00 ± 2,71	4,66 ± 0,91
гипоплоидные клетки, включая типы:	4,98 ± 0,99	3,16 ± 0,90	3,38 ± 0,92	6,00 ± 2,37	2,61 ± 0,69*
2n-1	1,04 ± 0,46	2,11 ± 0,74	1,30 ± 0,58	1,00 ± 0,99	1,12 ± 0,45
2n-2	2,49 ± 0,71	0,00 ± 0,26***	1,30 ± 0,58	4,00 ± 1,96	0,56 ± 0,32**
2n-3 и более	1,45 ± 0,54	1,05 ± 0,52	0,78 ± 0,45	1,00 ± 0,99	0,93 ± 0,41
гиперплоидные клетки, включая типы:	1,24 ± 0,51	1,32 ± 0,58	1,56 ± 0,63	2,00 ± 1,40	2,05 ± 0,61
2n+1	1,04 ± 0,46	0,53 ± 0,37	1,04 ± 0,52	2,00 ± 1,40	1,68 ± 0,55
2n+2	0,00 ± 0,21	0,53 ± 0,37*	0,52 ± 0,37*	0,00 ± 0,97	0,19 ± 0,19
2n+3 и более	0,21 ± 0,21	0,26 ± 0,26	0,00 ± 0,26	0,00 ± 0,97	0,19 ± 0,19
Клетки с измененным числом хромосом	9,62 ± 0,93	8,87 ± 1,04	8,10 ± 0,99	14,00 ± 2,45	7,18 ± 0,77*

Здесь и далее * $p < 0,05$.

** $p < 0,01$.

*** $p < 0,001$.

Достоверные различия указаны в сравнении с периодом до вакцинации (контроль).

через 2 сут после ревакцинации телят против сальмонеллеза, которая превосходила аналогичный показатель у животных через 9 сут после их вакцинации и ревакцинации соответственно в 1,7 и 2,0 раза ($p < 0,05-0,01$).

Среди клеток с измененным числом хромосом преобладали анеуплоидные клетки с гипоплоидными наборами (35,6–51,8%). Средняя частота гипоплоидных клеток у телят до вакцинации составила 4,98%. Обнаружено снижение частоты гипоплоидных клеток в 1,9 раза у животных через 9 сут после ревакцинации против сальмонеллеза в сравнении с контролем ($p < 0,05$). Не выявлено достоверного увеличения частоты гиперплоидных клеток у животных после их вакцинации и ревакцинации через 2 и 9 сут в сравнении с периодом до введения препарата (см. табл. 1), но прослеживается четкая тенденция постепенного возрастания частоты клеток этого типа после проведения первичной и повторной иммунизации телят ($p > 0,05$).

Выявлены разные типы гипоплоидных и гиперплоидных клеток, частоты которых варьировались в разные периоды исследования молодняка крупного рогатого скота (см. табл. 1). Установлено снижение частоты клеток с утерей двух хромосом через 2 сут после вакцинации и через 9 сут после ревакцинации телят против сальмонеллеза до 0,0 и 0,56% соответственно, в довакцинационный период – 2,49% ($p < 0,01-0,001$). Наиболь-

шая частота (4,0%) клеток с нехваткой двух хромосом отмечена через 2 сут после ревакцинации животных, которая была в 7,14 раза выше, чем через 9 сут после ревакцинации телят против сальмонеллеза ($p < 0,05$).

Не установлено достоверных различий в частотах встречаемости клеток с избытком как одной, так трех и более хромосом у телят до вакцинации в сравнении с животными, вакцинированными и ревакцинированными против сальмонеллеза. Обнаружено появление клеток с избытком двух хромосом ($2n+2$) через 2 и 9 сут после вакцинации телят против сальмонеллеза с частотой 0,53 и 0,52% соответственно при их отсутствии в контроле ($p < 0,05$).

Другой тип геномных мутаций, который регистрировался в настоящих исследованиях, это полиплоидия (см. табл. 1). Не установлено достоверных различий в частотах встречаемости полиплоидных клеток у телят во все периоды после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза в сравнении с контролем ($p > 0,05$). В то же время обнаружено снижение частоты полиплоидных клеток в 2,38 раза у телят через 9 сут после ревакцинации в сравнении с животными, исследованными через 2 сут после ревакцинации против сальмонеллеза ($p < 0,05$).

Анализ спектра полиплоидных клеток (см. табл. 2) показал, что три- и тетраплоидные клетки выявлены у животных без исключения во все периоды исследования (до вакцинации, через 2 и 9 сут после вакцина-

Табл. 2. Спектр и частота полиплоидных клеток у молодняка крупного рогатого скота до и после вакцинации, ревакцинации против сальмонеллеза, %

Table 2. Spectrum and frequency of polyploid cells in young cattle before and after vaccination, and revaccination against salmonellosis, %

Период исследования	Плоидность клеток			
	3n	4n	5n	6n и более
До вакцинации (контроль)	0,40 ± 0,20	2,80 ± 0,52	0,10 ± 0,10	0,10 ± 0,10
После вакцинации:				
через 2 сут	0,40 ± 0,23	3,33 ± 0,66	0,27 ± 0,19	0,40 ± 0,23
через 9 сут	0,13 ± 0,13	3,03 ± 0,62	0,00 ± 0,13	0,00 ± 0,13
После ревакцинации:				
через 2 сут	0,50 ± 0,50	5,00 ± 1,54	0,00 ± 0,50	0,50 ± 0,50
через 9 сут	0,36 ± 0,18	2,16 ± 0,44	0,00 ± 0,09	0,00 ± 0,09

ции и ревакцинации против сальмонеллеза). Клетки с более высокой плоидностью ($5n$ и/или $6n$) регистрировались только у телят до вакцинации и через 2 сут после их вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза. Доля тетраплоидных клеток составила 75,7–95,9% от общего количества полиплоидных клеток.

Наряду с геномными нарушениями у молодняка крупного рогатого скота до вакцинации, после вакцинации и ревакцинации инактивированной вакциной против сальмонеллеза выявлены хромосомные мутации. В настоящих исследованиях спектр хромосомных aberrаций представлен одиночными и парными фрагментами, хроматидными и хромосомными разрывами (см. табл. 3).

Частоты клеток с aberrациями и общее количество aberrаций хромосом у исследованного молодняка имели тенденцию к постепенному увеличению через 2, 9 сут после вакцинации и 2 сут после ревакцинации телят, через 9 сут после ревакцинации животных достоверно превосходили аналогичные показатели в контроле соответственно в 2,9 и 2,5 раза ($p < 0,01$). Это увеличение произошло за счет возрастания частот клеток с разрывами хромосом и их общего количества

у вакцинированных и ревакцинированных против сальмонеллеза телят. Если до вакцинации частота клеток с разрывами хромосом составила $1,04 \pm 0,46\%$, то через 9 сут после вакцинации – $1,82 \pm 0,68\%$ ($p > 0,05$), через 9 сут после ревакцинации – $2,98 \pm 0,73\%$ ($p < 0,05$).

В течение всего периода наблюдений как до вакцинации, так и после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза в лимфоцитах телят регистрировались хроматидные и хромосомные разрывы. Не установлено достоверного увеличения частот отдельно по каждому из этих типов aberrаций хромосом в поствакцинационные и ревакцинационные периоды в сравнении с довакцинационным. В целом по разрывам хромосом обнаружен достоверный рост частоты этих aberrаций через 9 сут после ревакцинации животных против сальмонеллеза в сравнении с контролем. Необходимо отметить, что через 2 сут после вакцинации телят против сальмонеллеза хроматидные разрывы хромосом не выявлены в сравнении с довакцинационным периодом, где их частота составила $0,62 \pm 0,36\%$.

Анализ мест локализации разрывов в хромосомах показал, что они регистриро-

Табл. 3. Частота aberrаций хромосом у молодняка крупного рогатого скота до и после вакцинации, ревакцинации против сальмонеллеза, %

Table 3. Frequency of chromosome aberrations in young cattle before and after vaccination, and revaccination against salmonellosis, %

Показатель	Период исследования				
	до вакцинации (контроль)	после вакцинации		после ревакцинации	
		через 2 сут	через 9 сут	через 2 сут	через 9 сут
Клетки с aberrациями хромосом	$1,66 \pm 0,58$	$2,11 \pm 0,74$	$2,86 \pm 0,85$	$3,00 \pm 1,71$	$4,84 \pm 0,93^{**}$
Аберрации хромосом	$2,07 \pm 0,65$	$2,37 \pm 0,78$	$2,86 \pm 0,85$	$4,00 \pm 1,96$	$5,21 \pm 0,96^{**}$
Клетки с фрагментами хромосом	$0,83 \pm 0,41$	$1,05 \pm 0,52$	$1,04 \pm 0,52$	$1,00 \pm 0,99$	$1,86 \pm 0,58$
Фрагменты хромосом	$0,83 \pm 0,41$	$1,05 \pm 0,52$	$1,04 \pm 0,52$	$1,00 \pm 0,99$	$1,86 \pm 0,58$
В том числе:					
одиночные фрагменты	$0,62 \pm 0,36$	$0,53 \pm 0,37$	$0,52 \pm 0,37$	$0,00 \pm 0,97$	$0,56 \pm 0,32$
парные фрагменты	$0,21 \pm 0,21$	$0,53 \pm 0,37$	$0,52 \pm 0,37$	$1,00 \pm 0,99$	$1,30 \pm 0,49^*$
Клетки с разрывами хромосом	$1,04 \pm 0,46$	$1,32 \pm 0,58$	$1,82 \pm 0,68$	$3,00 \pm 1,71$	$2,98 \pm 0,73^*$
Разрывы хромосом	$1,24 \pm 0,51$	$1,32 \pm 0,58$	$1,82 \pm 0,68$	$3,00 \pm 1,71$	$3,36 \pm 0,78^*$
В том числе:					
хроматидные разрывы	$0,62 \pm 0,36$	$0,00 \pm 0,26^*$	$0,52 \pm 0,37$	$2,00 \pm 1,40$	$1,68 \pm 0,55$
хромосомные разрывы	$0,62 \pm 0,36$	$1,32 \pm 0,58$	$1,30 \pm 0,58$	$1,00 \pm 0,99$	$1,68 \pm 0,55$

вались в крупных и средних хромосомах в околоцентромерных, медиальных и теломерных районах длинных плеч одной или обеих хроматид. Разрывы хромосом хроматидного типа обнаружены преимущественно в медиальных районах одной из хроматид (почти 80% всех хроматидных разрывов). Разрывы в теломерных районах выявлены у телят только до вакцинации с частотой $0,41 \pm 0,29\%$, в околоцентромерных районах хроматиды – исключительно через 9 сут после ревакцинации молодняка против сальмонеллеза с частотой $0,56 \pm 0,32\%$. Разрывы хромосомного типа чаще всего локализовались в медиальных (43% случаев) и теломерных (46%) районах обеих хроматид, значительно реже (11%) в околоцентромерных районах. У исследованных животных как до, так и после вакцинации и ревакцинации зафиксированы клетки с одним и двумя разрывами хромосом, причем преобладали лимфоциты с одним разрывом, доля которых варьировалась от 80 до 100%. Клетки с тремя и большим числом разрывов хромосом не обнаружены. Найдено превышение в 3,1 раза частоты клеток с одним разрывом хромосом через 9 сут после ревакцинации телят против сальмонеллеза в сравнении с периодом до вакцинации ($p < 0,05$).

Достоверных различий в частотах встречаемости одиночных и парных фрагментов хромосом у телят не выявлено во все периоды исследования в сравнении с контролем (см. табл. 3). Не зарегистрировано различий после вакцинации и ревакцинации при сравнении данных показателей между собой, кроме частоты клеток с парными фрагментами хромосом, которая через 9 сут после ревакцинации животных отмечена выше в 6,2 раза, чем до вакцинации ($p < 0,05$). Установлено, что у телят до вакцинации и затем во все периоды после их вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза найдены клетки только с одним фрагментом.

В результате проведенных исследований крупного рогатого скота оценено мутагенное влияние плановых вакцинаций против сальмонеллеза телят.

Установлено, что у молодняка крупного рогатого скота в лимфоцитах периферической крови спектр индуцированных цитогенетических нарушений инактивированной вакциной против сальмонеллеза телят представлен полиплоидными, гиперплоидными и гипоплоидными клетками, одиночными и парными фрагментами хромосом и хроматидными и хромосомными разрывами.

Выявлено, что спектр соматической хромосомной нестабильности после двукратных иммунизаций инактивированной вакциной против сальмонеллеза не отличался от спектра спонтанно возникающих мутаций у данного вида [14–17].

К настоящему времени у человека изучены мутагенные свойства многих вирусных и бактериальных вакцин, в частности против кори, оспы, полиомиелита, гриппа, бешенства, паротита, желтой лихорадки, простого герпеса, клещевого энцефалита, бруцеллеза, брюшного тифа и других [5–8, 18]. В этих исследованиях показано, что в большинстве случаев живые вакцины обладали выраженным мутагенным эффектом, в то время как инактивированные вакцины не вызывали увеличения частоты цитогенетических нарушений в лимфоцитах привитых людей. Но по данным J. Chun et al. [19], у 7 детей, привитых живой вакциной против кори, не найдено увеличения числа цитогенетических нарушений.

Результаты настоящих исследований свидетельствуют о неоднозначном влиянии вакцинации и повторной через 10 сут ревакцинации инактивированной вакциной против сальмонеллеза на частоту геномных и структурных мутаций у клинически здоровых голштинизированных черно-пестрых телят. Не обнаружено увеличения частоты анеуплоидных и полиплоидных клеток после вакцинации и ревакцинации телят инактивированной вакциной против сальмонеллеза в сравнении с довакцинационным периодом. Выявлена тенденция постепенного снижения частоты клеток с измененным числом хромосом у телят во все периоды, прошедшие после вакцинации против сальмонеллеза. Отмечено резкое возрастание

частоты этих клеток (как анеуплоидных, так и полиплоидных клеток) через 2 сут после ревакцинации с последующим достоверным снижением частоты клеток с геномными мутациями через 9 сут после ревакцинации в сравнении с периодом до вакцинации. Установлено достоверное изменение частоты полиплоидных клеток в разные периоды после ревакцинации животных против сальмонеллеза. Выявленные в исследованиях значительные вариации частот геномных мутаций у молодняка крупного рогатого скота после неоднократной иммунизации согласуются с утверждением, что при продленном мутагенезе, возможном при ревакцинациях, его интенсивность характеризуется волновым характером с колебаниями уровней аберраций от максимальных до минимальных [20].

Установленный в исследованиях факт достоверного снижения частоты клеток с измененным числом хромосом у молодняка крупного рогатого скота через 9 сут после ревакцинации против сальмонеллеза в сравнении с интактными животными, может быть вызван возрастными особенностями и/или разным функциональным состоянием иммунной системы исследованных телят, отвечающей за элиминацию клеток с цитогенетическими нарушениями. Не исключается при этом усиление геном-протекторной системы и других механизмов [18].

Результаты настоящих и более ранних исследований [15] и данные других ученых [17, 21] свидетельствуют о том, что при спонтанном и индуцированном агентами различной природы мутагенезе у крупного рогатого скота среди полиплоидных клеток чаще всего выявлялись клетки с тетраплоидным набором хромосом.

В то же время в отношении аберраций хромосом установлено, что иммунизация телят инактивированной вакциной против сальмонеллеза вызывала тенденцию постепенного увеличения частоты структурных нарушений хромосом через 2, 9 сут после вакцинации и 2 сут после ревакцинации. Это приводило к достоверному увеличению частоты клеток с хромосомными аберрациями в лимфоцитах крови животных через

9 сут после их повторной иммунизации за счет разрывов и парных фрагментов хромосом. Аналогичный результат был получен Н.Н. Ильинских [5] при проведении цитогенетического обследования здоровых доноров, вакцинированных против бруцеллеза. Уже через 2 сут после введения вакцины установлено достоверное увеличение структурных нарушений хромосом: частоты клеток с хромосомными разрывами до $0,9 \pm 0,2\%$ при $0,1 \pm 0,06\%$ в контроле и с хроматидными разрывами – $2,3 \pm 0,2\%$ при $1,0 \pm 0,01\%$ в контроле.

В исследованиях ряда ученых показано, что мутагенные факторы способны специфически поражать отдельные хромосомы и их зоны [5, 18]. При изучении механизмов кариопатогенного действия вакцины против бруцеллеза (штамм 19 BA) у человека чаще поражались крупные хромосомы группы A и чрезвычайно редко наблюдались нарушения в мелких хромосомах групп F и G [5]. Подобная закономерность выявлена в настоящих исследованиях. Установлена специфичность поражения крупных и средних групп хромосом и их районов у молодняка крупного рогатого скота после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза. По мнению Н.Н. Ильинских [5], при поражении хромосом большое значение имеет биохимическая структура самого инфекционного агента и его иммуногенность. Обнаружено, что у телят после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза хроматидные разрывы чаще всего регистрировали в медиальных районах одной из хроматид, а хромосомные разрывы – в медиальных и теломерных районах обеих хроматид. Повидимому, специфичность поражения ряда районов хромосом антигенными факторами инактивированных вакцин так же, как и некоторыми инфекционными агентами, связана с особенностями строения и функционирования этих участков хромосом. В некоторых исследованиях показано, что инфекционные агенты, изменяя метаболизм клетки, могут инициировать цепь реакций, которые приводят к видимым повреждениям хромосом [22].

Следовательно, ревакцинация инактивированной вакциной против сальмонеллеза индуцирует цитогенетические нарушения у повторно иммунизированных телят, вызывая достоверное увеличение частоты клеток с хромосомными aberrациями в лимфоцитах периферической крови животных. По-видимому, наблюдается кумулятивный эффект действия двукратных вакцинаций инактивированной бактериальной вакциной у крупного рогатого скота, приводящий к росту частоты повреждений ДНК за счет мутагенных свойств антигенов вакцины в процессе формирования иммунного ответа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения спектра и частоты цитогенетических нарушений в соматических клетках у клинически здоровых голштинизированных черно-пестрых телят до вакцинации, после вакцинации и ревакцинации инактивированной вакциной против сальмонеллеза оценено мутагенное влияние плановых иммунизаций против данного заболевания у крупного рогатого скота.

Спектр индуцированных цитогенетических нарушений инактивированной вакциной против сальмонеллеза у молодняка крупного рогатого скота в лимфоцитах периферической крови представлен полиплоидными, гиперплоидными и гипоплоидными клетками, одиночными и парными фрагментами хромосом и хроматидными и хромосомными разрывами. Спектр цитогенетических нарушений, вызываемых двукратной иммунизацией вакциной против сальмонеллеза телят, не отличался от спектра спонтанно возникающих мутаций у данного вида.

Установлено различное влияние вакцинации и повторной через 10 сут ревакцинации инактивированной вакциной против сальмонеллеза на частоты геномных и структурных мутаций в иммунокомпетентных клетках у молодняка крупного рогатого скота. Вакцинации и последующие ревакцинации телят инактивированной вакциной против сальмонеллеза в сравнении с довакцинационным периодом не вызывали увеличения частот анеуплоидных и полиплоидных клеток.

Интенсивность продленного мутагенеза при ревакцинации телят против сальмонеллеза отличалась волновым характером с колебаниями частот клеток с геномными мутациями от максимальных до минимальных значений.

Ревакцинация инактивированной вакциной против сальмонеллеза оказывает мутагенное действие на хромосомный аппарат повторно иммунизированных телят, вызывая достоверное увеличение частоты клеток с хромосомными aberrациями в лимфоцитах периферической крови животных за счет разрывов и парных фрагментов хромосом.

Выявлена специфичность поражения определенных районов хромосом у молодняка крупного рогатого скота после вакцинации и ревакцинации против сальмонеллеза. У телят после двукратной иммунизации хроматидные разрывы чаще всего регистрировали в медиальных районах одной из хроматид, хромосомные разрывы – в медиальных и теломерных районах обеих хроматид.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солошенко В.А., Кашеваров Н.И., Донченко А.С., Донченко Н.А., Удинцев С.Н. Создание высокопродуктивных генотипов сельскохозяйственных животных, новых технологий кормопроизводства и системы охраны здоровья животных на основе методов нанобиотехнологий // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 4. С. 56–63.
2. Мельник Р.Н., Винников М.Г., Левкович Н.Г., Самуйленко А.Я., Мельник Н.В., Боровой В.Н., Дресвянникова С.Г. Адаптация высокопродуктивного скота к инфекционным заболеваниям и вирусным инфекциям в условиях регионов Российской Федерации // Ветеринария Кубани. 2016. № 4. URL: http://vetkuban.com/num4_201604.html.
3. Желтиков А.И., Костомахин Н.М., Адушинов Д.С., Зайко О.А., Дементьев В.Н., Незавитин А.Г., Маренков В.Г. Молочная продуктивность коров голштинской и симментальской пород в условиях Новосибирской области // Главный зоотехник. 2020. № 4. С. 41–49. DOI: 10.33920/sel-03-2004-06.
4. Логинов С.И. Анализ эффективности применения иммуноферментного анализа для

- диагностики лейкоза крупного рогатого скота при проведении оздоровительных мероприятий // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (57). С. 95–102. DOI:10.31677/2072-6724-2020-57-4-95-102.
5. Ильинских Н.Н. Цитогенетические последствия инфекций и вакцинаций. Роль вирусов, бактерий, микоплазм, простейших и гельминтов в патологических изменениях хромосомного аппарата клеток: монография. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 524 с. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1080041>.
 6. Семёнов В.В., Ильинских Е.Н., Ильинских Н.Н. Цитогенетические нарушения, индуцированные антигеном *Borrelia garinii* в лимфоцитах периферической крови здоровых людей в условиях *in vitro* // Журнал медико-биологических исследований. 2018. Т. 6, № 1. С. 77–84. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.1.77.
 7. Ильинских Н.Н., Ильинских Е.Н., Талынев В.Д., Портнова Н.А., Анчинова А.М. Хромосомный анализ лимфоцитов крови у больных микст-инфекцией клещевого энцефалита и гранулоцитарного анаплазмоза человека // Бюллетень медицинской науки. 2019. № 2 (14). С. 67–69. DOI: 10.31684/2541-8475.2019.2(14).67-69.
 8. Ильинских Н.Н., Ильинских Е.Н., Филатова Е.Н. Влияние клещевых инфекций на цитогенетический аппарат клеток человека в условиях севера Сибири // Евразийское научное объединение. 2021. № 1–3 (71). С. 193–194.
 9. Логинов С.И., Семёнова О.Н., Илюшина Н.И., Куликова С.Г., Унагаева Н.В. Количественный анализ ядрышкообразующих районов хромосом у крупного рогатого скота в норме и при патологии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2004. № 3 (153). С. 103–106.
 10. Аблов А.М., Анганова Е.В., Батомункуев А.С., Трофимов И.Г. Заболеваемость сальмонеллезом сельскохозяйственных животных на территории Иркутской области // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–11. С. 2381–2384. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37451>.
 11. Moorhead P.S., Nowell P.C., Mellman W.J., Battips D.M., Hungerford D.A. Chromosome preparations of leucocytes cultured from human peripheral blood // Experimental Cell Research. 1960. Vol. 20. С. 613–616. DOI: 10.1016/0014-4827(60)90138-5.
 12. Бочков Н.П., Чеботарев А.Н. Наследственность человека и мутагены внешней среды: монография. М.: Медицина, 1989. 269 с.
 13. Васильева Л.А. Статистические методы в биологии, медицине и сельском хозяйстве: монография. Новосибирск: Институт цитологии и генетики СО РАН, 2007. 128 с.
 14. Куликова С.Г., Эрнст Л.К., Петухов В.Л. Соматические хромосомные aberrации у крупного рогатого скота с врождённой патологией // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1996. № 6. С. 33–34.
 15. Куликова С.Г., Петухов В.Л., Эрнст Л.К. Геномные мутации у телят с врождёнными аномалиями // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1998. № 5. С. 33–35.
 16. Куликова С.Г. Спонтанные хромосомные aberrации у крупного рогатого скота в различных экологических условиях Западной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 584; URL: <http://www.science-education.ru/123-19461>.
 17. Самсонов Д.В. Соматическая хромосомная нестабильность у коров голштинской породы в условиях Кузбасса // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (56). С. 123–130. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-123-130.
 18. Семёнов В.В., Кошпаева Е.С. Нестабильность генома человека при вирусных заболеваниях и вакцинациях // Казанский медицинский журнал. 2008. Т. 89, № 6. С. 815–820.
 19. Chun J., Alexander D.S., Bryans A., Haust D.M. Chromosomal studies in children with mumps, chickenpox, measles and measles vaccination // Canadian Medical Association Journal. 1966. Vol. 94. P. 126–129.
 20. Дубинин Н.П. Потенциальные изменения в ДНК и мутации: монография. М., 1978. 246 с.
 21. Кочнева М.Л., Жиденова А.Н., Жучаев К.В. Ассоциация реципрокной транслокации RCP (13; 26) (Q24; Q11) с уровнем нестабильности генома соматических клеток у крупного рогатого скота // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (37). С. 82–86.

22. Букринская А.Г., Жданов В.М. Молекулярные основы патогенности вирусов: монография. М.: Медицина, 1991. 242 с.

REFERENCES

1. Soloshenko V.A., Kashevarov N.I., Donchenko A.S., Donchenko N.A., Udintsev S.N. Development of highly productive genotypes of farm animals, new technologies of forage production and systems of animal health protection on the basis of nanobiotechnology methods. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2016, vol. 30, no. 4, pp. 56–63. (In Russian).
2. Mel'nik R.N., Vinnikov M.G., Levkovich N.G., Samuilenko A.Ya., Mel'nik N.V., Borovoi V.N., Dresvyannikova S.G. Adaptation of highly productive livestock to infectious diseases and viral infections in the regions of the Russian Federation. *Veterinariya Kubani*, 2016, no. 4, URL: http://vetkuban.com/num4_201604.html. (In Russian).
3. Zheltikov A.I., Kostomakhin N.M., Adushinov D.S., Zaiko O.A., Dement'ev V.N., Nezavitin A.G., Marenkov V.G. Milk productivity of the cows of Holstein and Simmental breeds in the conditions of Novosibirsk Region. *Glavnyi Zootekhnik = Chief Zootechnician*, 2020, no. 4, pp. 41–49. (In Russian). DOI: 10.33920/sel-03-2004-06.
4. Loginov S.I. Analysis of the effectiveness of the use of enzyme-linked immunosorbent assay for the diagnosis of leukemia in cattle during health-improving activities. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2020, no. 4 (57), pp. 95–102. (In Russian). DOI:10.31677/2072-6724-2020-57-4-95-102.
5. Il'inskikh N.N. *Cytogenetic consequences of infections and vaccinations. The role of viruses, bacteria, mycoplasmas, protozoa and helminths in pathological changes in the chromosomal apparatus of cells*. Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, 2012, 524 p. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1080041>. (In Russian).
6. Semenov V.V., Il'inskikh E.N., Il'inskikh N.N. Cytogenetic abnormalities induced in vitro in peripheral blood lymphocytes of healthy people by *Borrelia garinii* antigen. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 77–84. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.1.77.
7. Il'inskikh N.N., Il'inskikh E.N., Talynev V.D., Portnova N.A., Anchinova A.M. Chromosomal analysis of blood lymphocytes in patients with mixed tick-borne encephalitis and human granulocytic anaplasmosis. *Byulleten' meditsinskoi nauki = Bulletin of Medical Science*, 2019, no. 2 (14), pp. 67–69. (In Russian). DOI: 10.31684/2541-8475.2019.2(14).67–69.
8. Il'inskikh N.N., Il'inskikh E.N., Filatova E.N. Influence of the citvysy ovic on citogenetic apparatus of the human in the northern Siberia. *Evrasiiskoe nauchnoe ob"edinenie = Eurasian Scientific Association*, 2021, no. 1–3 (71), pp. 193–194. (In Russian).
9. Loginov S.I., Semenova O.N., Ilyushina N.I., Kulikova S.G., Unagaeva N.V. Quantitative analysis of nucleolar-forming regions of chromosomes in cattle in normal and pathological conditions. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2004, no. 3 (153), pp. 103–106. (In Russian).
10. Ablov A.M., Anganova E.V., Batomunkuev A.S., Trofimov I.G. The morbidity of salmonellosis of the farm animals in Irkutsk region. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, 2015, no. 2–11, pp. 2381–2384. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37451>. (In Russian).
11. Moorhead P.S., Nowell P.C., Mellman W.J., Battips D.M., Hungerford D.A. Chromosome preparations of leucocytes cultured from human peripheral blood. *Experimental Cell Research*, 1960, vol. 20, pp. 613–616. DOI: 10.1016/0014-4827(60)90138-5.
12. Bochkov N.P., Chebotarev A.N. *Human heredity and environmental mutagens*, Moscow, Meditsina Publ., 1989, 269 p. (In Russian).
13. Vasil'eva L.A. *Statistical methods in biology, medicine, and agriculture*. Novosibirsk, Institut tsitologii i genetiki SO RAN, 2007, 128 p. (In Russian).
14. Kulikova S.G., Ernst L.K., Petukhov V.L. Somatic chromosomal aberrations in cattle with congenital pathology. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk = Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 1996, no. 6, pp. 33–34. (In Russian).

15. Kulikova S.G., Petukhov V.L., Ernst L.K. Genomic mutations in calves with congenital anomalies. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk = Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 1998, no. 5, pp. 33–35. (In Russian).
16. Kulikova S.G. Spontaneous chromosomal aberrations in cattle under different environmental conditions of West Siberia. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*, 2015, no. 3, pp. 584; URL: <http://www.science-education.ru/123-19461>. (In Russian).
17. Samsonov D.V. Somatic chromosomal instability in Holstein cows in Kuzbass conditions. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2020, no. 3 (56), pp. 123–130. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-123-130.
18. Semenov V.V., Koshpaeva E.S. The unstableness of the human genome in viral diseases and vaccinations. *Kazanskii meditsinskii zhurnal = Kazan Medical Journal*, 2008, vol. 89, no. 6, pp. 815–820. (In Russian).
19. Chun J., Alexander D.S., Bryans A., Haust D.M. Chromosomal studies in children with mumps, chickenpox, measles and measles vaccination. *Canadian Medical Association Journal*, 1966, vol. 94, pp. 126–129.
20. Dubinin N.P. *Potential changes in DNA and mutations*, Moscow, 1978. 246 p. (In Russian).
21. Kochneva M.L., Zhidenova A.N., Zhuchaev K.V. Association of reciprocal translocation of RCP (13; 26) (Q24; Q11) with unstable genome of the cattle somatic cell. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2015, no. 4 (37), pp. 82–86. (In Russian).
22. Bukrinskaya A.G., Zhdanov V.M. *Molecular basis of virus pathogenicity*. Moscow, Meditsina Publ., 1991. 242 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова С.Г., доктор биологических наук, профессор; e-mail: kulikovasg@yandex.ru

✉ **Логинов С.И.**, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: logsi-nsk2@yandex.ru

Назаренко Ю.С., аспирант

Калинина Н.С., аспирант

AUTHOR INFORMATION

Svetlana G. Kulikova, Doctor of Science in Biology, Professor, e-mail: kulikovasg@yandex.ru

✉ **Sergei I. Loginov**, Doctor of Science in Biology, Associate Professor, Laboratory Head; **address:** 160, Dobrolubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: logsi-nsk2@yandex.ru

Yuliya S. Nazarenko, Postgraduate Student,

Natalia S. Kalinina, Postgraduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 11.02.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 21.04.2021
Дата публикации / Published 26.07.2021



ДИССОЦИИРОВАННЫЕ ФОРМЫ МОРАКСЕЛЛ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ ПОРАЖЕННЫХ ГЛАЗ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Иванов Н.П., (✉) **Саттарова Р.С.**

Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт

Алматы, Республика Казахстан

(✉) e-mail: kaznivialmaty@mail.ru

Проведено изучение диссоциации эпизоотических культур моракселл. Исследования проведены в хозяйствующих субъектах Алматинской области Республики Казахстан на 233 гол. крупного рогатого скота с клиническими признаками кератоконъюнктивита. Изоляцию возбудителя моракселлеза осуществляли бактериологическими смывами из конъюнктивального мешка глаз животных. Лабораторные исследования проводили согласно утвержденным методическим указаниям. Установлено, что бактерии рода *Moraxella* диссоциируют при выращивании на твердой питательной среде в течение более 6 ч в условиях термостата при температуре 37 °С. Бактерии изучены способами: окрашивание по Уайт-Вилсону, термоагглютинация и проба с акрифлавином. При оценке выросших колоний по Уайт-Вилсону установлено для кристаллвиолета оптимальное разведение 1 : 2000, для краски генцианвиолет – 1 : 1000. В этом случае колонии в S-форме имеют темно-фиолетовый цвет с металлическим оттенком, а диссоциированные колонии в R-форме не окрашиваются. При наличии диссоциированных клеток отмечены преципитация (термоагглютинация), образование осадка и просветление надосадочной жидкости при 90 °С в течение 30 мин. Взвесь не диссоциированных колоний при этом оставалась мутной. При взвешивании микробных клеток изолированных бактериальной петлей из отдельных выросших колоний в растворе акрифлавина, диссоциированные бактерии склеиваются, образуя конгломераты. При изучении антигенной активности S-, R-форм моракселл выявлено, что активность S-антигена значительно превышала таковую из R-форм. Данные о диссоциации культур моракселл могут быть использованы при разработке диагностических и профилактических препаратов при моракселлезе крупного рогатого скота.

Ключевые слова: *Moraxella*, референтные штаммы, диссоциация, эпизоотические культуры, S-R-колонии

DISSOCIATED FORMS OF MORAXELLA ISOLATED FROM THE AFFECTED EYES OF CATTLE

Ivanov N.P., (✉) **Sattarova R.S.**

Kazakh Scientific research Veterinary Institute

Almaty, Republic of Kazakhstan

(✉) e-mail: kaznivialmaty@mail.ru

The dissociation phenomenon of epizootic cultures of *Moraxella* was studied. The study was conducted in economic entities of Almaty region of the Republic of Kazakhstan for 233 heads of cattle with clinical signs of keratoconjunctivitis. Isolation of the causative agent of *Moraxella* was performed by bacteriological washes from the conjunctival sacs of the eyes of animals. The laboratory study was carried out according to the approved methodological guidelines. It was found that bacteria of the genus *Moraxella* dissociate when grown on a solid nutrient medium for more

than 6 hours in a thermostat at 37 °C. The bacteria were studied by the following methods: staining according to White-Wilson, thermoagglutination and acriflavine assay. When evaluating the grown colonies according to White-Wilson, the optimal dilution for crystal violet was found to be 1 : 2000, and for gentian violet stain 1 : 1000. In this case, the colonies in the S-form have a dark purple color with a metallic tint, and the dissociated colonies in the R-form do not stain. In the presence of dissociated cells, precipitation (thermoagglutination), sediment formation and clearing of the supernatant fluid at 90 °C for 30 minutes were noted. The suspension of undissociated colonies remained cloudy. When weighing microbial cells isolated by a bacterial loop from individual grown colonies in a solution of acriflavine, dissociated bacteria stick together to form conglomerates. When studying the antigenic activity of the S-, R- forms of *Moraxella*, it was revealed that the activity of the S-antigen significantly exceeded that of the R-forms. Data on the dissociation of *Moraxella* cultures can be used for the development of diagnostic and prophylactic drugs against moraxellosis in cattle.

Keywords: *Moraxella*, reference strains, dissociation, epizootic cultures, S-R- colonies

Для цитирования: Иванов Н.П., Саттарова Р.С. Диссоциированные формы моракселл, выделенные из пораженных глаз крупного рогатого скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 104–113. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-11>

For citation: Ivanov N.P., Sattarova R.S. Dissociated forms of *Moraxella* isolated from the affected eyes of cattle. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 104–113. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-3-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа поддержана в рамках научного и научно-технического проекта программно-целевого финансирования «Научное обеспечение ветеринарного благополучия и пищевой безопасности в Республике Казахстан».

Acknowledgments

The work was supported within the framework of the scientific and scientific-technical project by program-targeted funding "Scientific support of veterinary welfare and food safety in the Republic of Kazakhstan".

ВВЕДЕНИЕ

Во многие хозяйствующие субъекты Республики Казахстан импортирован крупный рогатый скот (КРС) из дальнего зарубежья для улучшения генетического потенциала пород. Импорт племенного поголовья мясного направления продуктивности в Республику Казахстан с возбудителем инфекционного кератоконъюнктивита (Pink-eye), перемещение инфицированных животных привели к значительному распространению и появлению стационарно неблагополучных очагов по этому заболеванию. Обострению течения болезни способствуют факторы различного характера, раздражающие слизистую конъюнктиву глаз: механические травмы, насекомые, сухие и пылевые частицы, прямое ультрафиолетовое излучение солнечного света и т.д.

Ранее моракселлез среди КРС на территории Казахстана не регистрировали. Мониторинг инфекционного кератоконъюнктивита моракселлезной этиологии на территории Республики Казахстан за 2016–2019 гг. показал, что заболевание выявлено в девяти областях. Проведен клинический осмотр как импортированного, так и местного поголовья различных половозрастных групп и разных пород (абардино-ангусы, герефорды, голштинофризы, казахская белоголовая, аулиекольская породы и местные беспородные животные). Проведено бактериологическое изучение биоматериала, взятого из пораженных глаз животных и слизистой носовой полости, и последующая его идентификация (морфологические, культуральные, тинкториальные, биологи-

ческие, серологические исследования)^{1,2} [1–8]. Данные об изменчивости культур моракселл в специальной литературе в настоящее время недостаточны.

Некоторыми авторами описаны морфологические различия зоны β -гемолиза колоний референтного штамма *Moraxella bovis* Epp 63. Так, колонии S (spreading) и C (corroding) формы зарегистрированы диаметром 1–2 мм гладкими с хорошо очерченными краями, они образовывали коррозию агара. Вид колонии N (nonspreading and noncorroding) зафиксирован несколько большим диаметром (2–4 мм). Эти колонии не имели четко очерченной границы, не вызывали коррозию агара, обладали зернистой текстурой [9].

Под световым микроскопом колонии представляют три характерные концентрические зоны роста (периферическая, средняя и центральная кольцевая) [10].

Биологическое значение диссоциации заключается в приобретении бактериями определенных селективных преимуществ, которые обеспечивают их существование в среде обитания. Описаны случаи большей устойчивости S-форм бактерий к фагоцитозу макрофагами, бактерицидному действию сыворотки крови.

Бактерии R-формы в отличие от S-формы имеют большую устойчивость к действию факторов окружающей среды, но они менее резистентны к клеточным факторам иммунитета и дольше сохраняются в воде, молоке [11]. Диссоциация обычно протекает в направлении S→R, иногда через образование колоний промежуточных форм бактерий, и сопровождается изменениями биохимических, морфологических, антигенных и патогенных свойств микроорганизмов.

Обратный (реверсивный от R до S) переход наблюдают значительно реже. Большинство патогенных бактерий образует S-колонии, исключение составляют возбудители туберкулеза, чумы, сибирской язвы и некоторые другие. Проведенная в сравнительном аспекте электронная микроскопия срезов генетически стойких R- и S-форм бруцелл показала, что они имеют одни и те же основные структурные элементы (клеточная стенка, цитоплазматическая мембрана, цитоплазма, нуклеоид). Зарегистрированы кокковидные формы диссоциированных R-клеток бруцелл, более выраженные, чем у S-форм бруцелл, C-образные инвагинаты оболочки – с бугристо-складчатым рельефом (у S-формы выявлены бактериальные клетки палочковидной формы с гладко-зернистой структурной поверхностью) [12].

Цель исследований – изучить изменчивость эпизоотических культур моракселл, выделенных от пораженных глаз крупного рогатого скота на территории Республики Казахстан.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в хозяйствующих субъектах «Архарлы Майбуйрек», «Байсерке Агро» и «Фармагро» Алматинской области (южный регион Казахстана). После осмотра 1965 гол. крупного рогатого скота с мая по сентябрь 2019 г. отобраны 233 гол. с клиническими признаками кератоконъюнктивита. Изоляцию возбудителя моракселлеза осуществляли бактериологическими смывами из конъюнктивального мешка глаз. Биоматериал брали стерильными палочками с пластиковой ручкой из транспортировочной пробирки со средой Amies в индивидуальной упаковке (производство Италия). Вращательными движениями стерильного аппликатора снимали имеющиеся

¹Саттарова Р.С., Дуплева Л.Ш., Бакиева Ф.А., Хусаинов И.Т., Зарипов А.С. Диагностика инфекционного кератоконъюнктивита крупного рогатого скота // Материалы международ. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию со дня рождения В.А. Киршина. Казань, 2018. С. 261–264.

²Ivanov N.P., Sattarova R.S., Bakieva F.A. Pathogenic of some properties of *Moraxella bovis*. Microbes and their viruses ecology, diversity, applications // Centenary of Microbiology Research in Georgia. Tbilisi, 2019. 70 p.

истечения с пораженного глаза. Полученные пробы клинического патологического материала в течение 3–4 ч доставляли в термочемодане со льдом в лабораторию бактериологии. Лабораторные исследования проводили согласно утвержденным методическим указаниям³.

Из каждой пробы патологического материала готовили мазки, окрашивали по Граму и просматривали под микроскопом с иммерсионной системой, отмечая наличие или отсутствие в них морфологически схожих с *Moraxella bovis* микроорганизмов. Затем делали высеv материала на кровяной (5%-я дефибринарованная кровь барана) агар Хоттингера. Результаты посевов учитывали через 12–24 ч инкубирования при 37 °С, пересевая типичные для моракселл зоны β-гемолиза на свежие питательные среды для выделения чистых культур. Для изучения биологических свойств использованы две эпизоотические культуры *Moraxella bovis*, выделенных от больных животных, референтные штаммы *Moraxella bovis* ATCC 17948TM и *Moraxella bovoculi* BAA 1259TM, полученные от «LGC Standards Sp.z. o.o.» (производство Польша). Для определения диссоциации применяли пробу с акрифлавином, реакцию термоагглютинации и окраску колоний по Уайт-Вилсону.

Изучение иммунологической активности антигенов из S- и R-форм моракселл осуществляли путем постановки реакции связывания комплемента и реакции длительного связывания комплемента (РСК/РДСК) с гомологичными сыворотками, которые получали путем иммунизации кроликов [7, 9]. Растворы акрифлавина готовили в соотношении 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 1500, 1 : 2000, 1 : 3000, 1 : 5000 на дистиллированной воде. На обезжиренное стекло наносили каплю раствора акрифлавина и в нем тщательно размешивали бактериологической петлей культуру моракселл. В течение первых 4 мин в случае диссоциации появляется зер-

нистость в виде конгломератов склеенных моракселл.

Для реакции термоагглютинации из суточной агаровой культуры готовили бактериальную суспензию моракселл в физиологическом растворе, эквивалентную стандарту мутности 4,0 по McFarland, разливали в пробирки по 8,0 см³ и прогревали в водяной бане при 90 °С в течение 30 мин. Реакцию учитывали через 1 и 24 ч после прогревания.

При окраске колоний по Уайт-Вилсону из суточной агаровой культуры готовили взвесь моракселл в стерильном физиологическом растворе с таким расчетом, чтобы при посеве на агар в чашки Петри выросло достаточное количество (100–150) изолированных колоний. С этой целью вначале готовили взвесь моракселл с концентрацией 1 млрд микробных клеток в 1,0 см³. Затем методом десятикратного разведения состав доводили до концентрации 100–1000 КОЕ, добавляя к 4,5 см³ физиологического раствора 0,5 см³ взвеси моракселл в каждую последующую пробирку до концентрации 10⁻⁶ и 10⁻⁷. Из последнего разведения суспензии (–10⁻⁶, –10⁻⁷), содержащих 100–1000 микробных клеток в 1,0 см³, 0,1 см³, высевали на питательную среду по три чашки Петри для каждого варианта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании окрашенных анилиновыми красками колоний культур моракселл под световым микроскопом MEIJI TECHNO (производство Япония) с цифровой фотокамерой зафиксированы колонии S-формы (см. рис. 1, а) с тремя зонами роста колоний (см. рис. 1, б) и периферия колоний с распространяющейся корродирующей агар морфологией (см. рис. 1, в).

Колонии S-формы на твердой питательной среде – выпуклые с четко очерченными краями, гладкие 1–2 мм в диаметре (× 10) (см. рис. 1). При × 40 колонии обладали тре-

³Спиридонов Г.Н., Гаффаров Х.З., Никитин А.И., Папуниди К.Х., Валебная Л.В., Чернов А.Н., Дуплева Л.Ш., Спиридонов А.Г., Макаев Х.Н. Методические указания по диагностике, лечению и специфической профилактике инфекционного кератоконъюнктивита крупного рогатого скота, вызванного бактериями *Moraxella bovis* и *Moraxella bovoculi*. М.: ФГБНУ. 2017. С. 21–26.

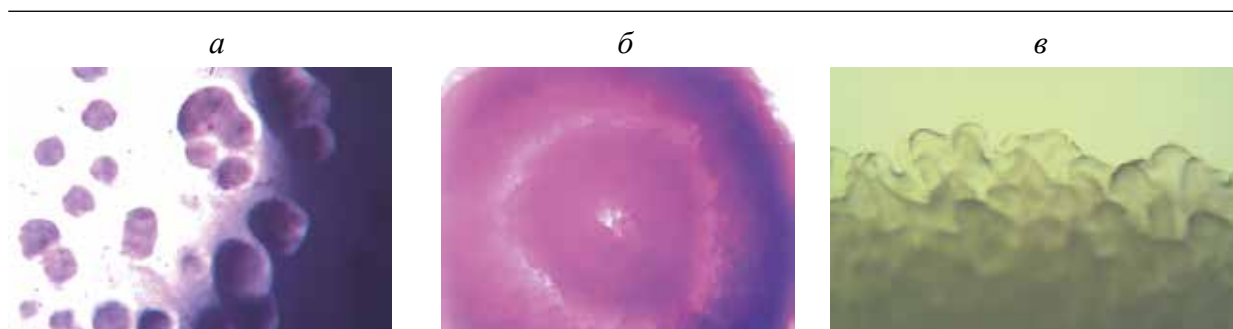


Рис. 1. Колонии S-формы культур моракселл под световым микроскопом:
а – колонии S-формы при $\times 10$, *б* – зоны колонии при $\times 40$, *в* – внешний край колонии

Fig. 1. S-form colonies of *Moraxella* cultures under a light microscope:
a – colonies of S-form $\times 10$ magnification, *b* – colony zones at $\times 40$ magnification, *v* – outer edge of the colony

мя характерными концентрическими зонами роста. На периферии находилась узкая кольцевая зона (периферическое кольцо), которая окружала другую, более широкую кольцевую зону (среднее кольцо). Последняя окружала центральную кольцевую зону. Из зоны внешнего кольца бактерии образовывали поверхностные колонии с распространяющейся корродирующей агар морфологией (см. рис. 1, *в*).

Полученные результаты по изучению диссоциации культур эпизоотических и референтных штаммов *Moraxella bovis* и *Moraxella bovoculi* пробой с акрифлавином приведены в табл. 1.

По результатам пробы на диссоциацию моракселл с помощью акрифлавина, 6-часовые культуры бактериальных клеток не дают агглютинации, т.е. результат отрицательный, микробная взвесь однородная мутная (см. табл. 1).

Через 12 ч роста бактерий при проведении данного опыта получены несколько иные результаты. Помещение выросшей культуры в раствор акрифлавина вызывает частичную агглютинацию бактериальных клеток и образование зернистости (см. табл. 1). В опыте 24-часовые культуры при смешивании с акрифлавином полностью агглютинировались, замечены крупные зерна агглютината в прозрачной окружающей их жидкости (см. рис. 2).

Оптимальное разведение акрифлавина для определения диссоциации моракселл варьирует от 1 : 500 до 1 : 2000. При этом

5–6-часовые культуры в S-форме в растворе акрифлавина остаются гомогенными, 18–24-часовые и суточные культуры образуют конгломерат с просветлением жидкости.

Взвесь 6-часовой культуры после термоагглютинации оставалась мутной, выпадение осадка через 1 и 24 ч не отмечено. При термоагглютинации суточной культуры зафиксировано выпадение осадка на дно пробирки и просветление жидкости.

Таким образом, еще одним проявлением диссоциации культур моракселл является положительная реакция термоагглютинации, которая ярко выражена у R-форм колоний культур моракселл.

При окраске колоний по Уайт-Вилсону в чашках Петри через 5–6 ч выросли колонии, принадлежащие гладкому (S) типу. Они имели выпуклую правильно очерченную гладкую форму. Диаметр колоний колебался от 0,3–0,5 до 0,8–1,0 мм. При окраске кристаллвиолетом или генцианвиолетом в разведении от 1 : 500 до 1 : 4000, колонии имели следующий вид – от светло-фиолетового до темно-синего цвета, выпуклые, гладкие с четко очерченными краями. Через 18, 24 и 48 ч колонии обретали шереховатую округлость, морщинистость, при окрашивании оставались белого или бледно-желтоватого цвета. Колонии R-формы моракселл оставались без изменений, т.е. не окрашивались, что принципиально отличает их от некоторых микроорганизмов (бруцелл, сальмонелл и т.д.).

Табл. 1. Результаты постановки проб на диссоциацию моракселл с акрифлавином

Table 1. Test results for dissociation of *Moraxella* with acriflavine

Соотношение разведения акрифлавина с дистиллированной водой	Срок роста моракселл на питательных средах, ч	Наличие агглютинации				
		Эпизоотическая культура		Референтный штамм		Контроль
		<i>Moraxella bovis</i> 2017-44	Fa16	<i>Moraxella bovis</i> ATCC 17948™	<i>Moraxella bovoculi</i> BAA 1259™	
1 : 500	6	—	—	—	—	—
	12	+	++	++	++	—
	24	#	#	#	#	—
	48	#	#	#	#	—
1 : 1000	6	—	—	—	—	—
	12	++	++	+	++	—
	24	#	#	#	#	—
	48	#	#	#	#	—
1 : 1500	6	—	—	—	—	—
	12	+	++	++	++	—
	24	#	#	#	#	—
	48	#	#	#	#	—
1 : 2000	6	—	—	—	—	—
	12	+	+	+	+	—
	24	#	#	#	#	—
	48	#	#	#	#	—
1 : 3000	6	—	—	—	—	—
	12	+	+	+	+	—
	24	+	+	+	+	—
	48	+	+	+	+	—
1 : 5000	6	—	—	—	—	—
	12	—	—	—	—	—
	24	—	—	—	—	—
	48	—	—	—	—	—

Примечание. + – выраженность образования зернистости (агглютинации).

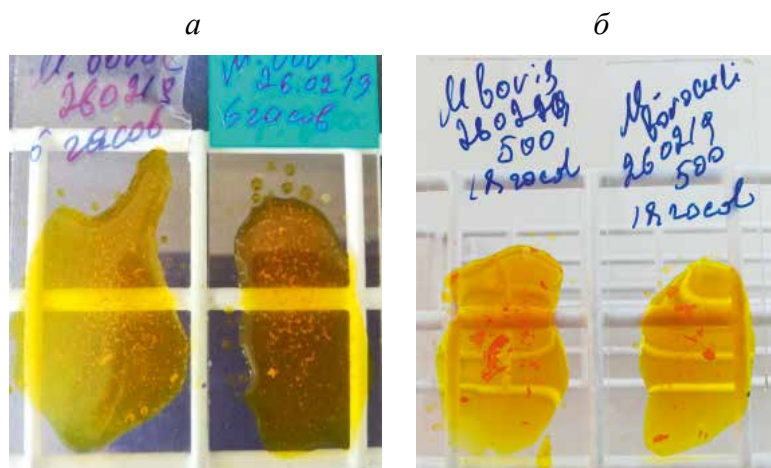


Рис. 2. Агглютинация культур моракселл акрифлавином:

а – 6-часовые культуры моракселл, б – 18-часовые культуры моракселл

Fig. 2. Agglutination of *Moraxella* cultures with acriflavine:

а – 6-hour *Moraxella* cultures, б – 18-hour *Moraxella* cultures

После инкубации при 37 °С в течение 18–20 ч в чашки с агаром, где выросло около 100–150 колоний, наливали рабочий раствор кристаллвиолета в разведении от 1 : 500 до 1 : 4000. Через 60 с удаляли краску и просматривали колонии с помощью лупы (см. табл. 2).

Окрашивание кристаллвиолетом и генцианвиолетом не имело принципиальных различий (см. табл. 2). Оптимальным раз-

ведением краски кристаллвиолета, где четко фиксирована диссоциация, отмечено разведение 1 : 2000, для краски генцианвиолета – 1 : 1000. Колонии в S-форме окрашивались в темно-фиолетовый цвет с металлическим оттенком, а диссоциированные колонии в R-форме не изменялись и сохраняли светло-желтый или белый цвет, приобретали различную исчерченность, морщинистость (см. рис. 3, а, б, в).

Табл. 2. Результаты окрашивания колонии культур по Уайт-Вилсону

Table 2. Results of colony staining according to White-Wilson

Соотношения разведения краски	Длительность роста культур, ч	Окрашивание по Уайт-Вилсону							
		Кристаллвиолет				Генцианвиолет			
		Эпизоотическая культура		Референтный штамм		Эпизоотическая культура		Референтный штамм	
		<i>Moraxella bovis</i> 2017-44	Fa16	<i>Moraxella bovis</i> ATCC 17948 TM	<i>Moraxella bovoculi</i> \ BAA 1259 TM	<i>Moraxella bovis</i> 2017-44	Fa16	<i>Moraxella bovis</i> ATCC 17948 TM	<i>Moraxella bovoculi</i> BAA 1259 TM
1 : 500	6	+	+	+	+	+	+	+	+
	12	–	–	–	–	–	–	–	–
	24	–	–	–	–	–	–	–	–
	48	–	–	–	–	–	–	–	–
1 : 1000	6	++	++	++	++	++	++	++	++
	12	–	–	–	–	–	–	–	–
	24	–	–	–	–	–	–	–	–
	48	–	–	–	–	–	–	–	–
1 : 2000	6	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	12	–	–	–	–	–	–	–	–
	24	–	–	–	–	–	–	–	–
	48	–	–	–	–	–	–	–	–
1 : 4000	6	#	#	#	#	#	#	#	#
	12	–	–	–	–	–	–	–	–
	24	–	–	–	–	–	–	–	–
	48	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Окрашивание колоний раствором кристаллвиолета: тире – отсутствие окрашивания колоний; + – колонии окрашиваются в слегка бледно-голубой цвет; ++ – колонии окрашиваются в бледно-голубой цвет; +++ – колонии окрашиваются в фиолетовый цвет; # – колонии окрашиваются в темно-фиолетовый цвет.

Окрашивание колоний раствором генцианвиолета: тире – отсутствие окрашивания колоний; + – колонии окрашиваются в слегка бледно-голубой цвет; ++ – колонии окрашиваются в бледно-голубой цвет; +++ – колонии окрашиваются в голубой цвет; # – колонии окрашиваются в темно-фиолетовый цвет.



Рис. 3. Диссоциация колонии моракселл:

а – 6-часовые колонии моракселл в S-форме, б – 12 часовые колонии в S-, R- форме, в – 24-часовые колонии моракселл

Fig. 3. Dissociation of the moraxella colony:

а – 6-hour Moraxella colonies of S-form, б – 12-hour colonies of S-, R- form, в – 24-hour Moraxella colonies

По результатам наблюдений, 5–6-часовые колонии моракселл имели гладкую форму (см. рис. 3, а), окрашивались анилиновыми красками по Уайт-Вилсону. По истечении 24–48 ч колонии обладали шероховатой поверхностью, начинающейся с центра, и не окрашивались (см. рис. 3, б, в).

Изучение диссоциации колоний культур эпизоотических и референтных штаммов *Moraxella bovis* и *Moraxella bovoculi* проведено общепринятыми методами: воздействием температурного фактора и, как следствие, термоприципитации или термоагглютинации, пробой с акрифлавином и окраской колоний генцианвиолетом по Уайт-Вилсону.

Изучение антигенной активности S-, R-форм моракселл проводили путем постановки РСК/РДСК с антигенами [5], приготовленными из указанных видов бактерий. Опыты проводили с позитивной и негативной сыворотками. Позитивные сыворотки получали путем иммунизации кроликов взвесью различных форм моракселл [5, 7]. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Антиген из S-форм моракселл не вступает в реакцию с R сывороткой в РСК, в РДСК его титр показал 1 : 10 (см. табл. 3). R-антиген не улавливает комплементсвязывающих веществ к моракселлам в S-форме в РСК, в реакции длительного связывания комплемента титр R-антигена зафиксирован 1 : 10. Активность S-антигена значительно превышает таковую из R-форм моракселл.

Таким образом, возникает вопрос о наличии возможной реверсии R-клеток в

S-форму. Это необходимо учитывать при изготовлении диагностического и протективного антигенов из S-R-форм возбудителя моракселлеза и требует дополнительного изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения изменения культур бактерий рода *Moraxella* при более чем 6-часовом выращивании на твердой питательной среде установлено, что диссоциацию микроорганизмов можно обнаруживать путем окрашивания выросших колоний генцианвиолетом или кристаллвиолетом по методике Уайт-Вилсона, прогреванием в пробирке бактериальной взвеси при 90 °С в течение 30 мин. В случаях наличия диссоциированных клеток отмечена преципитация (термоагглютинация), образование осадка и просветление надосадочной жидкости.

Наличие диссоциированных форм бактерий обнаружено также при взвешивании микробных клеток изолированных бактериальной петлей из отдельных колоний, выросших в растворе акрифлавина. При этом диссоциированные бактерии склеиваются, образуя конгломераты, хорошо обнаруживаемые визуально.

Данные о диссоциации культур моракселл могут быть учтены при разработке диагностических и профилактических препаратов при моракселлезе крупного рогатого скота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Н.П., Султанов А.А., Бакиева Ф.А., Саттарова Р.С., Егорова Н.Н. Моракселлез у КРС в Казахстане // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия аграрных наук. 2016. № 5 (35). С. 20–29.
2. Иванов Н.П., Саттарова Р.С., Бакиева Ф.А., Годердзишвили М., Ригвава С., Карумидзе Н. Выделение фага против возбудителей моракселлеза крупного рогатого скота в Республике Казахстан // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2017. № 6. С. 46–51.
3. Ivanov N.P., Bakiyeva F.A., Sattarova R.S., Shynybaev K.M., Issakulova B.Zh. Epizootological monitoring of cattle moraxellosis // Известия

Табл. 3. Результаты РСК/РДСК с S-, R-противоморакселлезными гипериммунными сыворотками

Table 3. Results of CFT/CLFT with S-, R-anti-moraxellosis hyperimmune sera

Иммунологический тест	Сыворотка	Титр антигенов из	
		S-формы	R-формы
РСК	S	40	–
	R	–	20
	–	–	–
РДСК	S	80	10
	R	10	40
	–	–	–

- Национальной академии Республики Казахстан. Серия аграрных наук. 2019. № 2 (50). С. 112–115. DOI: 10.32014 / 2019.2224-526X.19.
4. Ivanov N.P., Namet A.M., Shynybaev K.M., Sattarova R.S., Akmyrzaev N.Zh., Issakulova B.Zh., Bakiyeva F.A. Moraxellosis in catches of different breeds of meat direction of productivity // Известия Национальной академии Республики Казахстан. Серия аграрных наук. 2019. № 2 (50). С. 78–82. DOI: 10/32014/2019/2224-526X/20.
 5. Ivanov N.P., Sattarova R.S., Bakiyeva F.A., Shynybaev K.M., Issakulova B.Zh. Diagnostic value of CFT/LCFT for cattle moraxellosis // Вестник Национальной академии Республики Казахстан. Серия аграрных наук. 2019. № 2 (378). С. 112–114. DOI: 10.32014/2019.2518-1467.48.
 6. Иванов Н.П., Саттарова Р.С., Шыныбаев К.М., Бакиева Ф.А., Асраубаева И.К., Спиридонов Г.Н. Распространение и антибиотикочувствительность изолятов *Moraxella bovis*, выделенных от крупного рогатого скота в Республике Казахстан // Ветеринария. 2020. № 3. С. 15–20. DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.3.15-21.
 7. Саттарова Р.С. Диагностическая ценность серологических реакций РСК и РДСК при моракселлезе крупного рогатого скота в Республике Казахстан // Ветеринарный врач. 2020. № 4. С. 9–12. DOI: 10.33632/1998-698X.2020-4-44-49.
 8. Саттарова Р.С. Лизоцимная активность куриного яичного белка при действии на биопленку, образуемую бактериями рода *Moraxella* // Ветеринария. 2020. № 12. С. 41–49. DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.12.27-31.
 9. Ruehl W.W., Marrs C.F., Fernandez R., Falkow S., Schoolnik G.K. Purification, characterization, and pathogenicity of moraxella-bovis pili // Journal of experimental medicine. 1988. Vol. 168. P. 983–1002.
 10. McMichael J.M. Bacterial differentiation within *Moraxella bovis* colonies growing at the interface of the agar medium with the Petri dish // Journal of General Microbiology. 1992. № 138, P. 2687–2695.
 11. Жованик П.Н. Бруцеллез: монография. Киев: Урожай, 1975. С. 34–42.
 12. Сансызбай А.Р., Еснембетов Б.А., Зайцев В.Л., Зинина Н.Н., Сырым Н.С., Султанкулова К.Т., Сармыкова М.К., Нусанова Р.К. Изучение морфологических свойств изолятов бруцелл в S- и R-формах электронно-микроскопическим методом // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 12 (110). С. 74–79.
- ## REFERENCES
1. Ivanov N.P., Sultanov A.A., Bakieva F.A., Sattarova R.S., Egorova N.N. Moraxella in cattle in Kazakhstan. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya agrarnykh nauk = News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agricultural Sciences*, 2016, no. 5 (35), pp. 20–29. (In Russian).
 2. Ivanov N.P., Sattarova R.S., Bakieva F.A., Goderdzishvili M., Rigvava S., Karumidze N. Isolation of phage against causative agents of moraxellosis in cattle in the Republic of Kazakhstan. *Vestnik Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan = Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2017, no. 6, pp. 46–51. (In Russian).
 3. Ivanov N.P., Bakiyeva F.A., Sattarova R.S., Shynybaev K.M., Issakulova B.Zh. Epizootological monitoring of cattle moraxellosis. *Izvestiya Natsional'noi akademii Respubliki Kazakhstan. Seriya agrarnykh nauk = News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agricultural Sciences*, 2019, № 2(50), pp. 112–115. (In Russian). DOI: 10.32014 / 2019.2224-526X.19.
 4. Ivanov N.P., Namet A.M., Shynybaev K.M., Sattarova R.S., Akmyrzaev N.Zh., Issakulova B.Zh., Bakiyeva F.A. Moraxellosis in catches of different breeds of meat direction of productivity. *Izvestiya Natsional'noi akademii Respubliki Kazakhstan. Seriya agrarnykh nauk = News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agricultural Sciences*, 2019, no. 2 (50), pp. 78–82. (In Russian). DOI: 10/32014/2019/2224-526X/20.
 5. Ivanov N.P., Sattarova R.S., Bakiyeva F.A., Shynybaev K.M., Issakulova B.Zh. Diagnostic value of CFT/LCFT for cattle moraxellosis. *Vestnik Natsional'noi akademii Respubliki Kazakhstan. Seriya agrarnykh nauk = Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2019, no. 2(378), pp. 112–114.

- (In Russian). DOI: 10.32014/2019.2518-1467.48.
6. Ivanov N.P., Sattarova R.S., Shynybaev K.M., Bakieva F.A., Asraubaeva I.K., Spiridonov G.N. Distribution and antibiotic sensitivity of *Moraxella bovis* isolated from cattle in the Republic of Kazakhstan. *Veterinariya = Veterinary*, 2020, no. 3, pp. 15–20. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.3.15-21.
 7. Sattarova R.S. Diagnostic value of serological tests in CFT and LCFT *Moraxella* of cattle in the Republic of Kazakhstan. *Veterinarnyi vrach = The Veterinarny Vrach journal*, 2020, no. 4, pp. 9–12. (In Russian). DOI: 10.33632/1998-698X.2020-4-44-49.
 8. Sattarova R.S. Lysozyme activity of chicken egg white when acting on a biofilm formed by bacteria of the genus *Moraxella*. *Veterinariya = Veterinary*, 2020, no. 12, pp. 41–49. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2020.23.12.27-31.
 9. Ruehl W.W., Marrs C.F., Fernandez R., Falkow S., Schoolnik G.K. Purification, characterization, and pathogenicity of *Moraxella bovis* pili. *Journal of experimental medicine*, 1988, vol. 168, pp. 983–1002.
 10. McMichael J. M. Bacterial differentiation within *Moraxella bovis* colonies growing at the interface of the agar medium with the Petri dish. *Journal of General Microbiology*. 1992, no. 138, pp. 2687–2695.
 11. Zhovanik P.N. *Brucellosis*. Kiev: Urozhai, 1975, pp. 34–42. (In Russian).
 12. Sansyzbai A.R., Espembetov B.A., Zaitsev V.L., Zinina N.N., Syrym N.S., Sultankulova K.T., Sarmykova M.K., Nisanova R.K. Electron microscope investigation of *Brucella* isolates of S- and R-forms. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2013, no. 12 (110), pp. 74–79. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Н.П., доктор ветеринарных наук, профессор, академик Национальной академии наук Республики Казахстан

✉ **Саттарова Р.С.**, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Райымбека, 223; e-mail: kaznivialmaty@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Nikolay P. Ivanov, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

✉ **Rano S. Sattarova**, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher; **address:** 223, Raiymbek Ave., Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: kaznivialmaty@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.03.2021

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 03.06.2021

Дата публикации / Published 26.07.2021



НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ПЕТУХОВ



20 июня на 87-м году ушел из жизни Николай Александрович Петухов, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заслуженный ветеран СО Россельхозакадемии, главный научный сотрудник СибИМЭ СФНЦА РАН.

Николай Александрович родился в 1935 г. в с. Чингис Ордынского района Новосибирской области в семье рабочих. В 1955 г. окончил с отличием Троицкий техникум механизации и электрификации сельского хозяйства, в 1960 г. – с отличием Новосибирский сельскохозяйственный институт по специальности «инженер-механик». Свою дальнейшую судьбу Николай Александрович связал с наукой, работая сначала в Сибирском филиале ВИМ, с 1971 г. – в Сибирском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства в разных должностях: инженера, старшего инженера, ведущего инженера, старшего и ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией, с 1999 по 2015 г. – главного научного сотрудника лаборатории механизации животноводства.

В 1967 г. Николай Александрович защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и обоснование эксплуатационных параметров доильных установок», в 1996 г. – докторскую «Совершенствование технологической системы машинного доения коров».

По этой тематике ученым опубликовано более 140 научных работ и 12 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Большое внимание Николай Александрович уделял подготовке инженерных и научных кадров как член объединенного диссертационного совета при СибИМЭ Россельхозакадемии, а затем созданного на базе СФНЦА РАН.

За успехи в научной и производственной деятельности Николай Александрович награжден медалью «Ветеран труда», золотой медалью ВДНХ, многими почетными грамотами и благодарностями.

Глубоко скорбим по поводу кончины нашего коллеги и выражаем искреннее соболезнование его родным и близким.

*Коллектив Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий
Российской академии наук*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Правила публикации рукописей в журнале определяют требования к оформлению, научной экспертизе и подготовке к публикации направляемых в редакцию журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» рукописей. 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 и семеноводство сельскохозяйственных растений;
- защита растений;
- кормопроизводство;
- кормление сельскохозяйственных животных и технологии кормов;
- ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунологией;
- технология и средства механизации сельского хозяйства.

В журнале также публикуются обзоры, краткие сообщения, хроника, рецензии, книжные обзоры, материалы по истории сельскохозяйственной науки и деятельности учреждений и ученых.

Статья, направляемая в редакцию, должна соответствовать тематическим разделам журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»:

Наименование рубрики	Группы специальностей научных работников в соответствии с Номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени
Земледелие и химизация	06.01.01 Общее земледелие и растениеводство
Растениеводство и селекция	06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений
Защита растений	06.01.07 Защита растений
Кормопроизводство	06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений 06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов
Животноводство и ветеринария	06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология 06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных
Механизация, автоматизация, моделирование и информационное обеспечение	05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства
Проблемы. Суждения	06.01.01 Общее земледелие и растениеводство 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений 06.01.07 Защита растений 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология 06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных 06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Журнал принимает материалы от аспирантов, соискателей, докторантов, специалистов и экспертов в данной области.

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.

На публикацию представляемых в редакцию материалов требуются письменное разрешение и рекомендация руководства организации, на средства которой проводились работы. Авторы (соавторы) подписывают рукопись, подтверждая свое участие в выполнении представляемой работы и удостоверяя согласие с ее содержанием. Сведения об авторах (соавторах) заполняются согласно представленной анкете на русском и английском языках.

АНКЕТА АВТОРА

- Фамилия, имя, отчество (полностью)
- Ученая степень
- Место работы (полное название организации и подразделения)
- Должность
- Почтовый адрес места работы

- Контактные телефоны (служебный, домашний, мобильный), e-mail
- Отдельно следует выделить автора, ответственного за связь с редакцией, и указать его контактные e-mail и мобильный телефон

По представленной форме заполняется Авторская справка <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. Автор, подписывая рукопись и направляя ее в редакцию, тем самым передает авторские права на издание этой статьи СФНЦА РАН.

Полный пакет документов (сопроводительное письмо, анкеты авторов, авторская справка, статья на одной стороне стандартного листа формата А4) направить по адресу: 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, а/я 463, научно-организационный отдел СФНЦА РАН.

Необходимо также предоставить электронный вариант рукописи по электронной почте: vestnik.nsk@ngs.ru. Запись на электронном носителе должна быть идентична оригиналу на бумаге. Текст оформляется в программе Word кеглем 14, шрифтом Times New Roman с интервалом 1,5, все поля 2,0 см, нумерация страниц внизу и посередине. Объем статьи, включая таблицы, иллюстрации и библиографию, не должен превышать 15 страниц компьютерного набора; статей, размещаемых в рубриках «Из диссертационных работ» и «Краткие сообщения», – не более 5 страниц.

Число публикаций одного автора в номере журнала не должно превышать двух, при этом вторая статья допустима лишь в соавторстве.

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается, для иных авторов статьи в журнале публикуются на платной основе. После прохождения рецензирования рукописи редакция направляет в адрес организации или автора счет для оплаты.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК

Заголовок статьи на русском и английском языках (не более 70 знаков).

Фамилии и инициалы авторов, информация об авторах, полное официальное название научного учреждения, в котором проведены исследования, а также его полный почтовый адрес (включая индекс, город и страну), 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.

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».

Реферат на русском и английском языках. 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. Объем реферата не менее 200–250 слов. 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.

Ключевые слова на русском и английском языках. 5–7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли аннотацию и название статьи.

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.

Основной текст статьи. При изложении оригинальных экспериментальных данных рекомендуется использовать подзаголовки:

ВВЕДЕНИЕ (постановка проблемы, цель, задачи исследования)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ (условия, методы (методика) исследований, описание объекта, место и время проведения)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ или **ВЫВОДЫ**

Теоретические, обзорные и проблемные статьи могут иметь произвольную структуру, но обязательно должны содержать реферат, ключевые слова, список литературы.

Список литературы. Библиографический список должен быть оформлен в виде общего списка в порядке цитирования в тексте (не менее 15 источников), желательны ссылки на источники 2–3-летнего срока давности. Список литературы должен быть оформлен в соответствии с требованиями и правилами составления библиографической ссылки (ГОСТ Р 7.05–2008). 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.

В список литературы включаются только рецензируемые источники: статьи из научных журналов и монографии, упоминающиеся в тексте статьи.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ И REFERENCES

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., Лапшинов 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 транслитерированном варианте, англоязычное название статьи, *транслитерация названия русскоязычного источника* = *англоязычное название источника*,

(для монографии: город, англоязычное название издательства, год, количество страниц; для журнала: год, номер, страницы). (In Russian).

Транслитерация осуществляется через сайт: <https://antropophob.ru/translit-bis>

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.

Если необходимо сослаться на авторефераты, диссертации, сборники статей, учебники, 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.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ 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 подрисуночной подписи следует располагать после подрисуночной 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)». Заголовков 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.

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.).

Фотографии, скриншоты и другие нерисованные иллюстрации необходимо загружать отдельно в специальном разделе формы для подачи статьи в виде файлов формата *.jpeg, *.bmp, *.gif (*.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 подрисуночную подпись, которая должна соответствовать названию фотографии, помещаемой в текст.

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться изложенными выше правилами. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться авторам без рассмотрения.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЖУРНАЛОМ И АВТОРОМ

Редакция журнала ведет переписку с ответственным (контактным) автором, однако при желании коллектива авторов письма могут направляться всем авторам, для которых указан адрес электронной почты.

Все поступающие в журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» статьи проходят предварительную проверку на соответствие формальным требованиям. На этом этапе статья может быть возвращена автору (авторам) на доработку с просьбой устранить ошибки или добавить недостающие данные. Также на этом этапе статья может быть отклонена из-за несоответствия ее целям журнала, отсутствия оригинальности, малой научной ценности.

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 устранение 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 фабрикации 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 отзыва статьи. Информация об отзыве статьи направляется в базы данных, в которых индексируется журнал.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

Подписку на журнал, как на годовой комплект, так и на отдельные номера журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки», можно оформить одним из следующих способов:

- на сайте Почта России. Зайти в раздел «Онлайн-сервисы», затем – «Подписаться на газету или журнал». Подписной индекс издания ПМ401;
- в агентстве подписки ГК «Урал-Пресс» по индексу 46808. Ссылка на издание http://ural-press.ru/catalog/97210/8656935/?sphrase_id=319094. В разделе контакты зайти по ссылке <http://ural-press.ru/contact/>, где можно выбрать филиал по месту жительства;
- в редакции журнала (телефон 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>.